

# TÍNH TOÁN LỰC SIẾT CẦN THIẾT CHO NHÓM BULÔNG LẮP GHÉP CÁNH VÀ BẦU CỦA CHÂN VỊT CÁNH RỜI

## CALCULATING THE NECESSARY TIGHTENING FORCE FOR THE BOLTS OF THE BUILT-UP PROPELLER

NGUYỄN MẠNH NÊN, PHẠM NGỌC ÁNH, HOÀNG VĂN NAM\*

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

### Tóm tắt

Với kết cấu cánh rời và lắp với bầu bằng mối ghép bulông (vít) nên bulông lắp ghép cánh chân vịt biển bước là chi tiết rất quan trọng. Lực siết của nhóm bulông lắp ghép ảnh hưởng trực tiếp tới độ bền, khả năng làm việc, và độ tin cậy của cả chân vịt. Lực siết nói chung phụ thuộc vào tải trọng ngoài. Tuy nhiên, tải trọng tác dụng lên nhóm bulông cánh lại vô cùng phức tạp, chúng bao gồm các lực và mômen do trường phân bố áp suất trên cánh chân vịt gây ra. Trong bài báo này, nhóm tác giả đưa ra phương pháp xác định tải trọng tác dụng và tính toán lực siết cần thiết cho bulông ghép cánh chân vịt cánh rời. Áp dụng tính toán cho chân vịt lắp trên tàu có công suất máy chính 155CV với đường kính chân vịt 1m.

**Từ khóa:** Chân vịt biển bước, chân vịt cánh rời, bulông, tính toán độ bền.

### Abstract

With the structure of detachable blades fitted to the hub with bolts, the bolts of controllable pitch propeller are very important. The tightening force of the bolt group directly affects the durability, working ability, and reliability of the propeller. The tightening force generally depends on external loads. However, the loads acting on the blade bolt group are extremely complex. They include the forces and moments caused by the pressure distribution field on the propeller blade. In this paper, the authors propose a method to determine the effective load and calculate the necessary tightening force for the bolts of a built-up propeller. Applying for the calculation of the propeller of the ship with the main engine capacity of 155CV and the propeller diameter of 1 meter.

**Keywords:** Controllable pitch propeller, built-up propeller, bolt, strength analysis.

### 1. Đặt vấn đề

Ngày nay, chân vịt biển bước được sử dụng rộng rãi trong ngành kỹ thuật tàu thủy, đặc biệt là trên các tàu kỹ thuật cao như tàu quân sự hay tàu quét ngư lôi. Chân vịt biển bước cũng được sử dụng trên một số tàu kỹ thuật thô sơ hơn chẳng hạn như tàu cá, tàu kéo, tàu phá băng,... Về mặt công nghệ, chân vịt biển bước có nhiều lợi thế trong quá trình chế tạo, đặc biệt là đối với các chân vịt có tỉ số mặt đĩa lớn, tức là chân vịt có hình chiếu các cánh xuống mặt phẳng vuông góc với đường tâm hệ trục có phần giao nhau. Do độ phức tạp về hình dáng kết cấu của các chân vịt có tỉ số mặt đĩa lớn, các chân vịt cánh liền loại này thường được gia công trên các máy CNC 4 hoặc 5 trục. Quá trình công nghệ chế tạo trở nên đơn giản và dễ dàng hơn nhiều đối với các chân vịt biển bước khi mà các chi tiết cánh có thể tháo rời ra. Theo đó, chúng ta có thể đúc và gia công từng bộ phận trên các máy CNC 3 trục thông thường nhằm tăng năng suất sản xuất cũng như giảm giá thành chế tạo, và sau đó tiến hành lắp ghép các chi tiết lại với nhau để có được cụm chi tiết hoàn chỉnh.

Mặc dù chân vịt biển bước có nhiều ưu điểm như được đề cập ở trên, việc lắp ghép các cánh với bầu chân vịt như thế nào để đảm bảo độ bền của chân vịt trong đó có nhóm bulông lắp ghép khi làm việc là một vấn đề cần được quan tâm.

