

# NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP GIẢM LỰC CẢN TRÊN NGƯ LÔI TỐC ĐỘ CAO BẰNG MŨI LÔI TẠO XÂM THỰC

## A STUDY OF SOLUTION TO REDUCE DRAG FORCE OF A HIGH-SPEED TORPEDO BY A CONVEX CAVITATOR

PHẠM VĂN DUYỀN<sup>1\*</sup>, TRƯƠNG VIỆT ANH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email liên hệ: duyenpv.vck@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Ngư lôi là loại đạn di chuyển dưới nước nên yếu tố lực cản ảnh hưởng lớn đến hiệu quả khai thác và đặc tính hàng hải của loại thiết bị này. Một trong những ảnh hưởng có lợi của xâm thực đó là giảm lực cản từ môi trường tác dụng khi siêu xâm thực hình thành. Từ kết luận rút ra từ bài báo [5] mà nhóm đã thực hiện, mũi tam giác dạng lõm cho kết quả lực cản giảm so với trường hợp mũi thường. Bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng mũi lõm được gắn vào phần đầu ngư lôi nguyên mẫu Set53M giúp hình thành xâm thực và bao phủ toàn bộ thân ngư lôi khi ngư lôi di chuyển ở tốc độ cao. Từ đó giúp giảm đáng kể lực cản tác dụng lên thân ngư lôi. Mô hình xâm thực Singhal và phương trình xâm thực Rayleigh Plesset được sử dụng trong quá trình tính toán dòng xâm thực qua vật thể dạng 3D ngư lôi nguyên mẫu và ngư lôi được tối ưu hóa kết cấu phần mũi lõm ứng với sự thay đổi của số xâm thực  $\sigma$ .

**Từ khóa:** Siêu xâm thực, CFD.

### Abstract

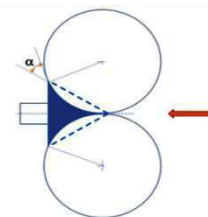
Torpedo is a projectile that moves underwater, so the drag force has big effects on using the efficiency and navigation of this device. One of the advantages of cavitation is reducing the drag force when super\_cavitation has appeared on the body of torpedo. From the conclusion of the paper [5] that our team did, the convex cavitation makes a smaller drag force than basic triangular cavitation. This research focuses on studying the effect of convex cavitation attached on the nose of torpedo Set53M helps to make bubble cavitation and cover the whole body when torpedo moves at the high speeds. Therefore, the drag force is reduced significantly. The Singhal cavitation model and Rayleigh Plesset cavitation equations are used in simulating cavitating flow over 3D basic torpedo and an optimizing torpedo with convex cavitation when cavitation number  $\sigma$  changes.

**Keywords:** Cavitation, super\_cavitation, high-speed torpedo, CFD.

### 1. Giới thiệu

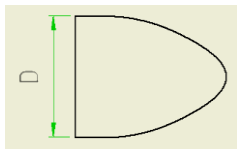
Khi vật thể hình trụ dạng ngư lôi có tốc độ cao chuyển động ngầm dưới nước thì yếu tố lực cản tác dụng lên ngư lôi có vai trò quyết định đến tốc độ và thời gian di chuyển trên hành trình tới mục tiêu của ngư lôi. Hiện tượng siêu xâm thực được biết đến như là một giải pháp giúp giảm đáng kể lực cản từ môi trường chất lỏng tác dụng lên thân ngư lôi khi ngư lôi di chuyển với tốc độ cao ngầm dưới nước. Siêu xâm thực được hình thành trên bề mặt vật thể theo hai phương pháp đó là xâm thực nhân tạo do khí gas được bố trí ở vùng mũi vật thể giúp hình thành siêu xâm thực [2] và xâm thực hơi nước nhờ kết cấu đĩa có hình dáng đặc biệt được gắn vào phần đầu vật thể [1], [3], [4]. Hình dáng phần mũi ngư lôi có ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính xâm thực hình thành trên vật thể. Ở dải vận tốc cao, siêu xâm thực hình thành và bao phủ toàn bộ bề mặt thân ngư lôi giúp làm giảm đáng kể lực cản từ môi trường, từ đó giảm sự tiêu hao nhiên liệu [3], [4]. Trên thực tế trong lĩnh vực hải quân, ngư lôi siêu khoang đã được nghiên cứu và ứng dụng trong việc thiết kế một số loại ngư lôi siêu khoang di chuyển ở dải tốc độ cao dưới nước như là ngư lôi VA-111 Shkval của Nga với tốc độ di chuyển lên tới 200 knots tương đương 100 m/s, ngư lôi siêu khoang của Hàn Quốc Red Shark Torpedo với tốc độ tương đương ngư lôi VA-111 Shkval của Nga.

