

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa được sử dụng ngày càng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, với nhiều mục đích khác nhau. Nhằm nâng cao khả năng hoạt động của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu, phát triển cùng với sự phát triển của kỹ thuật và công nghệ dưới nước. Các giải pháp cơ bản nâng cao tốc độ chuyển động của thiết bị ngầm được sử dụng: tăng công suất, số lượng động cơ đẩy, bố trí động cơ đẩy hợp lý, thiết kế tối ưu hình dáng thủy động, tối ưu hóa khối lượng thiết bị ngầm. Do vậy, nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống tạo lực đẩy đến chuyển động của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có vai trò quan trọng trong vấn đề nghiên cứu thiết kế, chế tạo, cải tiến thiết bị ngầm nhằm vừa nâng cao tốc độ chuyển động vừa bảo đảm khả năng kiểm soát hoạt động của thiết bị ngầm trong quá trình hoạt động.

Với lí do nêu trên, NCS lựa chọn đề tài “**Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số hệ thống tạo lực đẩy đến chuyển động của thiết bị ngầm**” nhằm đưa ra những căn cứ khoa học cho việc hoàn thiện mô hình tính toán giải bài toán chuyển động thủy động lực học của thiết bị ngầm.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu hoàn thiện mô hình lý thuyết về thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa làm cơ sở nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của lực đẩy và một số tham số hệ thống tạo lực đẩy đến chuyển động của thiết bị ngầm. Kết quả nghiên cứu góp phần định hướng cho việc nghiên cứu thiết kế cũng như cải tiến, nâng cấp thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.

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

- Đối tượng nghiên cứu: Thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.
- Phạm vi nghiên cứu: Lựa chọn, hoàn thiện mô hình và tính toán chuyển động của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có hình dáng phức tạp, không hoàn toàn đối xứng (chỉ có 2 mặt phẳng đối xứng).

4. Nội dung nghiên cứu của luận án

- Giới thiệu tổng quan về các vấn đề định nghiên cứu, các loại thiết bị ngầm không người lái, tình hình nghiên cứu và phân tích ưu, nhược điểm của các mô hình đã nghiên cứu về thiết bị ngầm không người lái từ đó đưa ra các định hướng, nội dung cần được nghiên cứu, giải quyết.

- Hoàn thiện mô hình nghiên cứu thủy động lực học của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có hình dáng phức tạp, chỉ có hai mặt phẳng đối xứng có kể đến đầy đủ các lực thủy động, thủy tĩnh tác dụng.

- Từ kết quả giải bài toán chuyển động thủy động lực học, khảo sát ảnh hưởng của lực đẩy động cơ, vị trí lắp đặt các động cơ đẩy đến chuyển động của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.

- Trên cơ sở nghiên cứu mô hình lý thuyết ở chương 2 và kết quả giải và khảo sát chương 3, thực nghiệm đo vận tốc chuyển động của thiết bị ngầm trong giai đoạn chuyển động bình ổn nhằm khẳng định sự đúng đắn, phù hợp của mô hình nghiên cứu lý thuyết, phương pháp nghiên cứu.

5. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng kết hợp giữa 3 phương pháp: nghiên cứu lý thuyết, tính toán mô phỏng kết nối và thực nghiệm kiểm chứng.

- Nghiên cứu lý thuyết: nghiên cứu mô hình thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa. Giải hệ phương trình vi phân chuyển động bằng của thiết bị ngầm bằng phương pháp số.

- Tính toán mô phỏng kết nối: Kết nối, trao đổi dữ liệu tự động, giữa 2 chương trình mô phỏng ANSYS Fluent và chương trình tính toán Fortran nhằm tính toán chuyển động của thiết bị ngầm có kể đến ảnh hưởng của các điều kiện môi trường dòng chảy xung quanh thiết bị ngầm.

- Thực nghiệm kiểm chứng: xác định các thông số đầu vào, chế tạo mô hình thiết bị ngầm, thực nghiệm đo đạc xác định vận tốc chuyển động của thiết bị ngầm bằng hệ thống thiết bị đo hiện đại.

6. Cấu trúc luận án

Luận án gồm: phần mở đầu, bốn chương, phần kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục. Trong đó có 130 trang thuyết minh, 13 bảng, 49 hình vẽ và đồ thị, 42 tài liệu tham khảo và 26 trang phụ lục.

Mở đầu. Trình bày tính cấp thiết của đề tài luận án.

Chương 1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu về thiết bị ngầm không người lái, các hiện tượng cản thủy động.

Chương 2. Mô hình nghiên cứu thủy động lực học của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.

Chương 3. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số hệ thống tạo lực đẩy đến chuyển động của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.

Chương 4. Thực nghiệm kiểm chứng và đánh giá kết quả.

Kết luận và kiến nghị: Những kết quả mới của luận án và kiến nghị.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trình bày tổng quan về cấu tạo, hoạt động của thiết bị ngầm không người lái, các hiện tượng cản thủy động, các lực thủy động, thủy tĩnh tác dụng lên thiết bị ngầm không người lái trong quá trình hoạt động. Một số công trình nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước về các thiết bị ngầm không người lái và các mô hình xây dựng của các tác giả về thiết bị ngầm không người lái.

Từ các công trình đã công bố, mỗi mô hình đều có các ưu điểm riêng nhưng có một số nội dung chưa được tính đến như sau:

- Các mô hình xây dựng đều giải bài toán chuyển động thủy động lực học của thiết bị ngầm không người lái với đầy đủ các lực thủy động, thủy tĩnh tác dụng. Các nghiên cứu đi sâu phân tích ảnh hưởng của các lực cản thủy động, thủy tĩnh đến quá trình chuyển động của thiết bị ngầm không người lái, tuy nhiên các nghiên cứu đều coi thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa đều có ba mặt phẳng đối xứng.

- Các phương pháp tính toán xác định lực khối lượng nước kèm, lực cản thủy động thông qua việc xác định ma trận hệ số khối lượng nước kèm và ma trận hệ số cản thủy động. Tuy nhiên, trong các mô hình nghiên cứu việc xác định các hệ số trong hai ma trận khối lượng nước kèm và ma trận cản thủy động chủ yếu được xác định bằng thực nghiệm phức tạp và tốn kém hoặc sử dụng bộ số liệu có sẵn.

Với những điểm hạn chế của các mô hình trước, luận án sẽ tập trung nghiên cứu và giải quyết các vấn đề như sau:

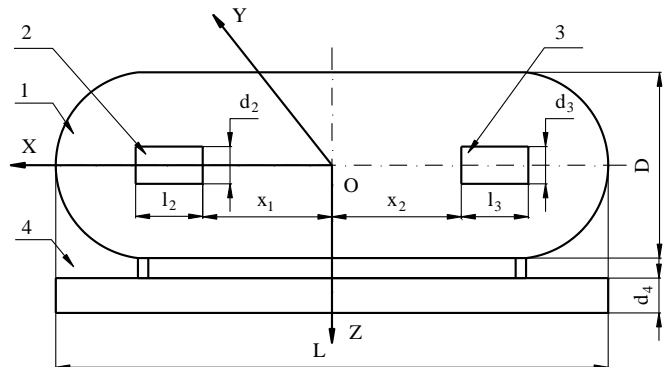
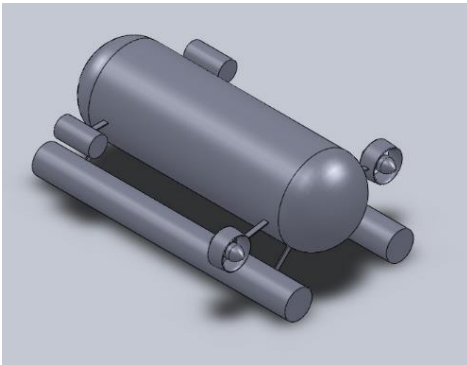
- Xây dựng mô hình thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có hình dáng phức tạp sát với thực tế hơn chỉ có 2 mặt phẳng đối xứng.

- Xây dựng phương pháp xác định ma trận khối lượng nước kèm và ma trận cản thủy động dựa trên tính toán lý thuyết và cơ sở dữ liệu thực nghiệm đã có.

- Nâng cao độ chính xác trong việc giải bài toán chuyển động thủy động lực học của thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa thông qua mô hình mô phỏng kết nối giữa chương trình tính toán mô phỏng số động lực học dòng chảy (ANSYS Fluent) kết hợp với chương trình tính toán dựa trên phương pháp số (Runge-Kutta) và ngôn ngữ lập trình Fortran.

CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC HỌC CỦA THIẾT BỊ NGẦM KHÔNG NGƯỜI LÁI ĐIỀU KHIỂN TỪ XA

2.1. Các giả thiết xây dựng mô hình thủy động lực học của ROV



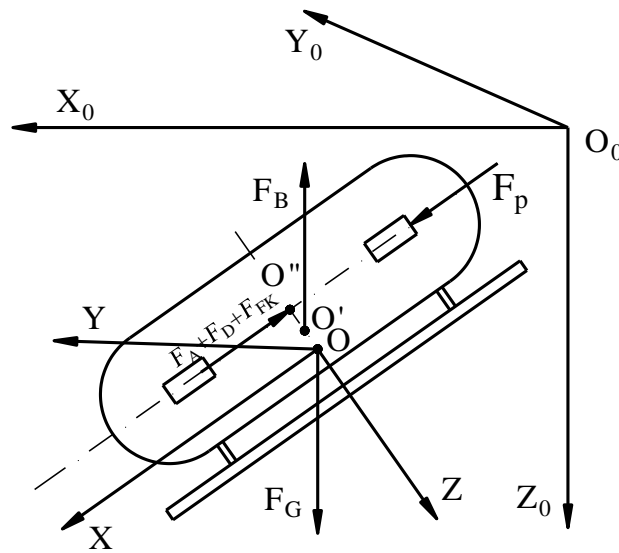
Hình 2.1. Mô hình 3D của ROV Hình 2.2. Sơ đồ cấu tạo của ROV

Các giả thiết sau được sử dụng trong quá trình tính toán thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của ROV dưới nước:

- ROV được coi là một vật thể rắn tuyệt đối chuyển động trong môi trường nước;
- ROV có 2 mặt phẳng đối xứng vuông góc với nhau (XOZ và YOZ). Hai mặt phẳng đối xứng này đi qua khối tâm (cũng là trọng tâm) của ROV và chia nó thành 2 nửa trái và phải, trước và sau.
- ROV chuyển động với vận tốc thấp;
- Bỏ qua ảnh hưởng của sóng bề mặt (chỉ xét chuyển động của ROV ở độ sâu đủ lớn);
- Môi trường nước được coi là không nén được, không có biên và mở rộng vô hạn;
- Bỏ qua ảnh hưởng của các thanh nối giữa thân ROV với động cơ đẩy, đèn chiếu sáng, thanh cân bằng trọng lượng và của dây cáp nguồn trong quá trình tính toán các ma trận cản thủy động.
- Bỏ qua ảnh hưởng của cản nhớt thủy động bậc lớn hơn 2.

2.2. Thiết lập hệ phương trình vi phân thủy động lực học của ROV

Hình 2.3 thể hiện mô hình thủy động lực học của ROV được khảo sát. Trên hình vẽ biểu diễn 2 hệ trục tọa độ phục vụ cho việc khảo sát, hệ tọa độ cố định $O_0X_0Y_0Z_0$ gắn với đất và hệ tọa độ động $OXYZ$ gắn chặt với vật. Hệ tọa độ $OXYZ$ di động cùng với vật, có gốc O đặt tại trọng tâm của ROV và 2 mặt phẳng tọa độ OXZ, OYZ là 2 mặt phẳng đối xứng của nó.



Hình 2.3. Mô hình thủy động lực học của ROV

Các lực tác dụng lên ROV bao gồm:

- Lực đẩy động cơ (lực chân vịt) F_p : Lực đẩy động cơ cùng chiều với chiều tiến của chân vịt và đặt tại vị trí tâm của củ chân vịt;

- Trọng lực F_G : có chiều thẳng đứng, từ trên xuống dưới theo chiều trục OZ, đặt tại trọng tâm O của ROV.

- Lực nổi F_B : có chiều thẳng đứng từ dưới lên trên, đặt tại tâm nổi O' của ROV. Như vậy, trọng lực và lực nổi đều có phương thẳng đứng, nhưng ngược chiều nhau. Tổng hợp hai thành phần lực này ta được lực thủy tĩnh tác dụng vào ROV.

- Lực khối lượng nước kèm F_A : đây là lực cản do khối lượng nước kèm gây ra liên quan đến gia tốc chuyển động của ROV. Lực khối lượng nước kèm có chiều ngược với chiều véc tơ gia tốc.

- Lực cản thủy động F_D : Đây là lực cản thủy động do môi trường chất lỏng gây ra. Lực cản thủy động liên quan đến vận tốc chuyển động của ROV, có chiều ngược với chiều chuyển động của ROV.

- Lực Froude-Kriloff F_{FK} : Lực này xuất hiện do ma trận quán tính của chất lỏng gây ra (khi xuất hiện trường áp suất không ổn định trong môi trường nước), cùng phương với phương chuyển động.

Từ mô hình ROV đã xây dựng, ta tiến hành thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của ROV dưới nước. Xuất phát từ công thức định luật 2 Newton, ta có phương trình vi phân chuyển động của ROV [19]:

$$m\dot{v} = F \quad (2.1)$$

trong đó:

m - khối lượng của ROV;

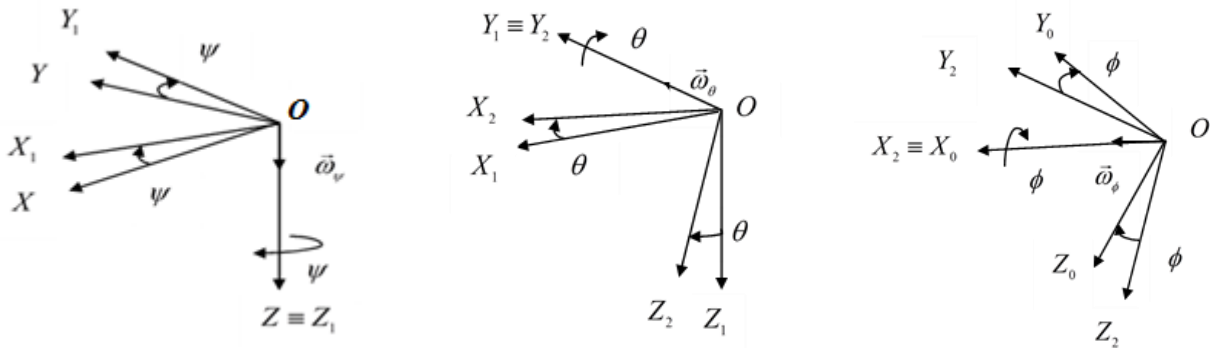
v - véc tơ vận tốc của ROV;

F - véc tơ ngoại lực tác dụng vào trọng tâm của ROV.

2.2.1. Xác định vị trí và mô tả chuyển động của ROV

Trong ngành rô bốt công nghiệp nói chung và kỹ thuật hàng hải nói riêng, phép quay Roll - Pitch - Yaw thường được sử dụng để chuyển đổi giữa hệ tọa độ cố định và hệ tọa độ động [2], [19, tr22].

Xác định ma trận quay khi chuyển hệ tọa độ động sang hệ tọa độ cố định được biểu diễn như trên Hình 2.4:



a) Quay quanh OZ b) Quay quanh OY₁ c) Quay quanh OX₂

Hình 2.1. Phép quay Roll-Pitch-Yaw

Như vậy ma trận quay Roll - Pitch - Yaw chuyển hệ tọa độ động sang hệ tọa độ cố định thông qua 3 phép quay cơ bản quanh các trục được xác định:

$$J_1(\eta_2) = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & -s\psi c\theta + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\theta s\phi + c\psi s\theta c\phi \\ s\psi c\theta & c\psi c\theta + s\psi s\theta s\phi & -c\psi s\theta s\phi + s\psi s\theta c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

trong đó s, c, t lần lượt là ký hiệu viết tắt của sin(.), cos(.), tan(.).

a) Phép chuyển véc tơ vận tốc dài

Gọi $v_1 = [u \ v \ w]^T$ là véc tơ vận tốc dài của ROV so với hệ tọa độ cố định được chiếu lên các trục OX, OY, OZ tương ứng của hệ tọa độ động.

$\eta_1 = [x \ y \ z]^T$ là véc tơ dịch chuyển dài của ROV trong hệ tọa độ cố định.

Từ ma trận quay (2.2) chuyển hệ tọa độ động sang hệ tọa độ cố định, ta có mối quan hệ về véc tơ vận tốc dài của ROV trong hai hệ tọa độ:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = J_1(\eta_2) \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Hay:

$$\dot{\eta}_1 = J_1(\eta_2)v_1 \quad (2.4)$$

b) Phép chuyển véc tơ vận tốc góc

Gọi $v_2 = [p \ q \ r]^T$ là véc tơ vận tốc góc của ROV có các thành phần p, q, r là các thành phần vận tốc góc của ROV được chiếu lên các trục OX, OY, OZ tương ứng của hệ tọa độ động.

$\eta_2 = [\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T$ là véc tơ vận tốc góc của ROV trong hệ tọa độ cố định.