Trên thực tế, thường có hai phương án lắp ghép cánh với bầu tương ứng với hai dạng cấu tạo của chân vịt biển bước như được minh họa trên Hình 1 và Hình 2. Phương án 1 (Hình 1), bầu chân vịt được chia làm hai nửa, cánh và bộ phận điều khiển bước làm liền khối. Phương án 2 (Hình 2), bầu chân vịt được làm liền khối, cánh và bộ phận điều khiển bước tách rời và ghép lại bằng các bulông. Bài báo này đề cập đến phương pháp tính toán lực siết cần thiết cho nhóm bulông lắp ghép cánh và bầu trong phương án 2.

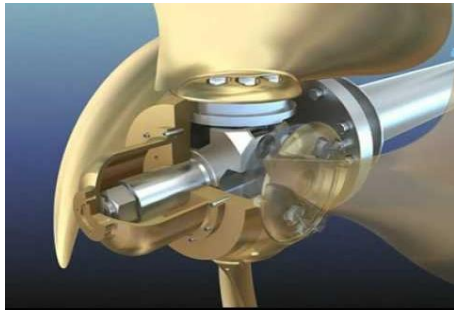
Hiện nay việc tính toán thiết kế chân vịt biển bước nói chung và nhóm bulông lắp ghép cánh chân vịt nói riêng do một số hãng chuyên về thiết kế và

chế tạo chân vịt biển bước thực hiện, và gần như không được công bố ra ngoài. Ở Việt Nam, công thức tính đường kính bulông ghép cánh chân vịt biển bước được đề cập trong Quy chuẩn quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép QCVN21:2015 [1], tuy nhiên công thức này không phân biệt đặc điểm lắp ghép (lắp có khe hở hay không có khe hở) và đặc biệt là không đề cập đến việc xác định lực siết cần thiết cho các bulông.

Bài báo này nhóm tác giả đề xuất phương pháp tính toán lực siết cần thiết cho nhóm bulông lắp ghép cánh của chân vịt cánh rời nói chung và chân vịt biển bước nói riêng để làm cơ sở cho việc tính toán kích thước hay nghiệm bền nhóm bulông nói trên.



