LẬP PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA XUỒNG CHỮA CHÁY RỪNG KHI QUAY VÒNG

Nguyễn Thị Lục
ThS. Trường Đại học Lâm nghiệp

TÓM TẮT

Xuồng chữa cháy rừng (CCR) đang khảo nghiệm tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long, khi di chuyển trên các kênh rạch, thường thì phải quay vòng với góc ngoặt nhỏ nên hay gặp hiện tượng xuồng không vào đúng quỹ đạo mong muốn hoặc có góc nghiêng ngang quá lớn, làm nước tràn vào và xuồng bị lệch. Bài báo này giới thiệu phương pháp lập mô hình động lực học của xuồng khi quay vòng và đề xuất phương pháp giải hệ phương trình vi phân (PTVP) để xác định chế độ làm việc hợp lý và an toàn cho xuồng trong quá trình di chuyển vào kênh rạch. Các phương trình lập ra được viết dưới dạng ma trận, trong đó có các phần tử là những thông số về kết cấu của xuồng và các đại lượng động học, việc khảo sát các đặc trưng động học của xuồng khi quay vòng hoàn toàn có thể thực hiện theo phương pháp số nhờ các phần mềm có sẵn trong kỹ thuật cơ khí như: Matlab, MatlabSmulink.

Từ khóa: ***Bánh lái, chân vịt, ma trận, phương trình Lagrange, tọa độ suy rộng, xuồng CCR.***

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xuồng CCR là loại canô nhỏ, nhưng có vận tốc chuyển động cao. Khi di chuyển vào các kênh rạch nó thường hay bị va vào bờ hoặc góc nghiêng ngang lớn, làm nước tràn vào và xuồng bị lật. Qua khảo nghiệm tại khu vực đồng bằng Sông Cửu Long (hình 1) cho thấy cần phải xác định chế độ làm việc hợp lý và tìm giải pháp cải tiến kết cấu để xuồng làm việc được an toàn.

Để thực hiện nội dung này thì việc xây dựng mô hình động lực học của xuồng khi quay vòng là cần thiết và quan trọng nhất. Việc lập PTVP của xuồng có thể theo phương pháp của cơ học kỹ thuật, cơ học giải tích, trong bài báo này áp dụng lý thuyết động lực học của hệ nhiều vật vì nó được biểu diễn qua các phương pháp tính ma trận rất thuận tiện sử dụng các phần mềm tính toán trong kỹ thuật cơ khí như Matlab, MatlabSmulink.

Hình 1. ***Xuồng CCR chuyển động quay vòng***

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Xuồng CCR đang thực nghiệm tại vườn quốc gia Tràm chim Tam Nông - Đồng Tháp.

2.2. Nội dung

Lập phương trình vi phân chuyển động của xuồng chữa cháy rừng ngập nước theo lý thuyết cơ học hệ nhiều vật.

Đề xuất phương pháp giải hệ PTVP để xác định chế độ quay vòng hợp lý.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Thiết lập phương trình vi phân theo mô hình cơ học hệ nhiều vật và toán học.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô hình chuyển động quay vòng của xuồng

Mô hình cơ học: Các dịch chuyển của xuồng CCR trong mặt phẳng nằm ngang được biểu diễn trên sơ đồ như hình 2.

Trong đó, khi xuồng chuyển động quay vòng thì bánh lái xoay đi một góc θ_{30} so với vị trí ban đầu. Do áp lực của nước tác dụng vuông góc với bề mặt bánh lái, nên sẽ tạo ra mômen làm quay thân xuồng quanh các trục O_1Y_1, O_1X_1 và dịch chuyển theo phương OZ_1. Các chế độ chuyển động này cũng sẽ thay đổi tùy thuộc vào giá trị θ_{30} khác nhau. Trong trạng thái này xét hệ với 3 vật rắn chuyển động là thân xuồng (O_1), cánh quạt (O_2), và bánh lái (O_3) trong đó bánh lái được cố định ở một vị trí với góc lệch θ_{30}= const.