Phép chuyển véc tơ vận tốc góc từ phép chiếu trên hệ tọa độ động sang hệ tọa độ cố định:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = J_2(\eta_2) \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Hay:

$$\dot{\eta}_2 = J_2(\eta_2)v_2 \quad (2.6)$$

Với

$$J_2(\eta_2) = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \theta & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Từ (2.4) và (2.6) ta có hệ phương trình xác định vị trí và hướng của ROV dưới dạng véc tơ:

$$\begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Sau khi áp dụng tiên đề 1 và 2 Euler về bảo toàn động lượng [19, tr46], qua một số bước biến đổi, ta thiết lập được hệ PTVP chuyển động thủy động lực học của ROV dưới dạng véc tơ [19], [26], [27]:

$$M_{RB}\dot{V} + C_{RB}(V)V = F \quad (2.9)$$

trong đó:

$V = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$ - véc tơ vận tốc của ROV so với hệ tọa độ cố định và được biểu diễn theo các trục tọa độ của hệ tọa độ động;

$F = [X \ Y \ Z \ K \ M \ N]^T$ - véc tơ các lực và mô men ngoại lực tác dụng lên trọng tâm của ROV, được lấy trên các trục của hệ tọa độ động;

M_{RB} - ma trận khối lượng của ROV;

$C_{RB}(V)$ - ma trận lực Coriolis của ROV;

Ngoại lực F tác dụng lên ROV được xác định:

$$F = F_{HS} + F_A + F_D + F_{FK} + F_p \quad (2.10)$$

- Lực thủy tĩnh F_{HS} là tổng hợp của trọng lực F_G (gravity force) và lực nổi F_B (buoyancy force) tác dụng lên ROV [14], [19];

Trọng lực F_G có phương thẳng đứng, có chiều từ trên xuống dưới và đặt tại trọng tâm $r_G = (x_G, y_G, z_G)$ của vật thể rắn. Trong hệ tọa độ cố định trọng lực F_G được xác định theo công thức:

$$F_G = mg \quad (2.11)$$

trong đó:

m - khối lượng của ROV;

g - gia tốc trọng trường.

- Lực nổi F_B (lực đẩy Ác-si-mét) có phương thẳng đứng, có chiều từ dưới lên trên và đặt tại tâm nổi của ROV. Vị trí của tâm nổi so với trọng tâm của ROV được xác định thông qua véc tơ vị trí: $r_B = (x_B, y_B, z_B)$.

Trong hệ tọa độ cố định, lực nổi F_B được xác định:

$$F_B = \rho \nabla g \quad (2.12)$$

trong đó:

ρ - mật độ của môi trường chất lỏng;

∇ - thể tích chiếm chỗ của ROV;

g - gia tốc trọng trường.

- Véc tơ lực khối lượng nước kèm F_A được xác định [19, tr121]:

$$F_A = -(M_A \dot{V}_r + C_A(V_r) \cdot V_r) \quad (2.13)$$

trong đó:

V_r - véc tơ vận tốc tương đối giữa ROV và nước;

M_A - ma trận khối lượng nước kèm.

$C_A(V_r)$ - ma trận lực Coriolis do khối lượng nước kèm gây ra.

- Véc tơ lực cản thủy động F_D được xác định theo công thức [26], [21, tr542]:

$$F_D = D(V_r) \cdot V_r \quad (2.14)$$

trong đó:

V_r - véc tơ vận tốc tương đối giữa ROV và dòng nước;

$D(V_r)$ - ma trận cản thủy động.

- Véc tơ lực Froude-Kriloff F_{FK} được xác định theo công thức:

$$F_{FK} = M_{FK} \cdot \dot{V}_l \quad (2.15)$$

trong đó:

M_{FK} - khối lượng Froude-Kriloff của ROV;

V_l - véc tơ vận tốc chuyển động của dòng nước.

- Véc tơ lực đẩy của chân vịt F_p từ động cơ đẩy:

$$F_p = [X_p \quad Y_p \quad Z_p \quad K_p \quad M_p \quad N_p]^T \quad (2.16)$$

Thay các thành phần F_A, F_D, F_{FK} vào phương trình (2.9), ta được:

$$[M_{RB} + M_A] \dot{V}_r = -C_{RB}(V)V - C_A(V_r)V_r + D(V_r)V_r + F_{HS} + F_p \quad (2.17)$$

Mặt khác ta có mối liên hệ giữa vận tốc V của ROV, vận tốc dòng nước V_l trong hệ tọa độ cố định với vận tốc tương đối V_r giữa ROV và dòng nước được xác định theo công thức:

$$V = V_r + V_l \quad (2.18)$$

Qua các bước biến đổi, phương trình (2.17) tương đương:

$$\dot{V} = \dot{V}_l + M^{-1} \cdot A(V, V_r) \quad (2.19)$$

trong đó:

$$A(V, V_r) = [-C_{RB}(V)V - C_A(V_r)V_r + D(V_r)V_r + F_{HS} + F_p] \quad (2.20)$$

Kết hợp hệ phương trình xác định vị trí và hướng của ROV (2.8), hệ phương trình vi phân thủy động lực học (2.19) và các phương trình liên kết, phương trình điều kiện đầu, ta có hệ PTVP chuyển động thủy động lực học của ROV:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1) \dot{V} = \dot{V}_l + M^{-1} \cdot A(V, V_r) \\ 2) A(V, V_r) = [-C_{RB}(V)V - C_A(V_r)V_r + D(V_r)V_r + F_{HS} + F_p] \\ 3) M = (M_{RB} + M_A) \\ 4) V_r = V - V_l \\ 5) \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \\ 6) V(0) = V_0 \\ 7) V_l(0) = V_{l0} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

2.3. Tính toán xác định các ma trận cản thủy động

2.3.1. Ma trận khối lượng nước kèm

Hiện tượng khối lượng nước kèm liên quan đến gia tốc chuyển động của ROV. Vì vậy, về bản chất vật lý, khối lượng nước kèm là khối lượng được tính thêm vào khối lượng của ROV khi nó chuyển động có gia tốc trong môi trường chất lỏng.

Ma trận khối lượng nước kèm của ROV có dạng [19, tr119-121]:

$$M_A = - \begin{bmatrix} X_{\ddot{u}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_{\ddot{v}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_{\ddot{w}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{\ddot{p}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_{\ddot{q}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{\ddot{r}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{66} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Phương pháp xác định thành phần khối lượng nước kèm của ROV dựa trên phương pháp kết hợp giữa lý thuyết dải hẹp [19, tr84], [22] và cơ sở dữ liệu thực nghiệm [12, tr141] và được thực hiện theo trình tự 7 bước sau [14, tr59]:

Bước 1: Chọn vật thể tiêu chuẩn có hình dạng gần giống nhất với hình dạng của ROV cần nghiên cứu;

Bước 2: Xác định hệ số sai khác về hình dạng C_p^{mn} ;

Bước 3: Xác định hệ số khối lượng nước kèm cho chuyển động dài sử dụng dữ liệu thực nghiệm 3D đã có;

Bước 4: Xác định hệ số khối lượng nước kèm cho chuyển động thẳng sử dụng dữ liệu 2D và theo lý thuyết dải hẹp;

Bước 5: Tính toán hệ số tỷ lệ λ giữa hệ số khối lượng nước kèm được xác định bằng hai phương pháp trên;

Bước 6: Xác định thành phần khối lượng nước kèm cho chuyển động quay sử dụng dữ liệu 2D và lý thuyết dải hẹp;

Bước 7: Xác định thành phần khối lượng nước kèm cho chuyển động quay 3D sử dụng hệ số tỷ lệ;

2.3.2. Ma trận cản thủy động

Lực cản thủy động tác động lên ROV chuyển động dưới nước được xác định theo công thức [19], [39, tr25]:

$$D = -\left(\frac{1}{2}\rho C_D A_f\right)V|V| \quad (2.23)$$

trong đó:

ρ - mật độ môi trường nước;

A_f - diện tích cản chính diện của ROV;

V - vận tốc chuyển động của ROV;

C_D - hệ số cản dọc theo phương chuyển động của ROV dưới nước.

Do mô hình ROV không đối xứng qua mặt phẳng tọa độ XOY (không đối xứng trên - dưới), nên hệ phương trình xác định lực và mô men cản thủy động của ROV có dạng:

$$\begin{cases} X_D = X_{u|u}u|u| \\ Y_D = Y_{v|v}v|v| \\ Z_D = Z_{w|w}w|w| \\ K_D = K_{p|p}p|p| + K_{v|v}v|v| \\ M_D = M_{q|q}q|q| + M_{u|u}u|u| \\ N_D = N_{r|r}r|r| \end{cases} \quad (2.24)$$

trong đó:

$X_{u|u}, Y_{v|v}, Z_{w|w}$ - các hệ số lực cản thủy động cần xác định;

$K_{p|p}, K_{v|v}, M_{q|q}, M_{u|u}, N_{r|r}$ - các hệ số mô men cản thủy động cần xác định.

Như vậy ma trận cản thủy động $D(V)$ của ROV được xác định theo công thức:

$$D(V) = \begin{bmatrix} X_{u|u} \cdot |u| & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_{v|v} \cdot |v| & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_{w|w} \cdot |w| & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{v|v} \cdot |v| & 0 & K_{p|p} \cdot |p| & 0 & 0 \\ M_{u|u} \cdot |u| & 0 & 0 & 0 & M_{q|q} \cdot |q| & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{r|r} \cdot |r| \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Phương pháp xác định các hệ số cản thủy động của ROV dựa trên lý thuyết dải hẹp và tổng hợp từ các hệ số cản thủy động của các bộ phận: thân, đèn chiếu sáng, động cơ dọc trục và thanh cân bằng trọng lượng.

