

TÍNH TOÁN ĐỊNH TÂM HỆ TRỤC TÀU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN SHIP PROPULSION SHAFTING ALIGNMENT USING FINITE ELEMENT METHOD

LÊ ĐÌNH DŨNG¹, PHẠM XUÂN DƯƠNG², CAO ĐỨC THIỆP^{1*}

¹Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: thiepcd@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Quá trình định tâm hệ trục tàu thủy ảnh hưởng đến hoạt động an toàn và tin cậy của hệ trục trong quá trình khai thác vận hành tàu thủy. Hiện nay, có nhiều phương pháp khác nhau được sử dụng để tính toán định tâm hệ trục tàu thủy. Phổ biến nhất hiện nay, đó là phương pháp định tâm hệ trục tàu thủy theo tải trọng gối đỡ bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Trên thế giới, đã xuất hiện các phần mềm tính toán định tâm hệ trục bằng phương pháp trên, tuy nhiên để sở hữu các phần mềm này đòi hỏi chi phí cao. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, tác giả tập trung nghiên cứu xây dựng chương trình tính toán định tâm hệ trục theo tải trọng gối đỡ bằng phương pháp phần tử hữu hạn nhằm mục đích nội địa hóa phần mềm tính toán. Kết quả tính toán thử nghiệm cho tàu cụ thể trong nghiên cứu đã cho kết quả đảm bảo độ chính xác khi so sánh với kết quả tính toán được tính bởi nhà máy đóng tàu. Đây sẽ là cơ sở để phát triển một phần mềm nội địa tính toán định tâm hệ trục tàu thủy trong tương lai.

Từ khóa: Hệ trục tàu thủy, định tâm, tải trọng gối đỡ, phần tử hữu hạn.

Abstract

The propulsion shaft alignment affects the safe and reliable operation of the ship shaft system during its exploitation. Currently, there are many different methods used to compute the shafting alignment. The most popular method is the shafting alignment according to the bearing reaction using the finite element method. In the world, these software have appeared to compute shafting alignment, but they require very high costs. Therefore, in this study, the authors focus on building a program to compute the shaft alignment according to the bearing reaction using the finite element method. The specific ship's computation results are compared with the

shipyard's results to validate the program's accuracy. This study is the primary step in developing domestic shaft alignment software.

Keywords: Propulsion, Shaft Alignment, Bearing Reaction, Finite Element Method.

1. Mở đầu

Quá trình tính toán định tâm hệ trục tàu thủy là một quá trình tính toán liên quan đến xác định đường tâm trục, lắp ráp các thành phần hệ trục lên tàu và căn chỉnh theo các yêu cầu đưa ra.

Với một con tàu cụ thể, khi được lên đà sửa chữa, các tài liệu liên quan tới đường tâm trục hoặc các tiêu chuẩn về căn chỉnh hệ trục thường không có sẵn. Do đó, đo độ dịch tâm (GAP) và gãy khúc (SAG) giữa hai bích nối hai đoạn trục thường được áp dụng phổ biến [1, 2]. Phương pháp đo độ dịch tâm gãy khúc sẽ được lặp đi lặp lại cho hệ trục trong các lần sửa chữa lên đà tiếp theo của con tàu. Với một con tàu biển được đóng mới, tùy thuộc vào năng lực của nhà máy đóng tàu mà phương pháp căn chỉnh hệ trục bằng cách đo dịch tâm gãy khúc có thể vẫn được thực hiện. Tuy nhiên, phương pháp đo dịch tâm gãy khúc vẫn tồn tại một nhược điểm khi áp dụng cho các tàu biển đóng mới [3-5], bao gồm: chưa quan tâm tới trọng lượng bản thân của hệ trục cũng như tải trọng tác dụng lên các gối đỡ, đặc biệt là gối đỡ trục chân vịt. Theo các phương pháp này, hệ trục tàu thủy thường được mô hình hóa như là một hệ trục thẳng và không bị biến dạng. Do đó, phương pháp này dẫn tới kết quả định tâm thiếu chính xác.