Hình 1. Bàu chân vịt hai nửa



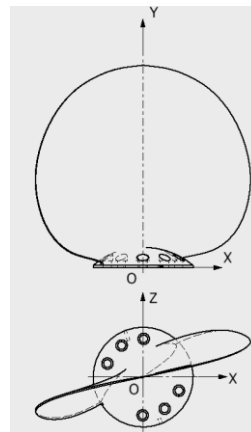
Hình 2. Bàu chân vịt liền khối

## 2. Cơ sở lý thuyết

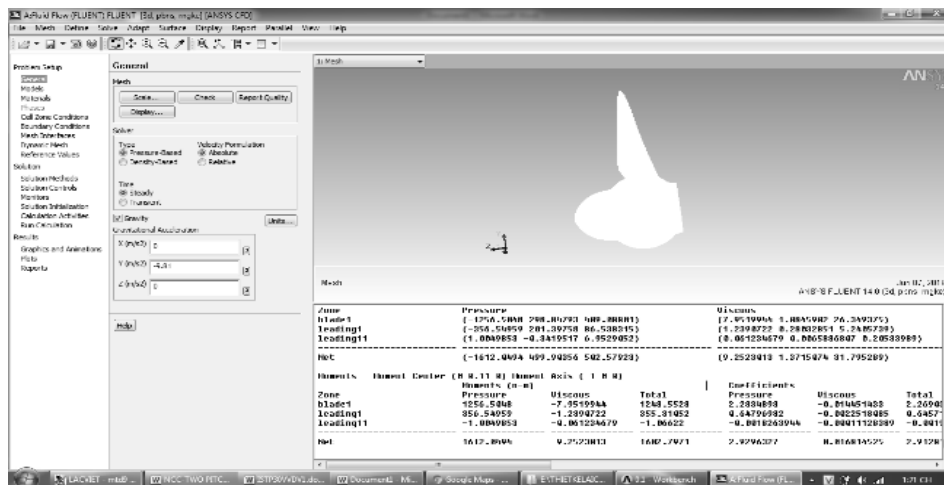
### 2.1. Đường lối tính toán chung

Chúng ta xét một cánh được lắp ghép với bầu của chân vịt biển bước như trên Hình 3. Khi đó, tải trọng tác dụng lên nhóm bulông lắp ghép giữa cánh và bầu chân vịt chính là áp suất thủy động của chất lỏng tác dụng lên cánh chân vịt. Trong thực tế, áp suất thủy động của chất lỏng tác dụng lên cánh chân vịt phân bố phức tạp trên toàn bộ bề mặt của cánh. Chúng ta chọn hệ quy chiếu gắn với cánh chân vịt sao cho góc tọa độ đặt tại trọng tâm mỗi ghép bulông, trục Z và X nằm trong mặt phẳng lắp ghép, trục Z cùng phương với đường tâm hệ trục chân vịt, trục Y vuông góc với bề mặt lắp ghép (Hình 3). Khi quy đổi trường áp suất phân bố này về mặt phẳng lắp ghép ta nhận được các lực tập trung theo 3 phương  $F_x, F_y, F_z$  đặt tại trọng tâm của mỗi ghép và các mômen tập trung  $M_x, M_y, M_z$ .

Cho tới nay, một số phương pháp tính toán thủy động học của chân vịt đã được đề xuất, bao gồm



Hình 3. Hệ trục tọa độ tính toán



Hình 4. Mô phỏng tính toán trên phần mềm Ansys

những phương pháp sau mà theo đó mức độ phức tạp cũng tăng dần, chẳng hạn như: lý thuyết động lượng (momentum theory), phương pháp đường chịu tải (lifting-line method), phương pháp bề mặt nâng (lifting surface method), phương pháp phần tử biên (boundary element method), phương pháp trường (field method)...[4]. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Ansys để mô phỏng và tính toán áp suất trên bề mặt cánh chân vịt. Từ đó xuất ra kết quả các lực và mômen tại trọng tâm của mỗi ghép.

Chúng ta chia các lực và mômen tác dụng lên nhóm bulông ghép cánh và bầu chân vịt thành hai nhóm. Nhóm 1 là các lực và mômen tác dụng trong mặt phẳng ghép bao gồm các lực  $F_x$ ,  $F_z$  và mômen  $M_y$ . Các lực và mômen trong nhóm này làm hai bề mặt lắp ghép có xu hướng trượt tương đối với nhau. Nếu là bulông lắp không khe hở thì thân bulông trực tiếp tiếp nhận tải trọng và ngăn không cho hai mặt phẳng trượt tương đối với nhau. Nếu bulông lắp có khe hở thì cần tính lực siết  $V_{tr}$  để đảm bảo mỗi ghép không bị trượt. Nhóm 2 là các lực và mômen tác dụng trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng lắp ghép bao gồm lực  $F_y$ , các mômen  $M_x$ ,  $M_z$  và lực quán tính ly tâm  $F_c$ . Các lực và mômen trong nhóm này có xu hướng làm tách hở hai bề mặt ghép. Như vậy ta cần xác định lực siết bulông để đảm bảo mỗi ghép không bị tách hở.

Tóm lại nếu là bulông lắp không khe hở thì lực siết cần thiết là lực siết để chống tách hở mỗi ghép:

$$V = V_{th} \quad (1a)$$

Nếu là bulông lắp có khe hở thì khi tính toán ta phải xác định được lực siết bulông  $V$  cần thiết để vừa đảm bảo khi làm việc các bề mặt ghép không bị xô dịch vừa đảm bảo mỗi ghép không bị tách hở. Từ điều kiện chống xô dịch mỗi ghép ta xác định được lực siết cần thiết  $V_{tr}$ , từ điều kiện chống tách hở mỗi ghép ta xác định được lực siết cần thiết  $V_{th}$ . Vậy lực siết cần thiết là giá trị lớn trong hai giá trị lực siết nói trên [2]:

$$V = \text{Max}\{V_{tr}; V_{th}\} \quad (1b)$$

Chân vịt được nhóm tác giả áp dụng tính toán cụ thể trong nghiên cứu này sử dụng nhóm bulông lắp ghép có khe hở.

## 2.2. Tính toán lực siết cần thiết theo điều kiện chống trượt

Trong mặt phẳng ghép tổng hợp lực  $F_{xz}$  của hai lực  $F_x$  và  $F_z$  có xu hướng làm 2 bề mặt ghép dịch

chuyển theo phương của nó, mômen  $M_y$  có xu hướng làm bề mặt ghép xoay tương đối với nhau.