Xác định hệ số lực cản được xác định theo công thức tổng quát:

$$X_{u|u} = -\frac{1}{2} \rho C_D A_{fx} \quad (2.26)$$

trong đó:

ρ - mật độ môi trường chất lỏng;

A_{fx} - diện tích cản chính diện của thành phần tính toán;

C_D - hệ số cản theo phương chuyển động tính toán.

Xác định hệ số mô men cản được xác định theo công thức tổng quát:

$$K_{p|p} = -\frac{1}{2} \rho \left(\int_{y_1}^{y_2} C_{dc} l y^2 |y| dy \right) \quad (2.27)$$

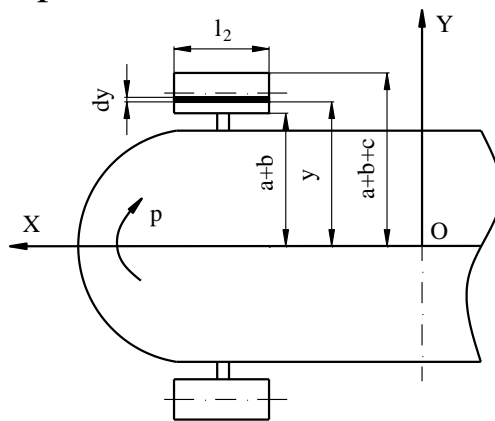
trong đó:

ρ - mật độ môi trường chất lỏng;

y_1, y_2 - khoảng cách từ điểm gần nhất và xa nhất của bộ phận tính toán đến trục quay (trục dọc của thân ROV);

C_{dc} - hệ số cản ngang của bộ phận tính toán;

l - chiều dài của bộ phận tính toán.



Hình 2.8. Mô hình xác định hệ số mô men cản của đèn chiếu sáng

Sau khi xác định được các hệ số lực cản và mô men cản của các bộ phận thân, đèn chiếu sáng, động cơ dọc trục và thanh cân bằng trọng lượng, hệ số lực cản và mô men cản của ROV được xác định bằng phương pháp cộng tác dụng.

Như vậy, với việc xác định xong hai ma trận khối lượng nước kèm và ma trận cản thủy động, các lực thủy động, thủy tĩnh tác dụng vào ROV đã hoàn toàn được xác định, đủ điều kiện để giải hệ PTVP chuyển động thủy động lực học của ROV.

Kết luận chương 2

Trong chương 2, mô hình ROV có hình dạng phức tạp, chỉ có 2 mặt phẳng đối xứng với sáu bậc tự do gồm ba bậc tự do theo chuyển động thẳng, ba bậc tự do theo chuyển động quay đã được xây dựng.

Thiết lập được hệ phương trình vi phân chuyển động thủy động lực học của ROV dưới nước có kể đến đầy đủ các lực thủy động, thủy tĩnh tác dụng lên ROV trong quá trình hoạt động được công bố trong các bài báo số [1] và [3] của tác giả.

Xây dựng phương pháp xác định các thành phần hệ số trong hai ma trận này được xác định bằng phương pháp giải tích kết hợp giữa lý thuyết dải hẹp và cơ sở dữ liệu thực nghiệm sẵn có. Đây cũng là một trong những đóng góp mới của luận án. Kết quả nghiên cứu này đã được công bố trong các bài báo số [2] và số [4] của tác giả.

Việc xác định được các hệ số trong hai ma trận khối lượng nước kèm và ma trận cản thủy động của thiết bị ngầm thay thế cho thực nghiệm đo đạc tốn kém, yêu cầu hệ thống thiết bị đo lường hiện đại là một giải pháp có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong việc giải hệ PTVP chuyển động, cũng như nghiên cứu thiết kế, chế tạo, cải tiến thiết bị ngầm.

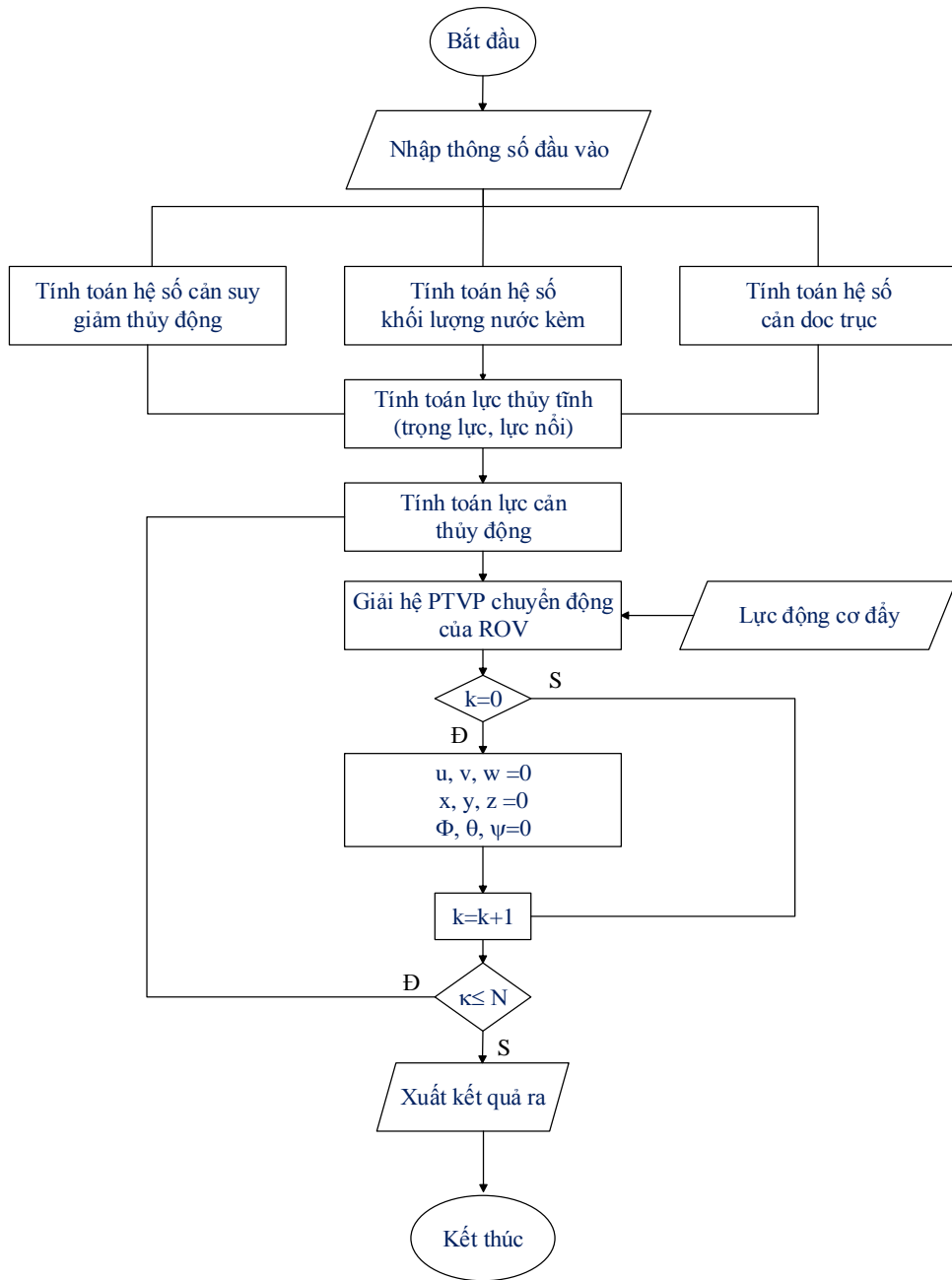
CHƯƠNG 3. ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THAM SỐ HỆ THỐNG TẠO LỰC ĐẨY ĐẾN CHUYỂN ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ NGẦM

3.1. Đề xuất phương án giải và kết quả

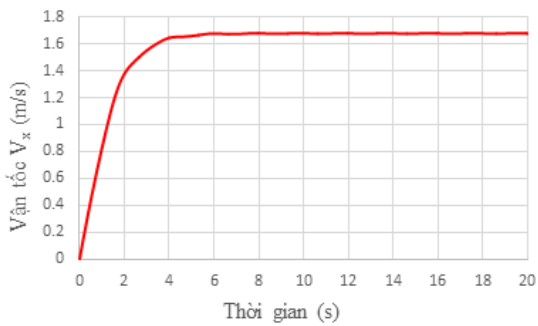
Để giải bài toán chuyển động thủy động lực học của ROV, ta tiến hành giải hệ PTVP chuyển động (2.21). Đây là hệ PTVP cấp I của vận tốc. Do vậy hệ này có thể được giải bằng các phương pháp số như Runge-Kutta, Milne, Newmark... dựa trên cơ sở các ngôn ngữ lập trình như Pascal, Visual Basic, Fortran, Matlab, Maple... Trong luận án này, tác giả sử dụng phương pháp Runge-Kutta và ngôn ngữ lập trình Fortran để giải hệ phương trình vi phân chuyển động thủy động lực học của ROV.