Từ kết quả nghiên cứu mà tác giả cùng nhóm nghiên cứu đã thực hiện [5], tác giả lựa chọn đường kính mũi có kích thước 0,75 đường kính thân ngư lôi với góc  $\alpha = -20^\circ$ . Cơ sở lựa chọn lý thuyết lựa chọn đường sinh của mũi lõm Hình 1.

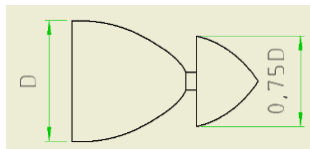


Hình 1. Cơ sở dựng mũi ngư lôi dạng  
côn lõm và côn lồi

Mục tiêu của bài báo này là chỉ ra ảnh hưởng của mũi hình nón 60° độ dạng lồi với đường kính 0,75 đường kính thân ngư lôi tới việc hình thành siêu xâm thực và việc giảm lực cản tác dụng lên thân ngư lôi Hình 3 so với trường hợp nguyên mẫu Hình 2 khi ngư lôi được khai thác ở dải tốc độ cao có vận tốc từ 75m/s đến 90m/s.



**Hình 2. Phần mũi ngư lôi nguyên mẫu Set53M**



**Hình 3. Phần mũi ngư lôi được tối ưu kết cấu phần mũi dạng lồi**

## 2. Cơ sở lý thuyết và xây dựng mô hình tính toán

Cơ sở lý thuyết về lớp biên và sự tách thành lớp biên với vật thể dạng ngư lôi [6].

Phương trình liên tục và phương trình động lượng cho dòng nhiều pha:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho v_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_i v_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial p}{\partial x_i} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

Trong đó:

$\rho$  là khối lượng riêng chất lỏng,  $v$  là vận tốc và  $p$  là áp suất;

$\mu$  là hệ số nhớt động học và  $\mu_t$  hệ số nhớt rối.

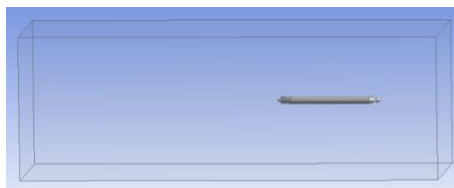
Phương trình chuyển pha từ pha lỏng sang pha hơi:

$$\frac{\partial \rho_v \alpha_v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_v \alpha_v \vec{v}) = \nabla \cdot (\rho f_v \vec{v}) + \frac{\partial (\rho f_v)}{\partial t} + R_e - R_c \quad (3)$$

Mô hình ngư lôi nguyên mẫu Set53M và ngư lôi được tối ưu hóa với kết cấu phần mũi lồi được xây dựng trên Solidworks 2016. Vùng không gian khảo sát có kích thước được chỉ ra trên Hình 4 và Hình 5 với kích thước chiều dài, chiều rộng, và chiều cao 25 x 10 x 10 (m). Đường kính ngư lôi nguyên mẫu Set53M  $D = 533\text{mm}$ .