Gọi số bulông trong nhóm là  $Z$ . Lực  $F_F$  do  $F_{xz}$  tác dụng lên mỗi bulông cùng phương và ngược chiều với lực  $F_{xz}$ , và có trị số như sau:

$$F_F = \frac{F_{xz}}{Z} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{Z} \quad (2)$$

Do các bulông lắp ghép được bố trí theo đường tròn bán kính  $r$  nên lực  $F_M$  do mômen  $M_y$  tác dụng lên mỗi bulông có phương vuông góc với đường nối tâm bulông tới tâm mỗi ghép, có chiều ngược với chiều của mômen  $M_y$ , và có trị số tính theo công thức sau:

$$F_M = \frac{M_y}{rZ} \quad (3)$$

Lực tổng hợp tác dụng lên mỗi bulông trong mặt phẳng ghép là:

$$\vec{F}_t = \vec{F}_F + \vec{F}_M \quad (4)$$

Trị số của  $F_t$  có thể tính theo công thức sau:

$$F_t = \sqrt{F_F^2 + F_M^2 + 2F_F F_M \cos(\vec{F}_F; \vec{F}_M)} \quad (5)$$

Lực siết cần thiết theo điều kiện chống trượt  $V_{tr}$  được tính theo  $F_t$ :

$$V_{tr} = \frac{kF_t}{f} \quad (6)$$

Trong đó:

$k$  - hệ số an toàn chống trượt,  $k = 1,3 \div 2$  [2];

$f$  - hệ số ma sát của cặp bề mặt lắp ghép.

## 2.3. Xác định lực siết cần thiết theo điều kiện chống tách hở mỗi ghép

Khi chưa có tác dụng của ngoại lực, lực siết  $V_{th}$  tạo ra áp suất (ứng suất dập) trên các bề mặt ghép. Coi áp suất trên các bề mặt ghép phân bố đều, trị số của nó được tính theo công thức sau:

$$\sigma_v = \frac{V_{th}Z}{A} \quad (7)$$

Trong đó:  $A$  - diện tích bề mặt ghép.

Khi làm việc, các lực  $F_y$ ,  $F_c$  và các mômen  $M_x$ ,  $M_z$  làm giảm áp suất trên bề mặt ghép và làm cho mỗi ghép có xu hướng bị tách hở.

Lực  $F_y$  và  $F_c$  làm áp suất trên bề mặt ghép giảm đi một lượng:

$$\sigma_F = \frac{(F_y + F_C)(1 - \chi)}{A} \quad (8)$$

Trong đó:

$\chi$  - hệ số phân bố ngoại lực, nó phụ thuộc vào vật liệu và kết cấu của bulông cũng như chân vịt. Hệ số này thông thường khá nhỏ vì độ mềm của bulông lớn hơn nhiều các tấm ghép. Để an toàn và thuận lợi cho việc tính toán lực siết ta có thể coi  $\chi = 0$ ;

$F_C$  - lực quán tính ly tâm do khối lượng cánh gây ra khi chuyển động,  $F_C$  được tính theo công thức sau:

$$F_C = mR \left( \frac{\pi N}{30} \right)^2 \quad (9)$$

Trong đó:

m - khối lượng 1 cánh;

R - khoảng cách từ trọng tâm cánh đến tâm trục;

N - số vòng quay của chân vịt trong 1 phút.

Áp suất trên bề mặt ghép do mômen  $M_z$  và  $M_x$  gây ra thay đổi theo biểu đồ tương tự ứng suất uốn [2]. Tổng hợp hai mômen  $M_x$  và  $M_z$  ta nhận được mômen tổng  $M_t$ . Mặt phẳng tác dụng của mômen này được xác định dựa vào trị số và chiều của  $M_x$  và  $M_z$ .

$$\alpha = \arctan \left( \frac{M_z}{M_x} \right) = \arctan \left( \frac{\sigma_{M_z}}{\sigma_{M_x}} \right) \quad (10)$$

Trong đó:

$\alpha$  - góc giữa mặt phẳng tác dụng của  $M_x$  và  $M_t$ ;  
 $\sigma_{M_x}$  và  $\sigma_{M_z}$  - áp suất lớn nhất do  $M_x$  và  $M_z$  gây ra.