Phương pháp giải được trình bày theo lưu đồ thuật toán trên Hình 3.1.

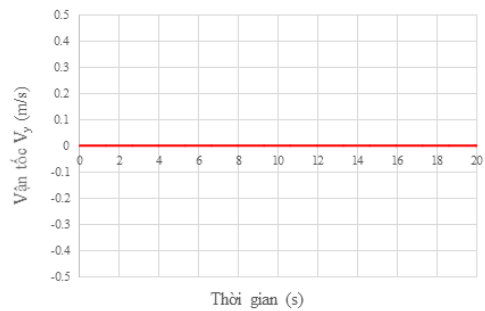
Với yêu cầu ROV phải bảo đảm điều kiện cân bằng động trong quá trình chuyển động, kết quả các hàm vận tốc V_x, V_y, V_z , quãng đường dịch chuyển, giá trị góc lắc của ROV được xác định trong trường hợp lực đẩy động cơ $F_p=40N$, vận tốc dòng chảy $V_l=0m/s$, thời gian khảo sát 20 giây.



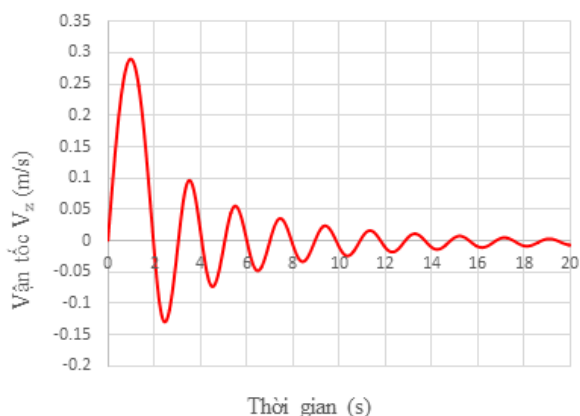
Hình 3.1. Lưu đồ thuật toán giải bài toán chuyển động của ROV



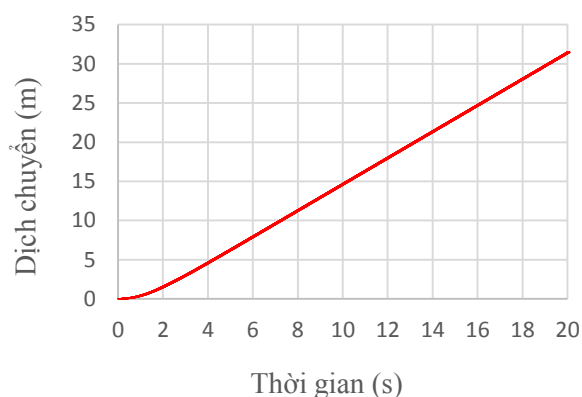
Hình 3.2. Vận tốc V_x của ROV theo phương O_0X_0



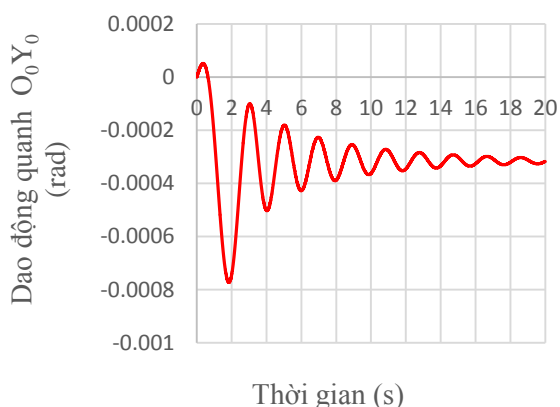
Hình 3.3. Vận tốc V_y của ROV theo phương O_0Y_0



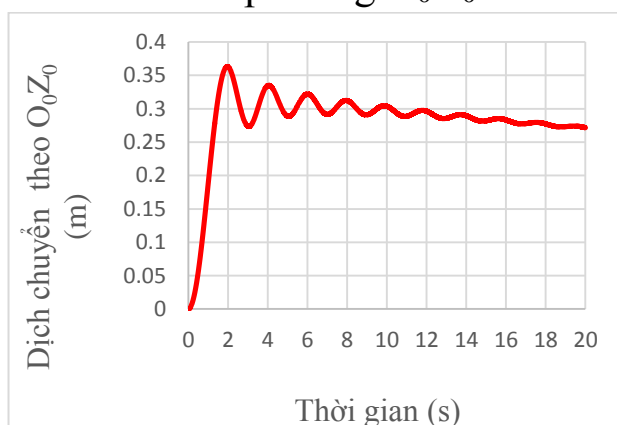
Hình 3.4. Vận tốc V_z của ROV theo phương O_0Z_0



Hình 3.5. Dịch chuyển của ROV theo phương O_0X_0



Hình 3.6. Góc dao động theta (Pitch) quanh trục O_0Y_0



Hình 3.7. Dịch chuyển của ROV theo phương O_0Z_0

Qua kết quả giải hệ PTVP chuyển động của ROV, ta nhận thấy: sau thời gian tăng tốc (khoảng 6s), ROV đạt trạng thái chuyển động bình ổn với vận tốc V_x không thay đổi. Trong quá trình chuyển động bình ổn, ROV bảo đảm trạng thái cân bằng động ($\theta = -0.00033\text{rad} = 0.02^\circ$, góc Pitch nhỏ) và không bị chìm ($V_z \approx 0\text{m/s}$) trong thời gian khảo sát.

3.2. Xác định hệ số cản tổng hợp của ROV và hệ số cản ngang thân ROV

3.2.1. Xác định hệ số cản tổng hợp của ROV

Hệ số cản tổng hợp của ROV được xác định bằng phương pháp mô phỏng số động lực học dòng chảy CFD thông qua chương trình ANSYS Fluent. Ứng với mỗi giá trị vận tốc tìm được theo lý thuyết, thông qua chương trình mô phỏng ANSYS Fluent, ta tìm được một giá trị lực cản thủy động tương ứng. Từ giá trị lực cản này ta xác định được hệ số cản tương ứng theo công thức:

$$C_D(u_i) = -\frac{2F_D}{\rho A_f |u_i| u_i} \quad (3.1)$$

trong đó:

F_D - lực cản tổng hợp tác động lên ROV trong giai đoạn chuyển động bình ổn;

ρ - mật độ môi trường nước;

$C_D(u_i)$ - hệ số cản dọc của ROV tương ứng với vận tốc u_i ;

A_f - diện tích cản chính diện của ROV;

u_i - vận tốc theo phương OX của ROV trong giai đoạn chuyển động bình ổn tương ứng với từng giá trị lực đẩy.

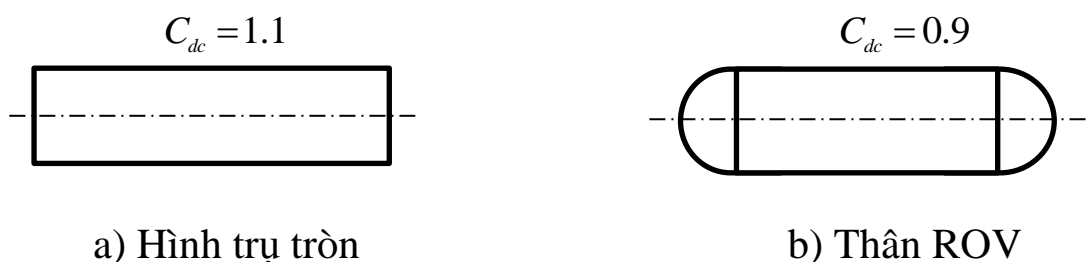
Hệ số cản tổng hợp \bar{C}_D của ROV là giá trị trung bình của C_D và được xác định theo công thức:

$$\bar{C}_D = \frac{\sum_1^n C_D(u_i)}{n} \quad (3.2)$$

3.2.2. Xác định hệ số cản ngang thân ROV hình trụ tròn hai đầu bán cầu

Trong quá trình tính toán xác định ma trận khối lượng nước kèm, hệ số cản ngang của thân ROV được lấy bằng hệ số cản ngang của hình trụ tròn ($C_{dc}=1.1$). Tuy nhiên trong mô hình nghiên cứu, thân ROV có hình trụ tròn hai đầu bán cầu, do vậy việc xác định chính xác hệ số cản ngang của thân ROV là cần thiết nhằm tăng tính chính xác cho kết quả giải bài toán chuyển động của ROV.

Bằng phương pháp thay đổi hệ số cản ngang của thân ROV trong khoảng giá trị xung quanh giá trị đã có $C_{dc} = 1.1$, ta thu được giá trị hệ số cản tổng hợp \bar{C}_D của ROV bằng phương pháp lý thuyết. Tiến hành so sánh \bar{C}_D theo tính toán lý thuyết với kết quả \bar{C}_D xác định bằng chương trình mô phỏng ANSYS Fluent, hệ số cản ngang phù hợp $C_{dc}^{(1)} = 0.9$ của thân ROV được lựa chọn với sai số nhỏ nhất (0.32%) trong khoảng khảo sát. Việc tìm ra hệ số cản ngang của hình trụ tròn hai đầu bán cầu là một điểm mới trong luận án. Đây cũng là một giải pháp nhằm nâng cao độ chính xác trong giải hệ PTVP chuyển động thủy động lực học của ROV.