Phương pháp định tâm theo tải trọng gối đỡ cũng đã được nghiên cứu bởi nhiều nhà khoa học trên thế giới cũng như các công ty hay tổ chức đăng kiểm [6-9] đã áp dụng phương pháp đo độ căng (strain gauge measurement) để đưa ra tải trọng gối đỡ cho một loạt các tàu. Tại Việt Nam, phương pháp tải trọng gối đỡ cũng đã được một số tác giả nghiên cứu và áp dụng. Tuy nhiên, các nghiên cứu này đều dựa trên các phần mềm chuyên dụng có sẵn vì vậy khó có thể chủ động trong tính toán.

Hiện nay, các cơ quan đăng kiểm khác nhau trên thế giới như Đăng kiểm Nhật Bản NK [7], Đăng kiểm Mỹ ABS [6],... đều đưa vào Quy phạm việc yêu cầu bảng tính định tâm hệ trục phải được phê duyệt trước khi tiến hành lắp ráp hệ trục tàu thủy. Trong đó, phương pháp định tâm theo tải trọng gối đỡ có nhiều ưu điểm [10, 11], được khuyến khích áp dụng phổ biến trong lĩnh vực thiết kế cũng như sửa chữa tàu thủy. Các công ty thiết kế tàu thủy nước ngoài thường tự xây dựng và phát triển phần mềm tính toán định tâm hệ trục tàu thủy cho riêng mình để sử dụng nội bộ hoặc mua phần mềm chuyên dụng của hãng phát triển phần mềm. Tuy nhiên, chi phí để sở hữu phần mềm và chuyển giao kỹ năng sử dụng phần mềm khá cao, tốn nhiều thời gian và không chủ động.

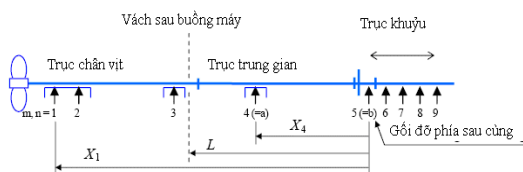
Ở Việt Nam hiện nay, các công ty thiết kế tàu thủy hầu hết không tính toán được bảng tính định tâm hệ trục vì chưa có công cụ tính toán định tâm theo tải trọng gối đỡ. Khi cần phải có bảng tính định tâm hệ trục để trình Đăng kiểm phê duyệt. Đối với các tàu biển có đường kính trục cơ bản trên 400mm [10, 11] họ phải thuê các công ty nước ngoài giải quyết phần việc này dẫn đến chi phí đắt đỏ đồng thời sẽ bị động trong suốt quá trình thi công lắp ráp hệ trục.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu phương pháp tính toán định tâm hệ trục bằng phương pháp phần tử hữu hạn sẽ đáp ứng các yêu cầu thực tiễn của các cơ quan đăng kiểm cũng như tăng cường năng lực cho ngành đóng tàu Việt Nam trong thiết kế các tàu cỡ lớn.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn

Ở các bài toán tính nghiệm bền hệ trục tàu thủy, khi xây dựng mô hình tính toán ta chỉ cần xét các đoạn trục trong tương quan lắp ghép với các thiết bị hệ trục mà không cần xét đến trục khuỷu động cơ diesel chính. Tuy nhiên, trong bài toán tính định tâm hệ trục, độ co bóp trục khuỷu ảnh hưởng lớn đến độ dịch tâm và gây khúc của toàn bộ hệ trục nên chúng ta cần phải đưa cả trục khuỷu vào mô hình tính. Khi đó trục khuỷu được tính toán quy đổi thành đoạn trục thẳng tựa trên nhiều gối đặt tại tâm các cổ trục của động cơ. Do vậy, mô hình tính định tâm hệ trục tàu thủy được mô tả như trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình tính toán định tâm hệ trục tàu thủy