Bỏ qua trị số  $\chi$ , ta có thể xác định được trị số giới hạn của áp suất trên bề mặt ghép do  $M_t$  gây ra:

$$\sigma_M = \frac{M_t(1 - \chi)}{W_u} \approx \frac{M_t}{W_u} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_z^2}}{W_u} \quad (11)$$

Trong đó:

$W_u$  - mômen cản uốn của tiết diện bề mặt ghép.

Biểu đồ phân bố áp suất trên bề mặt ghép tại mặt phẳng tác dụng của  $M_t$  có dạng như Hình 5.

Áp suất nhỏ nhất trên bề mặt ghép là:

$$\sigma_{\min} = \sigma_V - \sigma_F - \sigma_M \quad (12)$$

Để đảm bảo mối ghép không bị tác hờ thì  $\sigma_{\min} \geq 0$ , hoặc  $\sigma_V \geq \sigma_F + \sigma_M$ .

Để an toàn ta lấy:

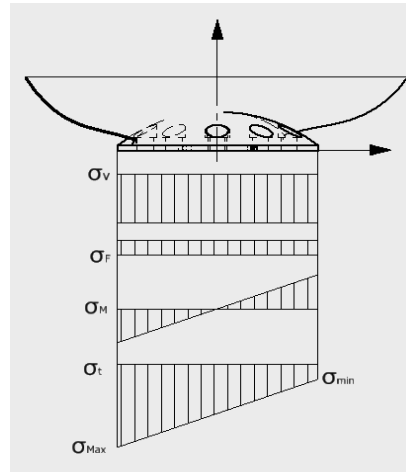
$$\sigma_V = k(\sigma_F + \sigma_M) \quad (13)$$

Trong đó:

k - hệ số an toàn chống tách hờ, thông thường k = 1,3 ÷ 2 [2].

Từ đó ta tính được lực siết  $V_{th}$  cần thiết để chống tách hờ mối ghép:

$$V_{th} = \frac{A\sigma_V}{Z} \quad (14)$$



Hình 5. Biểu đồ phân bố áp suất trên bề mặt ghép

### 2.4. Tính toán mômen siết cần thiết

Mô men siết cần thiết tương ứng có thể tính toán theo công thức sau [6]:

$$M_A = \frac{V.P_r}{2\pi\eta} \quad (15)$$

Trong đó:

$M_A$  - mômen siết cần thiết;

$P_r$  - bước ren của vít lắp ghép;

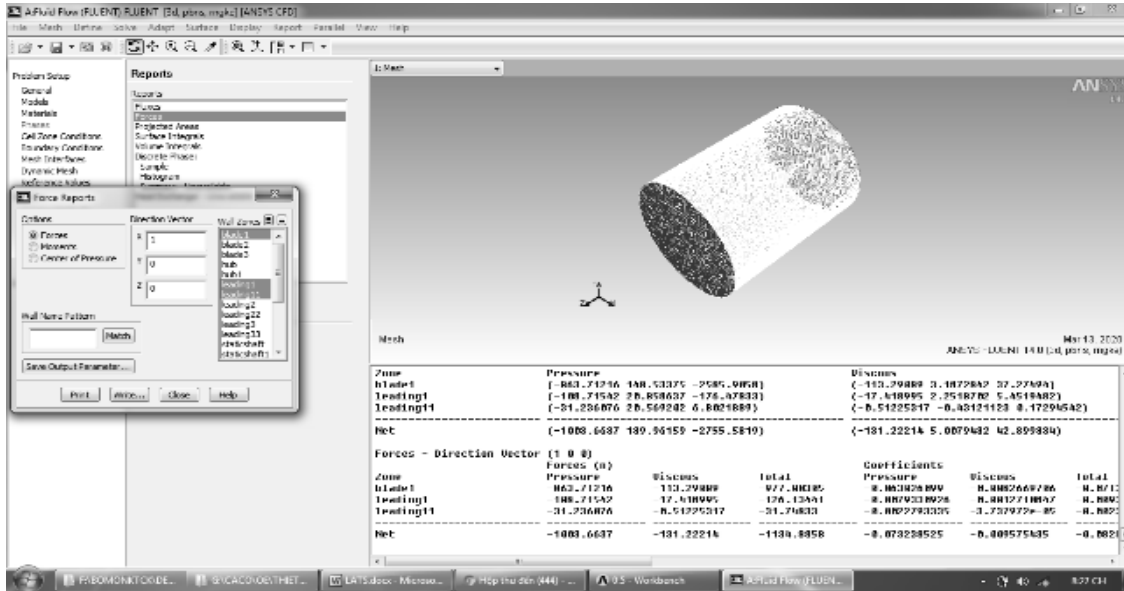
$\eta$  - hiệu suất kể đến ảnh hưởng của ma sát khi siết bulông.