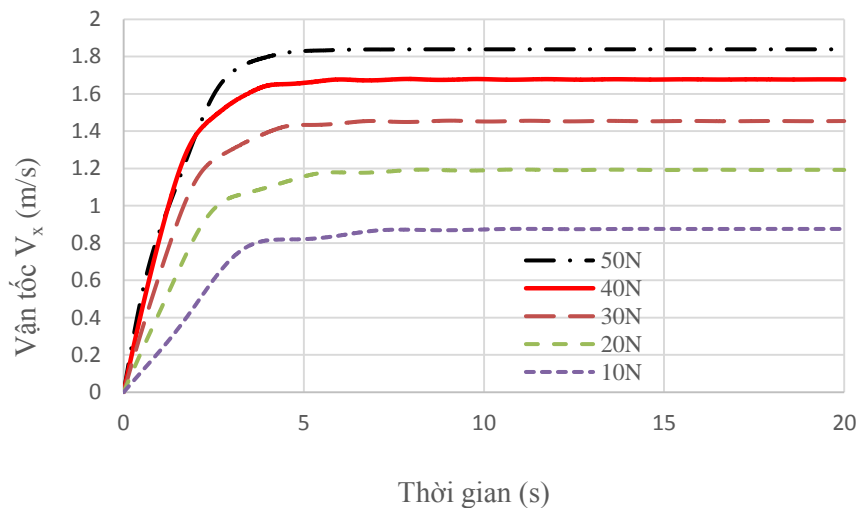


Hình 3.8. Hệ số cản ngang của hình trụ tròn và thân ROV

3.3. Khảo sát ảnh hưởng của một số tham số hệ thống tạo lực đẩy tới chuyển động của ROV dưới nước

3.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của lực đẩy động cơ đến chuyển động của ROV

Tiến hành khảo sát vận tốc chuyển động của ROV trong miền lực đẩy từ 10N đến 50N với hai giá trị lực đẩy của hai động cơ bằng nhau. Kết quả hàm vận tốc theo lực đẩy như trên Hình 3.10.



Hình 3.10. Vận tốc V_x của ROV theo phương O_0X_0

Ta nhận thấy, trong phạm vi khảo sát từ 10N đến 50N, khi tăng lực đẩy động cơ, vận tốc của ROV cũng tăng theo. Sau khoảng thời gian tăng tốc ban đầu, ROV chuyển động với vận tốc ổn định. Kết quả này chứng tỏ rằng, trong giai đoạn ROV chuyển động bình ổn, lực đẩy của động cơ cân bằng với lực cản tổng hợp của môi trường nước tác động lên ROV.

3.2.2. Ảnh hưởng của vị trí lắp đặt động cơ đến chuyển động của ROV

3.2.2.1. Ảnh hưởng của vị trí đặt lực đẩy theo phương OZ đến chuyển động của ROV

a) Ảnh hưởng của tọa độ z của vị trí đặt lực đẩy đến chuyển động của ROV

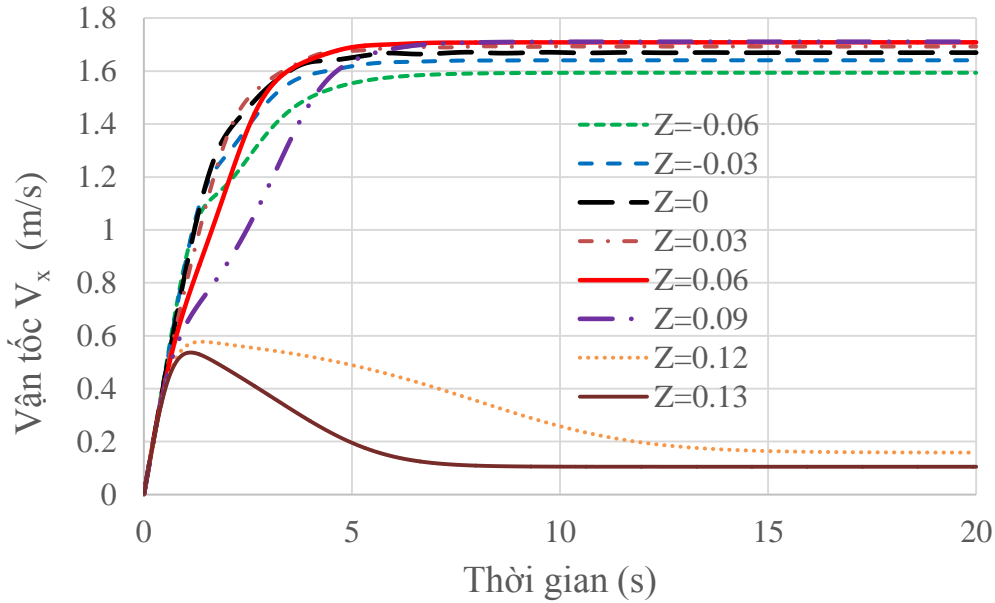
Vị trí đặt lực đẩy là tâm của củ chân vịt. Trong hệ tọa độ động OXYZ, hai vị trí đặt lực đẩy có tọa độ như trên Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Tọa độ điểm đặt lực đẩy động cơ

Tọa độ đặt lực đẩy trong hệ tọa độ động	Động cơ phải (m)	Động cơ trái (m)
Tọa độ x	-0.28	-0.28
Tọa độ y	0.23	-0.23

Tọa độ z là thông số cần được khảo sát nhằm tìm ra vị trí đặt lực đẩy hợp lý cho việc lắp đặt động cơ đẩy lên thân ROV.

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vị trí đặt lực đẩy đến chuyển động của ROV được thể hiện trên Hình 3.12.



Hình 3.12. Sự phụ thuộc của vận tốc V_x của ROV theo tọa độ z

Qua kết quả khảo sát, ta nhận thấy:

- Vận tốc V_x của ROV theo phương O_0X_0 đạt giá trị lớn nhất trong phạm vi $z = 0.06 \div 0.09m$. Tuy nhiên ở vị trí $z = 0.06m$, ROV sớm đạt được trạng thái chuyển động bình ổn hơn. Như vậy vị trí bố trí động cơ đẩy hợp lý nằm phía dưới mặt phẳng ngang đi qua trọng tâm của ROV. Điều này là hoàn toàn hợp lý vì phía dưới thân ROV có lắp hai thanh cân bằng trọng lượng.

- Khi tọa độ $z > 0.09m$, vận tốc của ROV có xu hướng giảm xuống.

- Khi tọa độ $z \geq 0.12m$, ROV có xu hướng bị mất ổn định.

Tọa độ vị trí đặt lực đẩy hợp lý được thể hiện trong Bảng 3.4.

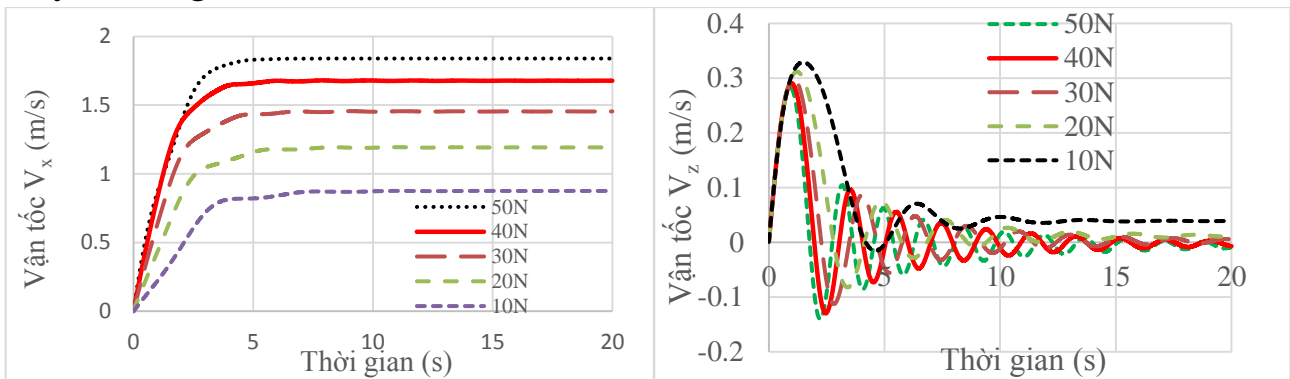
Bảng 3.4. Tọa độ điểm đặt lực đẩy trong hệ tọa độ động sau khảo sát

TT	Động cơ	Tọa độ phương x (m)	Tọa độ phương y (m)	Tọa độ phương z (m)
1	Động cơ phải	-0.28	0.23	0.06
2	Động cơ trái	-0.28	-0.23	0.06

b) Ảnh hưởng của khoảng cách giữa hai động cơ đẩy đến chuyển động của ROV

Khoảng cách giữa hai động cơ đẩy liên quan đến tọa độ y của vị trí đặt lực đẩy. Hai tọa độ x và z của vị trí đặt lực đẩy không thay đổi trong quá trình khảo sát và được lấy theo Bảng 3.4.