Các ký hiệu trên hình 2 & 3 :

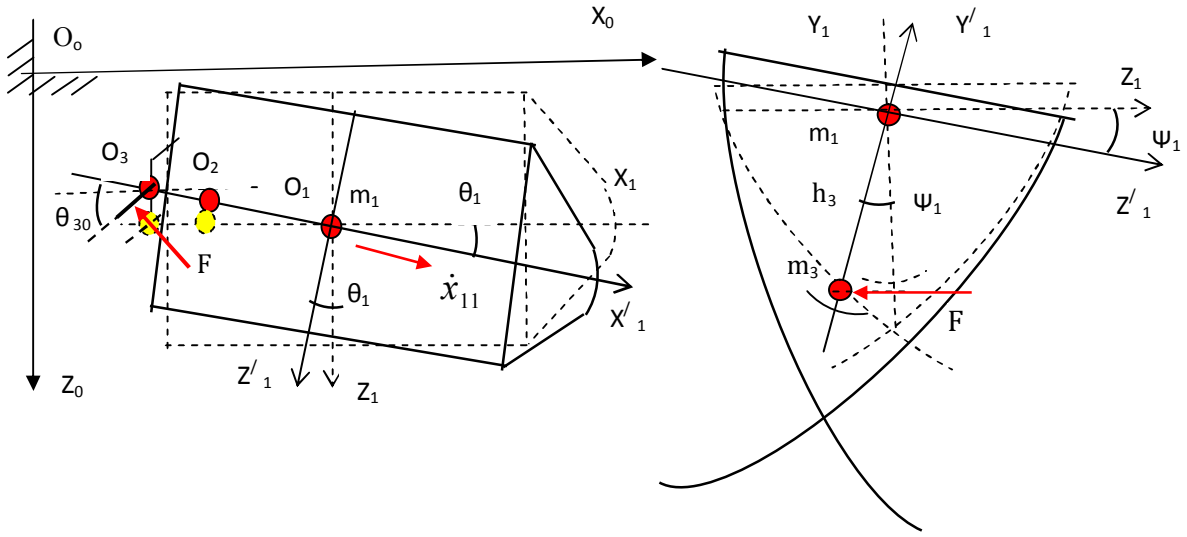
$O_0X_0Y_0$ - hệ trục cố định; $O_1X_1Y_1$ - hệ trục động, gắn với khối tâm thân xuồng O_1; O_1 , O_2 , O_3- tọa độ khối tâm thân xuồng, trục cánh quạt và bánh lái;

θ_{30} – góc xoay tương đối của trục bánh lái, góc giữa mặt bánh lái với O_1X_1;

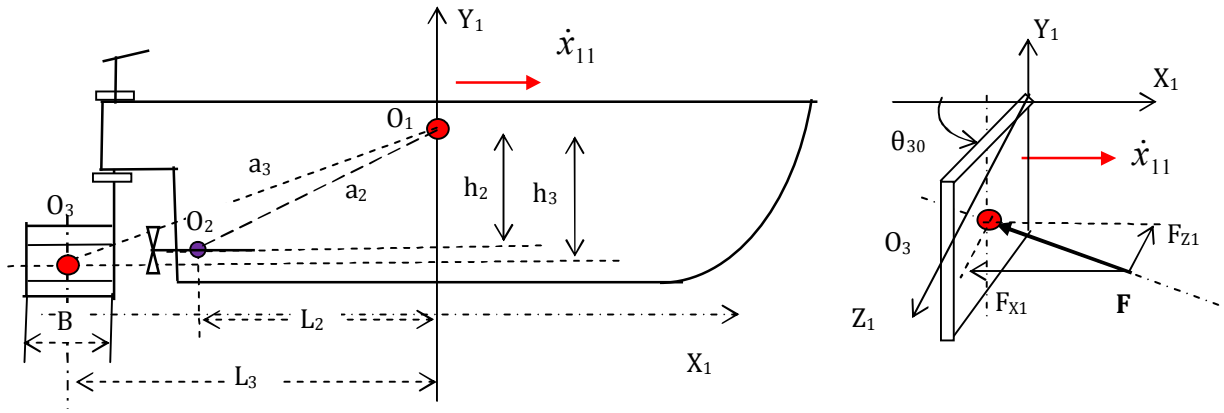
θ_1– góc xoay của thân xuồng quanh trục thẳng đứng O_1Y_1;

Ψ_1 - góc xoay của thân xuồng quanh trục dọc O_1X_1 ;

L_2, h_2 , L_3, h_3 – khoảng cách theo phương ngang và thẳng đứng từ O_1 đến O_2 và O_3 :



Hình 2. ***Mô hình dịch chuyển của xuồng CCR trong mặt phẳng nằm ngang***



Hình 3. ***Sơ đồ xác định lực tác dụng lên xuồng CCR trong mặt phẳng thẳng đứng dọc***