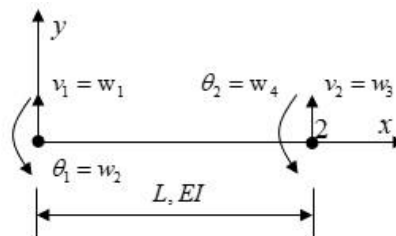
Phản lực và độ dịch chình của các gối đỡ được xác định theo công thức sau:

$$R = A\delta \quad (1)$$

Trong đó: $R = [R_1 R_2 \dots R_9]^T$

$$\delta = [\delta_1 \delta_2 \dots \delta_9]^T$$

Để rời rạc hóa mô hình cho trên Hình 1 thành mô hình phần tử hữu hạn sẵn sàng cho tính toán chúng ta sử dụng phần tử dầm chịu uốn 2 nút, còn được gọi là phần tử dầm Bernoulli-Euler được biểu diễn trên Hình 2. Tại mỗi nút của phần tử sẽ có 2 bậc tự do và được gọi là 2 chuyển vị nút, đó là độ võng $v(x)$ và góc xoay $\theta(x)$.



Hình 2. Phần tử dầm chịu uốn Bernoulli-Euler

Với quy ước về chiều của chuyển vị và các đại lượng của phần tử dầm Bernoulli-Euler [2] như trình bày trên Hình 2, ta có thể thành lập được phương trình phần tử dưới dạng ma trận như sau:

$$K_e q_e = P_e \quad (2)$$

Trong đó, $w_e = [v_1 \ \theta_1 \ v_2 \ \theta_2]^T$ là véc tơ chuyển vị nút phần tử, K_e là ma trận độ cứng phần tử, P_e là véc tơ tải phần tử, được tính như sau:

$$K_e = \int_{V_e} B^T B D dV \quad (3)$$

$$P_e = \int_{V_e} N^T g_e dV + \int_{S_e} N^T P_e dS \quad (4)$$

với $N = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4]$ được gọi là ma trận các hàm dạng Hermite, có dạng sau:

$$N_1 = 1 - 3\frac{x^2}{L^2} + 2\frac{x^3}{L^3}; N_2 = x - 2\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2}$$

$$N_3 = 3\frac{x^2}{L^2} - 2\frac{x^3}{L^3}; N_4 = -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2}$$

(5)

Trong khi đó $B = \partial N$ được gọi là ma trận tính biến dạng.

Thực hiện các tích phân trong các công thức (3) và (4) với các hàm dạng (5) sẽ thu được ma trận độ cứng của phần tử dầm Bernoulli-Euler như sau:

$$K_e = \int_{V_e} B^T B dV = E \int_L^L \int_F^F B^T B dF dx$$

$$= \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 0 & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ 0 & 0 & 12 & -6L \\ dx & 0 & 0 & 4L^2 \end{bmatrix}$$

(6)

Bước tiếp theo cần xây dựng phương trình toàn cục hay toàn kết cấu bằng sử dụng nguyên lý bảo toàn năng lượng hoặc bằng phương pháp Galerkin. Đó cũng là hệ phương trình đại số tuyến tính bậc nhất, có thể viết dưới dạng ma trận như sau:

$$[\bar{K}]\{\bar{q}\} - \{\bar{P}\} = 0$$

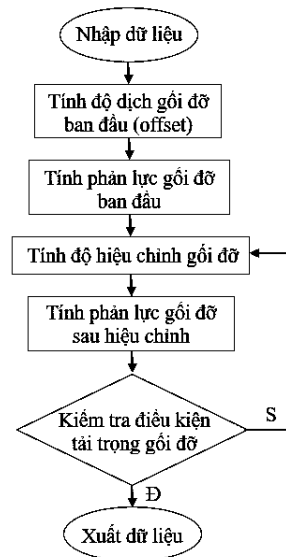
(7)

Phương trình (7) chứa véc tơ ẩn là các chuyển vị nút của toàn kết cấu q . Tuy nhiên, khi ta áp dụng các nguyên lý thế năng để thành lập phương trình này chưa áp đặt điều kiện biên cho kết cấu. Do vậy ma trận là suy biến và không tồn tại ma trận nghịch đảo. Ta phải đưa thêm vào các điều kiện biên để đảm bảo hệ là có nghiệm. Phương trình (7) là một phương trình đại số tuyến tính có nhiều phương pháp giải khác nhau như: các phương pháp chính xác và các phương pháp lặp. Những phương pháp này đã được trình bày một cách hệ thống, chi tiết trong các tài liệu liên quan đến đại số tuyến tính cũng như phương pháp tính. Trong hầu hết các gói phần mềm phân tích phần tử hữu hạn, việc tìm lời giải của hệ phương trình tuyến tính đã được lập trình sẵn như là các hàm, thủ tục tiêu chuẩn có sẵn để sử dụng.