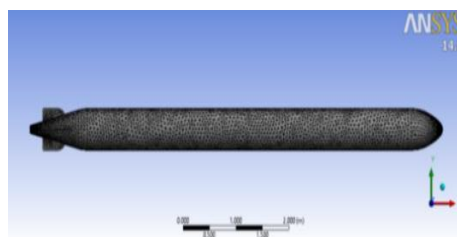


**Hình 4. Vùng không gian khảo sát ngư lôi nguyên mẫu Set53M**

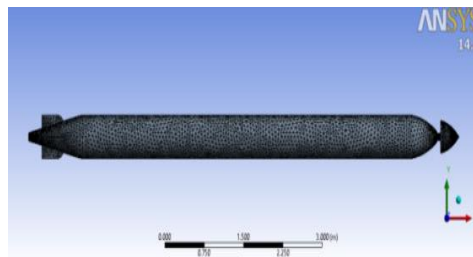


**Hình 5. Ngư lôi với kết cấu mũi lồi**

Mô hình tính toán và vùng không gian khảo sát được chia lưới với loại lưới tứ diện có kích thước cỡ lưới nhỏ nhất là 3mm và cỡ lớn nhất là 240mm. Lưới được chia từ trong ra ngoài. Sau khi thực hiện chia lưới, không gian tính bao gồm 291.339 phần tử lưới và 1.639.802 nút lưới.



**Hình 6. Chia lưới mô hình ngư lôi nguyên mẫu Set53M**



**Hình 7. Chia lưới mô hình ngư lôi với kết cấu mũi lồi**

Điều kiện biên bài toán được thiết lập:

- Mô hình xâm thực: k- $\epsilon$ ; cavitation
- Vùng không gian tính: Pha nước, nhiệt độ 25°C; pha khí, nhiệt độ 25°C;
- Trao đổi nhiệt: không;
- Thiết lập điều kiện biên:
  - + vận tốc dòng đầu vào, Vinlet (m/s);
  - + Áp suất đầu ra, Poutlet = 151.550 (kPa);
  - + Áp suất tại độ sâu  $h = 5$  (m);
  - + Tiêu chuẩn hội tụ:  $10^{-4}$ .

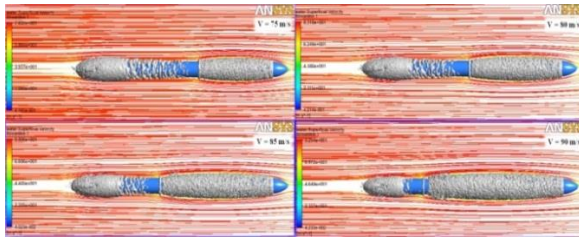
Để đánh giá ảnh hưởng của xâm thực tới việc giảm lực cản, số xâm thực  $\sigma$  và hệ số lực cản  $C_D$  được xác định bởi công thức:

$$\sigma = \frac{p_{\text{ref}} - p_v}{0,5 \rho V^2}; C_D = \frac{D}{0,5 \rho V^2 A} \quad (4)$$

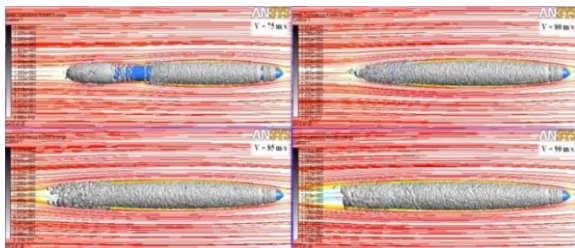
**3. Kết quả tính toán và đánh giá**

**3.1. Phân bố đường dòng qua ngư lôi nguyên mẫu Set53M và ngư lôi được tối ưu hóa phần mũi**

Hình ảnh phân bố đường dòng qua ngư lôi nguyên mẫu Set53M và ngư lôi gắn mũi lồi được thể hiện qua Hình 8 và Hình 9. Kết quả này được tính toán ở các giá trị vận tốc V khác nhau: 75; 80; 85 và 90 m/s ứng với giá trị số xâm thực  $\sigma$ : 0,06; 0,05; 0,04 và 0,03.