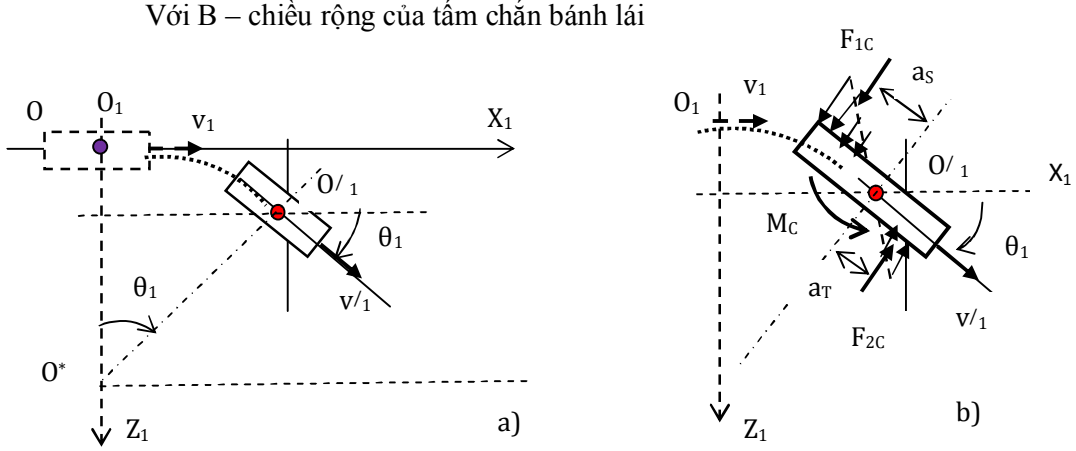
Gọi lực đặt vào tấm lái là $\vec{F}$, có cường độ là $F = kS_n v_n^2$,

Trong đó: k- hệ số phụ thuộc loại chất lỏng (nước) tại nơi xuồng di chuyển;
S_n- diện tích bề mặt tấm bánh lái;
v_n- vận tốc trực diện của nước trên mặt tấm lái: $v_n = \dot{x}_{11}\sin\theta_{30}$, ($\dot{x}_{11}$ - vận tốc theo phương dọc trục $O_1X'_1$).

Thu gọn lực $\vec{F}$ về tâm O_1, ta sẽ đước các thành phần lực F_X, F_Z và mô men M_X, M_Y như trên hình 3. Trong đó:

$$\begin{cases} F_{X1} = F\sin\theta_{30} = kS_n v_n^2.\sin\theta_{30} \\ F_{Z1} = F\cos\theta_{30} = kS_n v_n^2.\cos\theta_{30} \\ F_{Y1} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M_{X1} = F_Z h_3 = h_3 kS_n v_n^2\cos\theta_{30} \\ M_{Y1} = F_{Z1}L_3 + F_{X1}B\cos\theta_{30} = kS_n v_n^2\cos\theta_{30}(L_3 + B\sin\theta_{30}) \\ M_{Z1} = F_X h_3 = h_3 kS_n v_n^2\sin\theta_{30} \end{cases} \quad (1)$$

Với B – chiều rộng của tấm chắn bánh lái



Hình 4. ***a) sơ đồ xác định các thông số động học***
b) sơ đồ xác định lực cản khi xuồng quay vòng

Khi xuồng quay vòng do áp lực của nước lên mạn (thành) xuồng phân bố không đều (thường có dạng hình tam giác), như trên hình 4 b), nên gây ra mômen cản quay M_{bY}. Lực và mômen cản này có giá trị phụ thuộc chiều dài đoạn tiếp nước và vận tốc góc quay $\dot{\theta}_1$

$$\begin{cases} F_b = F_{bS} - F_{bT} = kS_S a_S^2\dot{\theta}_1^2 - kS_T a_T^2\dot{\theta}_1^2 = R_{bF}\dot{\theta}_1^2 \\ R_{bF} = (kS_S a_S^2 + kS_T a_T^2) \\ M_{bY} = F_{bS}a_S + F_{bT}a_T = kS_S a_S^3\dot{\theta}_1^2 + kS_T a_T^3\dot{\theta}_1^2 = (kS_S a_S^3 + kS_T a_T^3).\dot{\theta}_1^2 = R_{bMy}\dot{\theta}_1^2 \end{cases} , \quad (2)$$

Trong đó: đặt $R_{bF} = (kS_S a_S^2 + kS_T a_T^2),\ R_{bMy} = (kS_S a_S^3 + kS_T a_T^3),$ (3)

và gọi là hệ số cản quay của nước đối với xuồng.