2.2. Sơ đồ thuật toán tính định tâm hệ trục theo tải trọng góidở

Để tính toán định tâm hệ trục theo tải trọng góidở bằng phương pháp phần tử hữu hạn cần xây dựng một chương trình tính trong môi trường Matlab với tên gọi là MATSHAL. Sơ đồ thuật toán tính toán định tâm

được thể hiện trong Hình 3. Theo đó, các khối hình chữ nhật biểu thị một bước công việc hoặc nhiệm vụ quan trọng cần thực hiện, các khối hình elip thể hiện dữ liệu được biểu diễn bằng ma trận, các tệp m-file hoặc đồ thị, hình thoi thể hiện bước kiểm tra theo dữ liệu kiểu Boolean (đúng-sai), và các mũi tên biểu thị luồng vận động của chương trình. Chức năng của khối *Nhập dữ liệu* là để nhập các dữ liệu cần thiết cho chương trình tính dưới các dạng tệp văn bản bao gồm dữ liệu về hình học, kết cấu, cơ tính vật liệu của hệ trục cần tính toán. Khối *Tính độ dịch chuyển góidở ban đầu* (offset) sẽ thực hiện tính toán độ dịch chuyển góidở cần hiệu chỉnh ban đầu tại các góidở của hệ trục để đảm bảo theo các tiêu chí tải trọng góidở. Khối *Tính phân lực góidở ban đầu* sẽ thực hiện tính các phân lực tại các góidở với giả thiết các góidở có độ dịch chuyển ban đầu tính được. Khối *Xác định độ hiệu chỉnh góidở* thực hiện xác định hiệu chỉnh cần thiết tại các góidở để đảm bảo tải trọng phân bố trên các góidở đạt theo đúng tiêu chí đặt ra. Khối *Phân lực góidở sau hiệu chỉnh* sẽ thực hiện tính các phân lực tại các góidở sau khi đã hiệu chỉnh độ lệch góidở theo các giá trị hiệu chỉnh góidở đã tính. Khối *Kiểm tra điều kiện tải trọng góidở* sẽ thực hiện kiểm tra phân lực các góidở thỏa mãn điều kiện về tải trọng góidở, nếu đạt yêu cầu sẽ tiến hành xuất dữ liệu.



Hình 3. Sơ đồ thuật toán tính định tâm hệ trục theo tải trọng góidở

Toàn bộ các quá trình tính toán, bao gồm tính các độ lệch góidở, phân lực góidở, độ hiệu chỉnh góidở, mô men uốn, lực cắt, các ứng suất, ... tại các góidở và trên toàn bộ chiều dài hệ trục được thực hiện với việc sử dụng lý thuyết dầm Bernoulli-Euler và phương pháp

phần tử hữu hạn cho bài toán dầm nhiều nhịp nhằm đảm bảo cho kết quả tin cậy, chính xác.