Hình 8. Phân bố đường dòng qua ngư lôi nguyên mẫu Set53M



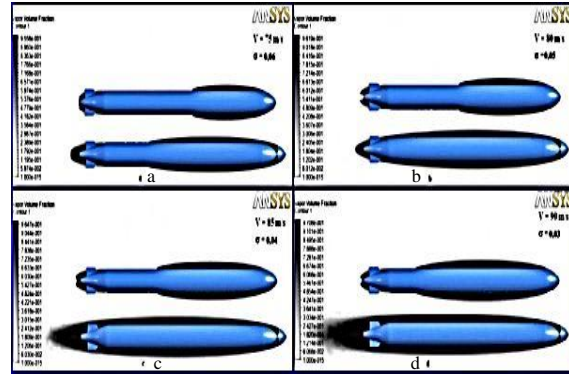
Hình 9. Phân bố đường dòng qua ngư lôi được tối ưu hóa với kết cấu mũi lồi

Ở trường hợp ngư lôi nguyên mẫu, hiện tượng tách dòng xảy ra phần đầu ngư lôi và tạo ra vùng áp suất thấp phía sau, tạo điều kiện hình thành các phần tử bọt khí xâm thực. Vùng áp suất thấp được mở rộng trên thân ngư lôi khi vận tốc tăng lên. Với trường hợp ngư lôi được gắn thêm mũi lồi thì điểm tách dòng nằm trên mũi nón và điều này làm vùng áp suất thấp phía sau lớn hơn trường hợp nguyên mẫu.

**3.2. Phân bố pha hơi trên ngư lôi nguyên mẫu Set53M và ngư lôi được tối ưu hóa phần mũi**

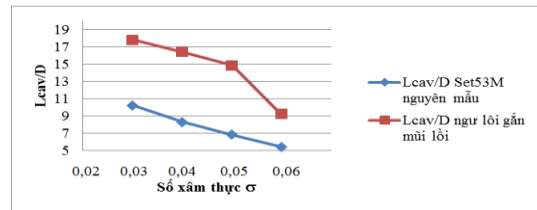
Để đánh giá quá trình thay đổi kích thước vùng bọt khí, Hình 10 thể hiện vùng có áp suất giảm xuống dưới áp suất hơi bão hòa của nước. Vùng áp suất thấp phát triển ứng khi vận tốc ngư lôi tăng. Ở giá trị vận tốc 75m/s; 80m/s ứng với  $\sigma = 0,06; 0,05$  Hình 10a và Hình 10b cho kết quả vùng áp suất thấp xuất hiện phía sau vùng mũi và hình thành bọt khí xâm thực, chiều dài trung bình vết xâm thực đối với trường hợp ngư lôi được gắn thêm mũi lồi lớn hơn so với trường hợp ngư lôi nguyên mẫu. Khi tốc độ tăng,

từ trên 80m/s đến 90m/s thì chiều dài khoang bọt khí tăng lên và siêu khoang hình thành, bao phủ toàn bộ bề mặt thân ngư lôi ứng với trường hợp ngư lôi được tối ưu hóa phần mũi, Hình 10c và Hình 10d. Trường hợp này cho kết quả lực cản giảm đáng kể so với ngư lôi nguyên mẫu.



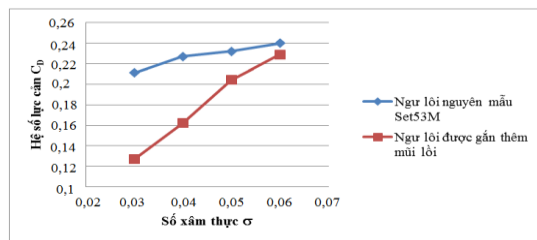
Hình 10. Phân bố pha hơi trên ngư lôi nguyên mẫu Set53M và ngư lôi được gắn mũi lồi

**3.3. Ảnh hưởng của xâm thực tới ngư lôi với kết cấu mũi lồi**



Hình 11. Chiều dài vết xâm thực  $L_{cav}$  phụ thuộc  $\sigma$

Với ảnh hưởng của mũi lồi được gắn vào phần mũi ngư lôi đã tạo ra vùng áp suất thấp phía sau và hiện tượng siêu xâm thực được hình thành sớm hơn so với trường hợp nguyên mẫu không gắn mũi lồi. Hình 11 chỉ ra mối quan hệ giữa số xâm thực  $\sigma$  và chiều dài vết xâm thực. Chiều dài vết xâm thực tăng khi vận tốc ngư lôi tăng lên, cụ thể chiều dài vết xâm thực đối với trường hợp tối ưu xấp xỉ 1,8 lần chiều dài vết xâm thực với trường hợp nguyên mẫu và bọt khí chiếm toàn bộ thân ngư lôi khi vận tốc ngư lôi đạt 90m/s ứng với  $\sigma = 0,03$ .