S_S, S_T , a_S, a_T – là diện tích phần thành xuồng tiếp xúc với nước ở phía trước, phía sau và khoảng cách từ tâm các tiết diện đó tới trọng tâm thân xuồng. Các hệ số R_{CF} và R_{CMY} sẽ được xác định thông qua nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường .

Lực cản bên F_b có 2 thành phần theo các trục OX và OZ là:

$$F_{bX} = F_b\sin\theta_1 = R_{bF}\dot{\theta}_1^2.\sin\theta_1\ ;;\ \ F_{bZ} = F_b\cos\theta_1 = R_{bF}\dot{\theta}_1^2.\cos\theta_1\ ; \quad (4)$$

Tương tự khi xuồng quay quanh trục dọc (nghiêng ngang) cũng sẽ có mô men cản M_{CX} với hệ số cản nghiêng R_{CMX}

$$M_{bX} = R_{bMx}\dot{\psi}_1^2 \quad (5)$$

3.2. Lập mô hình toán học chuyển động quay vòng của xuồng CCR

Gọi các khối lượng của thân xuồng và trục cánh quạt là m_1 và m_2, mômen quán tính khối lượng của chúng đối với các trục là I_{iX} và I_{iY} . Trong mặt phẳng nằm ngang hệ có 8 thông số định vị là các dịch chuyển dài (x_i, z_i) và các dịch chuyển góc (Ψ_i ,θ_i) - quay quanh các truc OX và OY, (i=1, 2).

Trong đó theo hình 3 và 4 ta có các liên kết sau:

$\theta_2 = \theta_1$; $x_2 = x_1 - L_2.\cos\theta_1$; (6)

$\Psi_2 = \Psi_1$; $z_2 = z_1 - h_2.\sin\Psi_1 - L_2.\sin\theta_1$.

Vậy hệ có 4 bậc tự do, ta chọn các tọa độ suy rông đủ cho hệ này là :

$q(x_1, z_1, \Psi_1, \theta_1,)$ (7)

Véctơ tọa độ khối tâm khâu 1 (gồm thân xuồng và các thiết bị gắn cứng trên đó), tọa độ khối tâm khâu 3 (gồm trục bánh lái và tấm phẳng):

$$r_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ 0 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad ; \quad r_2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ 0 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 - L_2.\cos\theta_1 \\ 0 \\ z_1 - h_2.\sin\psi_1 - L_2.\sin\theta_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Từ (8) ta tính được các ma trận Jacobi tịnh tiến

$$J_{T1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} ; \quad J_{T2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2.\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -h_2.\cos\psi_1 & -L_2.\cos\theta_1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Véctơ vận tốc góc các khâu

$$\omega_1 = \begin{bmatrix} \omega_{1X} \\ \omega_{1Y} \\ \omega_{1Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\psi}_1 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} ; \; \omega_2 = \begin{bmatrix} \dot{\psi}_1 + \dot{\varphi}_2 \cos\alpha_{20} \\ \dot{\theta}_1 + \dot{\varphi}_2 \sin\alpha_{20} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Ở đây $\dot{\varphi}_2$ và α_{20} là vận tốc góc quay của trục cánh quạt và góc hợp giữa O_1O_2 với O_1X_1 .

Các ma trận Jacobi quay

$$Jr_1 = \frac{\partial\omega_1}{\partial\dot{q}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} ; \quad Jr_3 = \frac{\partial\omega_3}{\partial\dot{q}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Các ma trận mômen quán tính khối lượng

$$I_{C1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & I_{1X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{1Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} , \; I_{C2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & I_{2X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{2Y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Tính ma trận khối lượng:

$$M = J_{T1}^T.m_1.J_{T1} + J_{T2}^T.m_2.J_{T2} + J_{R1}^T.I_1.J_{R1} + J_{R2}^T.I_2.J_{R2}. \quad (13)$$