### 3. Ví dụ tính toán

Trong phần này, chúng tôi tính toán cho chân vịt biến bước lắp trên tàu có công suất máy chính là H = 155 CV, số vòng quay trong một phút của chân vịt khi làm việc ở chế độ toàn tải là N = 629 vòng/phút, vận tốc khai thác của tàu là v = 10 hải lý/giờ. Chân vịt có đường kính  $D_C = 1m$ , số cánh n = 3, cánh chân vịt được thiết kế theo SeriB. Cánh ghép với bầu chân vịt bằng mối ghép bulông có khe hở.

Sử dụng phần mềm ANSYS FLUENT để mô phỏng trường áp suất trên cánh và từ đó xác định tải trọng tác dụng lên nhóm bulông lắp ghép. Kết quả tính toán nhận được như sau:

$F_x = 1134,89 \text{ N}$ ;  $M_x = 870,97 \text{ Nm}$ ;  
 $F_y = 194,97 \text{ N}$ ;  $M_y = 5,85 \text{ Nm}$ ;  
 $F_z = -2712,68 \text{ N}$ ;  $M_z = 374,75 \text{ Nm}$ .



Hình 6. Ví dụ tính toán lực theo phương X

Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 1:

Bảng 1. Kết quả tính toán

STT	Thông số	Ký hiệu	Công thức	Kết quả	Đơn vị
1	Số bulông	$Z_v$		6	chiếc
2	Đường kính bề mặt lắp ráp	D		192	mm
3	Vật liệu bulông	SUSF 304	Theo tiêu chuẩn đăng kiểm		
8	Khối lượng cánh	m		23,09	kg
9	Khoảng cách giữa trọng tâm cánh và đường tâm trục	R		23,308	cm
10	Lực li tâm	$F_c$	$F_c = mR \left( \frac{\pi N}{30} \right)^2$	2.3421,943	N
11	Đường kính chân vịt	$D_c$		1	m
13	Vật liệu cánh và đĩa chân vịt	CU1-4			
14	Đường kính lỗ ghép bulông	$d_{lo}$		15	mm
15	Vật liệu đĩa xoay cánh	SUSF 304			
16	Mô đun đàn hồi vật liệu đĩa xoay cánh	$E_d$		$1,93 \cdot 10^5$	Mpa

STT	Thông số	Ký hiệu	Công thức	Kết quả	Đơn vị
17	Chiều dày lớp ghép của cánh	$l_c$		13	mm
18	Chiều dài phần ren bulông bắt vào đĩa	$l_d$		12	mm
19	Độ mềm bulông	$\lambda_b$	$\lambda_b = lb/(Eb.Ab)$	$6,3.10^7$	mm/N
20	Đường kính đầu bulông	$D_{dv}$		21	mm
21	Đường kính tính toán lỗ ghép	$D_1$	$D_1 = D_{dv} + (l_c + l_d) / 4$	27,25	mm
22	Diện tích biến dạng bích và đĩa cánh	$A_{tg}$	$A_{tg} = \pi(D^2 - d_{lo}^2) / 4$	406,49	mm <sup>2</sup>
23	Độ mềm của các tấm ghép	$\lambda_{tg}$	$A_{tg} = \pi \left( \frac{l_c}{E_c A_{tg}} + \frac{l_d}{E_d A_{tg}} \right)$	$4,3.10^7$	mm/N
24	Hệ số tải trọng ngoài	$\chi$		0,403	
26	Áp suất do $M_x$ gây ra	$\sigma_{Mx}$		0,75	Mpa
27	Áp suất do $M_z$ gây ra	$\sigma_{Mz}$		0,54	Mpa
28	Áp suất do lực ly tâm gây ra	$\sigma_{Fc}$		0,81	Mpa
29	Áp suất do lực $F_y$ gây ra	$\sigma_{Fy}$		0,007	Mpa
31	Góc giữa phương áp suất tổng lớn nhất với trục X	$\alpha$	$\alpha = \arctan \left( \frac{\sigma_{Mz}}{\sigma_{Mx}} \right)$	35,788	Độ
32	Áp suất lớn nhất tải trọng ngoài gây ra	$\sigma_{gMax}$		1,69	Mpa
33	Hệ số an toàn chống tách hồ	$K_{th}$		1,5	
34	Lực siết chống tách hồ mỗi ghép	$V_{th}$		12.237,389	N
35	Hệ số an toàn chống trượt	$K_t$	Chọn	1,5	
36	Lực ngang tổng	$F_n$		2.940,51	N
37	Lực $F_n$ tạo với trục X một góc	$\beta$	$\beta = \arctan \frac{M_z}{M_x} = \arctan \frac{F_z}{F_x}$	67,30	Độ
38	Lực do $F_n$ gây ra	$F_F$		490,09	N
39	Lực do $M_y$ gây ra	$F_{My}$	$F_{My} = \frac{2M_y}{DZ_v}$	10,16	N
40	Góc nhỏ nhất giữa 2 lực thành phần		Xác định bằng phương pháp vẽ sơ đồ	9,24	Độ
41	Tổng hợp lực lớn nhất	$F_{nv}$		500,11	N
42	Hệ số ma sát	$f$		0,22	