Hình 12. Sự thay đổi hệ số lực cản  $C_D$  khi thay đổi  $\sigma$

Hình 12 thể hiện mối quan hệ giữa số xâm thực  $\sigma$  và hệ số lực cản  $C_D$ . Ngư lôi được gắn thêm mũi lồi

cho kết quả lực cản giảm đáng kể so với trường hợp nguyên mẫu Set53M. Khi các bọt khí xâm thực phát triển và chiếm một phần thân ngư lôi ứng với giá trị  $\sigma = 0,06$  lực cản tác dụng lên ngư lôi được tối ưu hóa phần mũi nhỏ hơn 5% so với trường hợp lực cản tác dụng lên ngư lôi nguyên mẫu. Ở những giá trị vận tốc lớn hơn, khi hiện tượng siêu xâm thực hình thành, túi khí xâm thực bao phủ toàn bộ bề mặt thân ngư lôi thì yếu tố lực cản ma sát và lực cản hình dáng tác dụng lên thân ngư lôi giảm đáng kể, đạt giá trị xấp xỉ 40% khi  $\sigma = 0,03$ .

#### 4. Kết luận

Ảnh hưởng kết cấu mũi lõi được gắn vào phần mũi ngư lôi đường kính 533mm với giá trị số xâm thực giảm từ  $\sigma = 0,06$  đến  $\sigma = 0,03$  được thực hiện mô phỏng bài toán xâm thực trên phần mềm ANSYS - CFX và có được một số kết luận sau:

- Kích thước vết xâm thực (thông số về chiều dài) tăng đáng kể so với trường hợp ngư lôi nguyên mẫu, xấp xỉ đạt 1,8 lần. Kết quả này có thể được nghiên cứu và ứng dụng phát triển loại ngư lôi siêu khoang.

- Thông số lực cản (lực cản ma sát và lực cản hình dáng) tác dụng lên bề mặt thân ngư lôi ở trường hợp được gắn thêm mũi lõi cho kết quả giảm đáng kể, xấp xỉ 40% so với ngư lôi nguyên mẫu Set53M.

#### Lời cảm ơn

Bài báo là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm học 2019 - 2020: “Nghiên cứu giải pháp giảm lực cản trên ngư lôi tốc độ cao Set-42M bằng mũi lõi tạo siêu xâm thực”, được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ahn B.K., C.S. Lee, Kim H.T, *Experimental and numerical studies on super-cavitating flow of axisymmetric cavitators*, Intl. Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 2, pp.39-44, 2010.
- [2] Byoung-KwonAhn et al, *An experimental investigation of artificial supercavitation generated by air injection behind disk-shaped cavitators*, Intl. Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 9, Issue 2, pp.227-237, 2017.
- [3] D.Yang, Y.L.Xiong and X.F.Guod, *Drag reduction of a rapid vehicle in supercavitating flow*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 9, Issue 1, pp.35-44, 2017.
- [4] Jung-Kyu Choi et al, *A numerical and experimental study on the drag of a cavitating underwater vehicle in cavitation tunnel*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 7, Issue 5, pp.888-905, 2015.
- [5] Truong Viet Anh, Pham Van Duyen, Nguyen Quang Huy, Hoang Thi Hong Minh, *Some aspects of cavitation around a triangular cavitator with curved sides*, International conference on Fluid Machinery and Automation System, 2018.
- [6] Hoàng Thị Bích Ngọc, *Lý thuyết lớp biên và phương pháp tính*, NXB Khoa học và kỹ thuật, 1999.

Ngày nhận bài: 23/3/2020

Ngày nhận bản sửa: 16/4/2020

Ngày duyệt đăng: 23/4/2020