Thay các biểu thức (8)÷ (11) vào (3) ta có:

$$M=\begin{bmatrix} (m_1+m_2) & 0 & 0 & m_2L_2\sin\theta_1 \\ 0 & (m_1+m_2) & -m_2h_2\cos\psi_1 & -m_2L_2\cos\theta_1 \\ 0 & -m_2h_2\cos\psi_1 & m_2L_2^2\cos^2\psi_1+I_{1X}+I_{2X} & m_2h_2L_2\cos\theta_1\cos\psi_1 \\ m_2L_2\sin(\theta_1) & -m_2L_2\cos\theta_1 & m_2h_2L_2\cos\theta_1\cos\psi_1 & m_2L_2^2+I_{1Y}+I_{2Y} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Động năng của hệ : $T=\frac{1}{2}\dot{q}^T.M.\dot{q}$ (15)

Thay $\dot{q}=\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{z}_1\\ \dot{\psi}_1\\ \dot{\theta}_1\end{bmatrix}$; $\dot{q}^T=\left[\dot{x}_1,\dot{z}_1,\dot{\psi}_1,\dot{\theta}_1\right]$

Thay M vào biểu thức (15) ta có:

$$T=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} (m_1+m_2)\dot{x}_1^2+(2m_2L_2\sin\theta_1)\dot{x}_1\dot{\theta}_1+ \\ +(m_1+m_2)\dot{z}_1^2-(2m_2h_2\cos\psi_1)\dot{z}_1\dot{\psi}_1-(2m_2L_2\cos\theta_1)\dot{z}_1\dot{\theta}+_1 \\ +(m_2L_2^2\cos^2\psi_1+I_{1X}+I_{2X})\dot{\psi}_1^2+(2m_2h_2L_2\cos\theta_1\cos\psi_1)\dot{\psi}_1\dot{\theta}_1+ \\ +(m_2L_2^2+I_{1Y}+I_{2Y})\dot{\theta}_1^2. \end{bmatrix} \quad (16)$$

* Thế năng của hệ

Thế năng của lực trọng trường lấy với gốc là vị trí cân bằng nằm ngang, ta có:

$\pi(mg)=m_1g.y_1+m_2g.y_2=0$ (17)

Lực suy rộng không có thế

Các ngoại lực tác dụng khi xuồng chuyển động quay vòng trên mặt nước là lực cản của nước đặt tại tâm miền tiếp xúc của nước với thân xuồng và lực tại vị trí tâm bánh lái O_3. Chúng được xác định theo các biểu thức (2)÷ (4).

Để xác định các thành phần của lực suy rộng không thế, ta tìm biểu thức công nguyên tố trong di chuyển khả dĩ của hệ:

$$\delta A=(X_C-F_{bX}-F_X).\delta x_1+(F_Z-F_{bZ}).\delta z_1+(M_X-M_{bX}).\delta\psi_1+(M_Y-M_{bY}).\delta\theta_1$$

Các di chuyển khả dĩ :

$\delta x_1,\ \delta z_1,\ \delta y_1,\ \delta\psi_1,\ \delta\theta_1$ độc lập, ta nhận được:

$$\begin{cases} Q^*_{X1}=X_C-F_{bX}-F_X \\ Q^*_{Z1}=F_Z-F_{bZ}; \\ Q^*_{\psi1}=M_X-M_{bX}; \\ Q^*_{\theta1}=M_Y-M_{bY}\ . \end{cases} \quad (18)$$

Trong đó $X_C = X_q - X_A$ - là tổng các lực đẩy của chân vịt (X_q) và lực cản của nước theo phương chuyển động (X_A), chúng có giá trị phụ thuộc tốc độ quay của trục cánh quạt ($\dot{\varphi}_2$) và được xác định bằng thực nghiệm.

Thế các biểu thức trên vào phương trình Lagranger loại 2 ta được PTVP chuyển động của xuồng CCR trong mặt phẳng nằm ngang ở dạng ma trận như sau:

$$M.\ddot{q}+D.(\dot{\bar{q}})^2=Q^* \quad (19)$$

Trong đó:

$$M=\begin{bmatrix} (m_1+m_2) & 0 & 0 & m_2L_2\sin\theta_1 \\ 0 & (m_1+m_2) & -m_2h_2\cos\psi_1 & -m_2L_2\cos\theta_1 \\ 0 & -m_2h_2\cos\psi_1 & m_2L_2^2\cos^2\psi_1+I_{1X}+I_{2X} & m_2h_2L_2\cos\theta_1\cos\psi_1 \\ m_2L_2\sin(\theta_1) & -m_2L_2\cos\theta_1 & m_2h_2L_2\cos\theta_1\cos\psi_1 & m_2L_2^2+I_{1Y}+I_{2Y} \end{bmatrix};$$