3. Tính toán thử nghiệm mô hình đối với tàu 45.000DWT

3.1. Mô hình hóa hệ trục tàu 45.000DWT

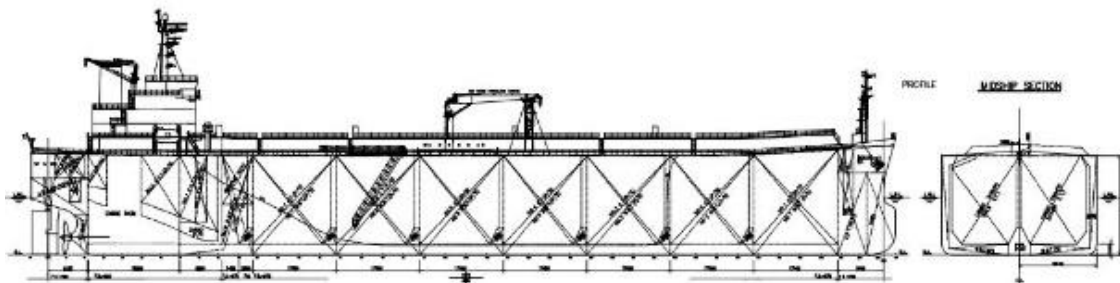
Nhằm mục đích kiểm nghiệm chương trình tính toán định tâm hệ trục theo tải trọng gối đỡ bằng phương pháp phần tử hữu hạn đã trình bày ở trên, trường hợp tính toán cho tàu 45.000DWT được sử dụng để kiểm tra độ chính xác của chương trình tính.

Hệ trục của tàu chở dầu/hóa chất 45.000DWT, tốc độ tối đa đạt 15,3knots, chạy biển cấp không hạn chế được kiểm tra giám sát đóng mới và phân cấp bởi đăng kiểm NK. Cấu trúc và bố trí chung của tàu này được thể hiện trên Hình 4.

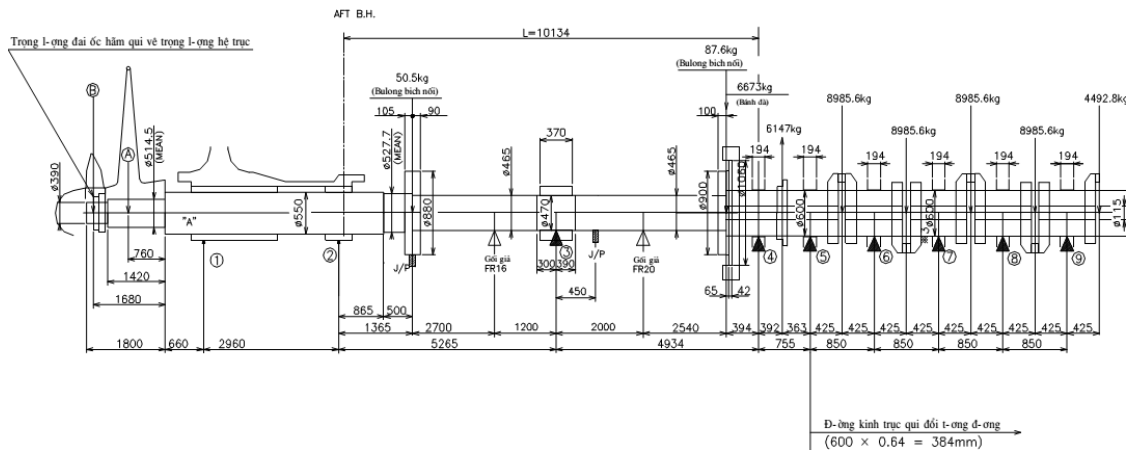
Dựa vào các tài liệu của bản thiết kế hệ trục của tàu, cần tiến hành xây dựng mô hình hệ trục bao gồm các kích thước, khối lượng phục vụ cho quá trình tính định tâm hệ trục. Mô hình bố trí hệ trục được mô tả trong Hình 5.

Để tính toán định tâm hệ trục của tàu bước tiếp theo cần xây dựng sơ đồ hệ lực tác dụng lên hệ trục. Đối với hệ trục khảo sát sẽ bao gồm 01 trục chân vịt, 01 trục trung gian và 01 trục khuỷu. Số lượng gối đỡ: tổng số gối đỡ là 09, bao gồm 2 gối đỡ trục chân vịt, 01 gối đỡ trục trung gian, 06 gối đỡ trục khuỷu để đảm bảo yêu cầu số lượng gối đỡ bên trong máy chính không nhỏ hơn 5 [6, 7]. Sơ đồ ngoại lực tác dụng lên hệ trục được thể hiện trong Hình 6.