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách giữa hai động cơ đẩy đến chuyển động của ROV được thể hiện trên các Hình 3.10 và Hình 3.11.

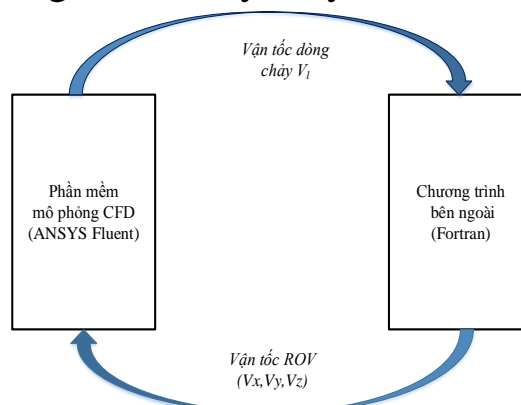


Hình 3.13. Hàm vận tốc V_x của ROV theo lực đẩy động cơ
Hình 3.14. Hàm vận tốc V_z của ROV theo lực đẩy động cơ

Qua kết quả khảo sát, ta nhận thấy: Do bỏ qua cản của các thanh nổi và chưa xét đến ảnh hưởng của dòng chảy rối của môi trường nước giữa hai động cơ đẩy nên hàm vận tốc V_x và V_z của ROV không thay đổi khi thay đổi khoảng cách giữa hai động cơ đẩy. Trong phạm vi khảo sát, vận tốc V_x và V_z của ROV chỉ phụ thuộc vào độ lớn của lực đẩy động cơ.

3.2.3. Mô phỏng kết nối

Mục đích của mô phỏng kết nối trao đổi dữ liệu tự động giữa chương trình ANSYS Fluent và Fortran nhằm đưa thêm các điều kiện môi trường dòng chảy (vận tốc dòng chảy tức thời của nước) vào trong quá trình giải hệ PTPV chuyển động thủy động lực học của ROV. Từ kết quả đó, nâng cao độ chính xác cho kết quả nghiên cứu lý thuyết.

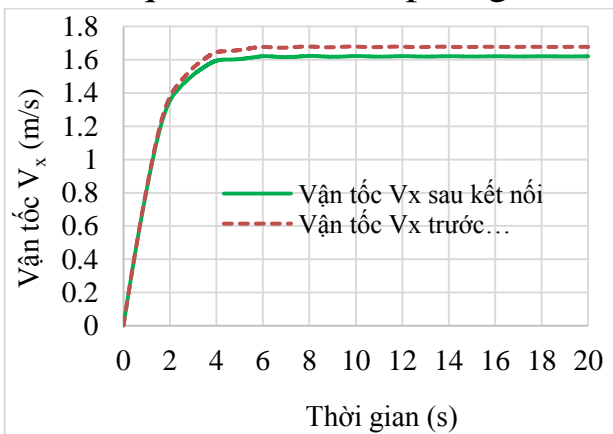


Hình 3.2. Sơ đồ trao đổi dữ liệu giữa ANSYS Fluent và Fortran

Hệ PTVP chuyển động thủy động lực học của ROV có dạng:

$$\begin{cases}
 1) \dot{V} = \dot{V}_l + M^{-1} \cdot A(V, V_r) \\
 2) A(V, V_r) = [-C_{RB}(V)V - C_A(V_r)V_r + D(V_r)V_r + F_{HS} + F_p] \\
 3) M = (M_{RB} + M_A) \\
 4) \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \\
 5) V_r = V - V_l \\
 6) V(0) = V_o \\
 7) V_l(0) = V_{lo}
 \end{cases} \quad (3.3)$$

Kết quả bài toán mô phỏng kết nối được như trên Hình 3.25 và Hình 3.26.

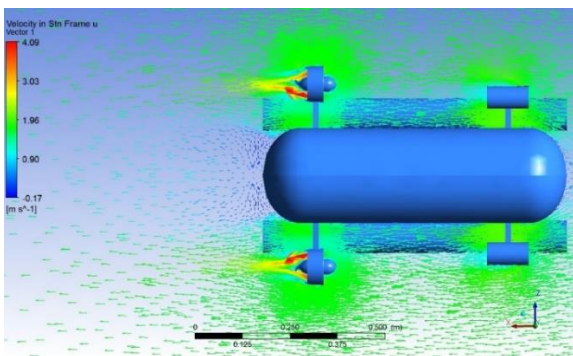


Hình 3.25. Vận tốc V_x của ROV trước và sau khi kết nối với ANSYS Fluent

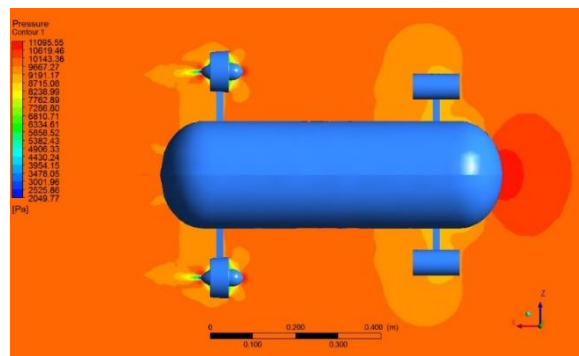
Hình 3.26. Phần trăm sai số về vận tốc V_x trước và sau khi kết nối

Vận tốc V_x sau kết nối nhỏ hơn vận tốc V_x trước kết nối là hoàn toàn hợp lý bởi vì trong mô hình kết nối có kể đến ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy tức thời V_l và dòng chảy rối tác động lên ROV trong quá trình hoạt động.

Kết quả trường vận tốc V_x và trường áp suất dòng nước bao quanh ROV được thể hiện trên Hình 3.27 và Hình 3.28.



Hình 3.27. Trường vận tốc V_x của dòng nước xung quanh ROV



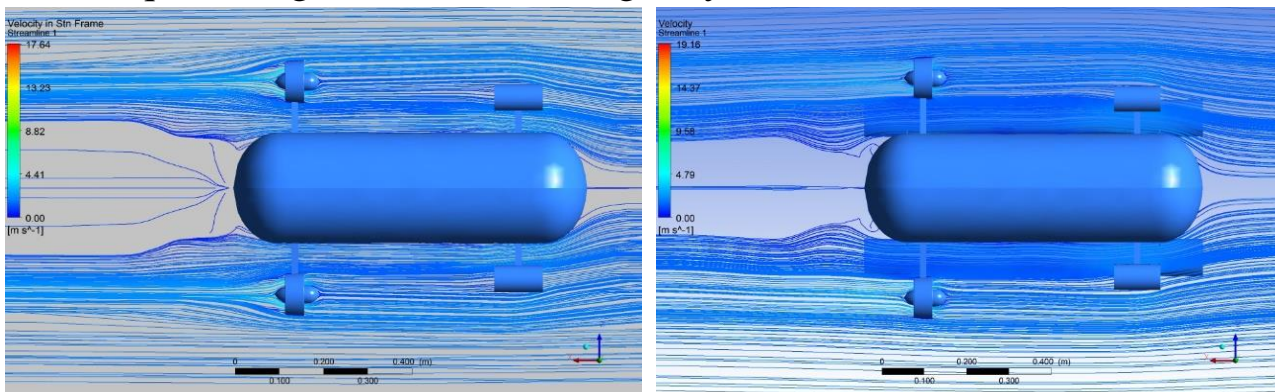
Hình 3.28. Trường áp suất của dòng nước bao quanh ROV

Qua kết quả mô phỏng kết nối, ta nhận thấy: dòng chảy có xu hướng tăng tốc khi đi qua khu vực xung quanh bộ phận đèn chiếu sáng, thanh cân bằng trọng lượng và đặc biệt là đi qua khu vực động cơ đẩy. Mặt khác, qua phổ vận tốc, ta thấy có sự xuất hiện của dòng chảy rối khu vực giữa hai động cơ đẩy, phía sau ROV. Áp suất lớn nhất tập trung vào phần mũi phía trước của ROV và xuất hiện vùng áp suất thấp hơn khu vực phía sau của các bộ phận đèn chiếu sáng, thanh cân bằng trọng lượng và động cơ đẩy.

3.2.5. Mô phỏng kết nối khi thay đổi khoảng cách giữa hai động cơ đẩy

Mục đích của việc thay đổi khoảng cách giữa hai động cơ đẩy là nhằm đánh giá sự ảnh hưởng của dòng chảy rối khu vực giữa hai động cơ đẩy đến chuyển động của ROV. Phương án thứ nhất, hai động cơ đẩy được bố trí gần nhau hơn với khoảng cách là 0.455m. Phương án thứ hai, hai động cơ đẩy được bố trí nằm cách nhau xa hơn với khoảng cách là 0.505m.

Kết quả trường vận tốc V_x của dòng chảy được thể hiện như trên Hình 3.30.



a) Hai động cơ gần nhau

b) Hai động cơ xa nhau

Hình 3.30. Trường vận tốc của dòng nước xung quanh ROV

Nhận xét:

- Khi lắp đặt hai động cơ đẩy gần nhau hơn, dòng chảy rối giữa hai động cơ đẩy có độ rối cao hơn và ngược lại.