$$\dot{q}=\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{z}_1 \\ \dot{\psi}_1 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix};\ (\dot{\bar{q}})^2=\begin{bmatrix} \dot{x}_1^2 \\ \dot{z}_1^2 \\ \dot{\psi}_1^2 \\ \dot{\theta}_1^2 \end{bmatrix}\ \ddot{q}=\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{z}_1 \\ \ddot{\psi}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \end{bmatrix}\ và\ \ \dot{q}^T=\left[\dot{x}_1,\dot{z}_1,\dot{\psi}_1,\dot{\theta}_1\right];$$

$$D=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & (m_2L_2\cos\theta_1+R_{bF}\sin\theta_1) \\ 0 & 0 & (m_2h_2\cos\psi_1) & (m_2L_2\sin\theta_1+R_{bF}\cos\theta_1) \\ 0 & 0 & R_{bMx} & (m_2h_2L_2\sin\theta_1\cos\psi_1) \\ 0 & 0 & -(m_2h_2L_2\cos\theta_1\sin\psi_1) & R_{bMx} \end{bmatrix};$$

$$Q^*=\begin{bmatrix} X_q-X_A-kS_n\dot{x}_{11}^2\sin^3\theta_{30} \\ kS_n\dot{x}_{11}^2\sin^2\theta_{30}\cos\theta_{30} \\ h_3.kS_n\dot{x}_{11}^2\sin^2\theta_{30}\cos\theta_{30} \\ (L_3+B\cos\theta_{30}).kS_n\dot{x}_{11}^2\sin^2\theta_{30}\cos\theta_{30} \end{bmatrix}.$$

IV. KẾT LUẬN

Mô hình chuyển động quay vòng của xuồng CCR là hệ có 3 vật rắn di chuyển trong mặt phẳng nằm ngang được biểu diễn trên hình 2 với các sơ đồ lực tác dụng và quan hệ động học như hình 3 và hình 4.

PTVP chuyển động quay vòng của xuồng (19) là hệ PTVP phi tuyến, không thuần nhất có các hệ số phụ thuộc vào các thông số kết cấu và các đại lượng động lực học của hệ .

Để có cơ sở cải tiến kết cấu cho xuồng hoặc xác định chế độ quay vòng hợp lý có thể khảo sát chuyển động của xuồng từ kết quả giải hệ PTVP (19) theo phương pháp số nhờ các phần mềm thông dụng như Mathematical, Maple, hoặc Matlab-Simulink.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Văn Đạo, 2002. *Cơ học giải tích*. NXB Đại học Quốc Gia, Hà Nội.

2. Nguyễn Văn Khang, 2007. *Động lực học hệ nhiều vật*. NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.

3. Dương Văn Tài, 2010. *Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài KC07.13\06-10. Chuyên mục tính toán thiết kế xuồng chữa cháy rừng*. Thư viện Bộ Khoa học Công nghệ, Hà Nội.

4. Lê Thanh Tùng, Lương Ngọc Lợi, 2009. Lý thuyết tàu thủy. NXB Bách khoa, Hà Nội.

DETERMINING THE EQUATION OF MOTION FOR THE FIREFIGHTING CANOE WHEN TURNING AROUND IN THE HORIZONTAL PLANE

Nguyen Thi Luc

SUMMARY

CCR Canoes are being tested in the delta area of Cuu Long. When the canoe turns left or right in the horizontal plane with a large arc, it probably goes out the defined direction or horizontal angle is greater than the limit value. This makes water flow into canoe. This paper presents how to create dynamic models of canoe turnaround and to propose a differential equation solution. The research results allow up to determine a mode rotation within a reasonable structure of the boat under safe conditions. Differential equations are created under the matrix forms, whose elements are parameters of canoe construction and dynamic quantitives. Dynamic charaters of canoe turnaround are investigated by numercial method of such mechanical engineering softwares as: Matlab, MatlabSmulink.

Keywords*: CCR Canoe, coordinates, differential equations, line displacement, Matrix, steering wheel, propelling screw.*

Người phản biện	**: PGS.TS. Nguyễn Nhật Chiêu**
Ngày nhận bài	**: 20/3/2015**
Ngày phản biện	**: 20/4/2015**
Ngày quyết định đăng	**: 09/6/2015**