STT	Thông số	Ký hiệu	Công thức	Kết quả	Đơn vị
43	Hệ số an toàn chống trượt	$K_t$	Chọn	1,5	
44	Lực siết cần thiết chống trượt	$V_{tr}$	$V = \frac{K_m F_{nv}}{f}$	3.409,857	N
45	Lực siết cần thiết	V	$V = \text{Max}(V_{tr}; V_{th})$	12.237,389	N
46	Bước ren	$P_r$		2	mm
47	Hiệu suất khi siết bulông [6]	$\eta$		0,15	
48	Mômen siết cần thiết tương ứng [6]	$M_A$		24,969	Nm

#### 4. Kết luận

Bài báo đã đề xuất phương pháp chung tính toán lực siết cần thiết cho bulông lắp ghép cánh và bầu của chân vịt cánh rời nói chung và chân vịt biển bước nói riêng.

Kết quả tính toán cho chân vịt tàu có công suất 155 CV cho thấy lực siết cần thiết tối thiểu là  $V = 12237,3989$  N, mômen siết tương ứng là  $M_A = 24,969$  Nm. Chọn mômen siết theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1916:1995 về Bulông, vít, vít cấy và đai ốc - Yêu cầu kỹ thuật thì ta có  $M_A = 25,35$  Nm.

Dùng kết quả này để tiến hành tính toán kích thước bulông theo độ bền thì thu được đường kính bulông theo tiêu chuẩn là M14 hoàn toàn phù hợp với đường kính bulông tính theo công thức trong Quy chuẩn quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép QCVN21:2015.

#### Lời cảm ơn

Bài báo là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm học 2019 - 2020: “Nghiên cứu xác định tải trọng tác dụng và tính bền bu lông (vít) ghép cánh của chân vịt cánh rời” được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quy chuẩn quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép QCVN21:2015.
- [2] Đào Ngọc Biên, *Bài tập cơ sở thiết kế máy và chi tiết máy*, NXB Giao thông vận tải, 2011.
- [3] Nguyễn Trọng Hiệp, *Chi tiết máy tập 1 và 2*, NXB Giáo dục, 2004.
- [4] Đặng Xuân Phương, *Đánh giá độ bền của chân vịt tàu thủy chế tạo bằng phương pháp ghép cánh*, Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, số tháng 4 - 2016.
- [5] Nguyễn Đăng Cường, *Thiết kế và lắp ráp thiết bị tàu thủy*, NXB Khoa học và kỹ thuật, 2010.
- [6] Jürgen Burmester, Josef Dillinger, Walter Escherich, Eckhard Ignatowitz, Stefan Oesterle, *Fachkunde Metall*, Taschenbuch, 2017.

Ngày nhận bài:	23/3/2020
Ngày nhận bản sửa:	16/4/2020
Ngày duyệt đăng:	20/4/2020