- Khi tăng khoảng cách giữa hai động cơ lên 11%, vận tốc của ROV tăng lên 0.2%. Mặc dù vận tốc của ROV tăng lên không đáng kể khi tăng khoảng cách động cơ, tuy nhiên điều này chứng tỏ rằng dòng chảy rối giữa hai động cơ đã làm giảm vận tốc chuyển động của ROV.

Kết luận chương 3

Chương 3 đã tập trung giải hệ PTVP thủy động lực học của ROV bằng hai phương pháp: phương pháp Runge-Kutta thông qua ngôn ngữ lập trình Fortran và phương pháp mô phỏng kết nối, trao đổi dữ liệu tự động, giữa chương trình mô phỏng ANSYS Fluent và chương trình tính toán Fortran.

Sử dụng chương trình tự viết bằng ngôn ngữ Fortran, ta đã khảo sát được ảnh hưởng của lực đẩy động cơ và vị trí lắp đặt động cơ đẩy đến chuyển động thủy động lực học của ROV. Từ kết quả đó, tìm ra điểm đặt lực đẩy hợp lý của hệ thống tạo lực đẩy lên ROV.

Sử dụng phương pháp mô phỏng kết nối, ta đã đánh giá được ảnh hưởng của khoảng cách giữa hai động cơ đẩy đến vận tốc của ROV, cũng như ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy tức thời đến chuyển động thủy động lực học của ROV.

Ngoài ra, việc sử dụng độc lập chương trình mô phỏng số ANSYS Fluent đã xác định được hệ số cản tổng hợp của ROV, từ đó tìm ra hệ số cản ngang của thân ROV có hình trụ tròn hai đầu bán cầu.

Những đóng góp mới của chương 3

Qua nghiên cứu, khảo sát, một điểm mới của luận án là đã tìm ra được hệ số cản ngang của thân ROV có hình trụ tròn hai đầu bán cầu. Nội dung nghiên cứu này đã được công bố trong bài báo số [2] của tác giả.

CHƯƠNG 4. THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

Mục đích nghiên cứu thực nghiệm là đo đạc xác định vận tốc của ROV trong giai đoạn chuyển động bình ổn theo các giá trị lực đẩy khác nhau và theo các phương án khoảng cách giữa hai động cơ đẩy khác nhau.

Điều kiện môi trường: Thực nghiệm được tiến hành tại bể thử của Học viện Kỹ thuật Quân sự với kích thước bể: 50 x 25 x 2.5 (m) (dài x rộng x sâu). Độ sâu thử nghiệm 1m; điều kiện thời tiết khô ráo, nhiệt độ không khí ngoài trời từ 30°C đến 35°C; mật độ môi trường nước 1000 kg/m³; áp suất khí quyển 101.325 kPa. Chất lượng nước trong bể đủ độ trong bảo đảm chất lượng hình ảnh trong quá trình thực nghiệm.

Trang thiết bị thực nghiệm: Mô hình thiết bị ROV tự chế có kích thước cơ bản theo tỷ lệ 1:1 so với tính toán lý thuyết; camera thuật phóng FASTCAM SA1.1 Model 675K-C1; máy tính được cài đặt phần mềm PFV để điều khiển và phần mềm TEMA để phân tích kết quả đo.

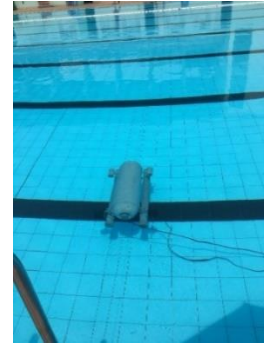
Phương pháp thực nghiệm: Thực nghiệm được tiến hành theo 3 giai đoạn: cân bằng tĩnh, cân bằng động và ghi hình đo tham số vận tốc của động cơ ROV trong giai đoạn chuyển động bình ổn với 4 giá trị lực đẩy và 2 phương án khoảng cách động cơ khác nhau.

Phương án 1: khoảng cách giữa hai động cơ đẩy là 0.455m.

Phương án 2: khoảng cách giữa hai động cơ đẩy là 0.505m.



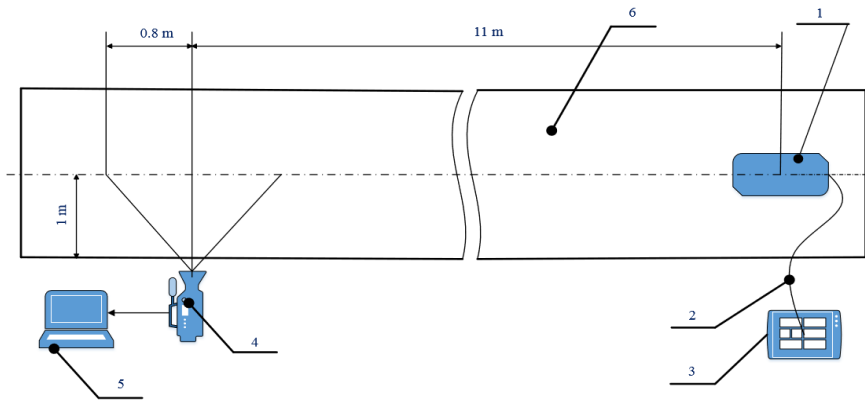
Hình 4.2. Quá trình cân bằng tĩnh cho ROV



Hình 4.3. Quá trình cân bằng động cho ROV



Hình 4.4. Ghi và xử lý số liệu đo



Hình 4.6. Sơ đồ bố trí hệ thống trang thiết bị thực nghiệm

So sánh kết quả lý thuyết và thực nghiệm:

Phương án	Vận tốc V_x lớn nhất theo phương O_0X_0 (m/s)					
	<i>Lực đẩy 10N</i>			<i>Lực đẩy 20N</i>		
	Mô phỏng kết nối	Thực nghiệm	Sai số	Mô phỏng kết nối	Thực nghiệm	Sai số
1	0.8120	0.7759	4.66%	1.1617	1.1261	3.16%
2	0.8493	0.7971	6.55%	1.1787	1.1636	1.29%
Phương án	Vận tốc V_x lớn nhất theo phương O_0X_0 (m/s)					
	<i>Lực đẩy 30N</i>			<i>Lực đẩy 40N</i>		
	Mô phỏng kết nối	Thực nghiệm	Sai số	Mô phỏng kết nối	Thực nghiệm	Sai số
1	1.3226	1.2758	3.67%	1.6233	1.5109	7.44%
2	1.4200	1.3515	5.06%	1.6266	1.5616	4.16%

Nhận xét:

- Kết quả thực nghiệm phù hợp với kết quả tính toán lý thuyết, mô phỏng kết nối. Các giá trị vận tốc thu được từ thực nghiệm nhỏ hơn các giá trị tính toán mô phỏng kết nối tương ứng.

- Trong phạm vi thực nghiệm, lực đẩy từ động cơ càng lớn, vận tốc lớn nhất của ROV càng lớn và ngược lại. Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế.

- Sai số giữa kết quả thực đo và tính toán mô phỏng kết nối là nhỏ (từ 1.29% đến 7.44%). Điều này chứng tỏ rằng hệ thống thiết bị đo và phương án thử nghiệm hoạt động tin cậy và ổn định.

- Khi tăng khoảng cách giữa hai động cơ đẩy, vận tốc của ROV có xu hướng tăng theo. Điều này chứng tỏ rằng dòng chảy rối giữa hai động cơ đẩy ảnh hưởng làm giảm vận tốc chuyển động của ROV dưới nước.

Kết luận chương 4

Chương 4 đã giới thiệu mục đích, ý nghĩa, phương pháp thực nghiệm, các trang thiết bị và nội dung tiến hành thử nghiệm cũng như phần mềm sử dụng trong quá trình đo đạc và xử lý số liệu.

Kết quả vận tốc của ROV thực đo nhỏ hơn kết quả tính toán lý thuyết mô phỏng kết nối với sai số nhỏ hơn 7.44% chứng tỏ mô hình tính toán lý thuyết là đúng đắn, tin cậy.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Những đóng góp mới của luận án

- Hoàn thiện mô hình tính toán thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có tính đến sự không đối xứng hoàn toàn về hình dáng chịu sự tác động đầy đủ của các lực thủy động và thủy tĩnh.

- Xây dựng phương pháp xác định các ma trận khối lượng nước kèm, ma trận cản thủy động cho thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa.

- Xác định được hệ số cản ngang của thân thiết bị ngầm không người lái điều khiển từ xa có dạng hình trụ tròn hai đầu bán cầu ($C_{dc}=0.9$).

2. Hướng phát triển tiếp theo của luận án

Tiếp tục nghiên cứu, thử nghiệm chuyển động của ROV trong môi trường nước biển với nhiều yếu tố nhiễu động tác dụng lên ROV trong quá trình hoạt động.

Kết hợp giải bài toán chuyển động thủy động lực học và bài toán điều khiển tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của ROV dưới nước.