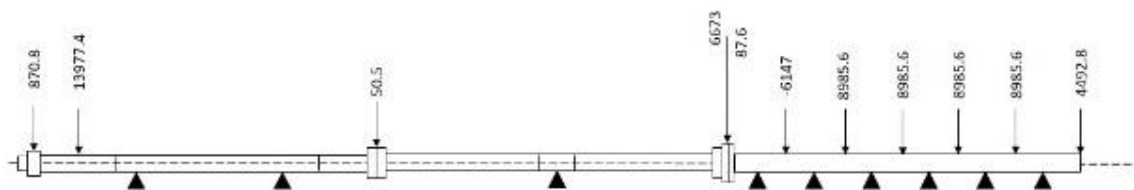
Trong tính toán định tâm hệ trục theo tải trọng gối đỡ cần phải tính toán tải trọng gối đỡ khi các gối đỡ



Hình 4. Bố trí chung tàu 45000DWT



Hình 5. Mô hình bố trí hệ trục



Hình 6. Sơ đồ ngoại lực tác dụng lên hệ trục

nằm trên đường tâm lý thuyết ở trạng thái dẫn tàu, chân vịt nằm hoàn toàn trong nước với ký hiệu là TT0 (trạng thái 0). Từ đó sẽ lập ma trận hệ số ảnh hưởng và xác định các gối đỡ có phản lực âm tức là có chiều hướng từ dưới lên trên.

Có 3 trạng thái của tàu và hệ trục cần tính toán định tâm theo gợi ý của các cơ quan đăng kiểm bao gồm: Trạng thái 1 (ký hiệu TT1) khi đó tàu xét ở trạng thái dẫn, chân vịt nằm hoàn toàn trong nước và các gối đỡ điều chỉnh theo trạng thái nóng; trạng thái 2 (ký hiệu TT2) xét tàu ở trạng thái dẫn, chân vịt nằm hoàn toàn trong nước và các gối đỡ điều chỉnh theo trạng thái lạnh; trạng thái 3 (ký hiệu TT3) tương ứng với trạng thái lắp đặt hệ trục khi đó tàu ở trạng thái chân vịt nửa chìm trong nước và các gối đỡ điều chỉnh theo trạng thái lạnh. Trong quá trình tính toán cần xem xét và lưu ý đến sự thay đổi chiều cao gối đỡ khi nhiệt độ thay đổi của các gối đỡ máy chính. Thông thường giá trị này được cung cấp trong hồ sơ máy chính.

3.2. Kết quả tính toán và kiểm chứng

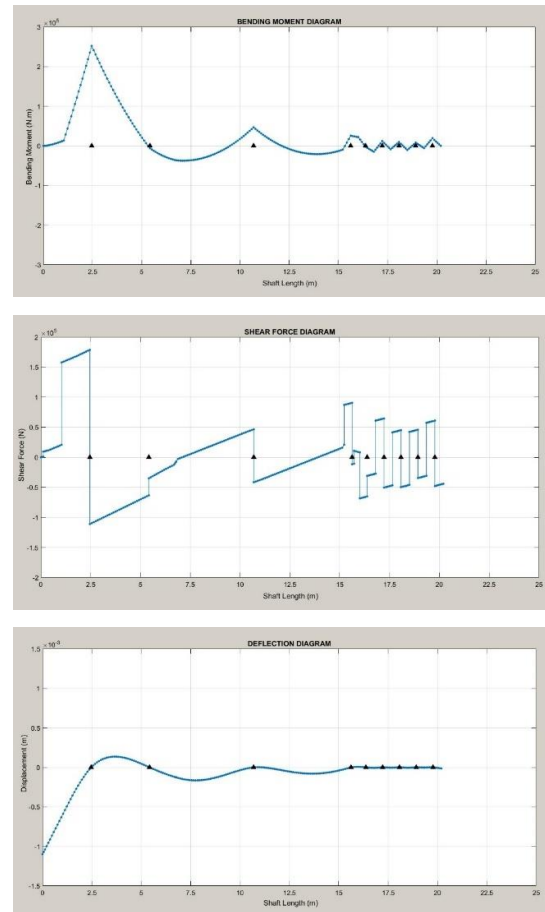
Trước tiên, khi tính toán tải trọng tác dụng lên các gối đỡ sẽ xét các gối đỡ nằm thẳng hàng trên đường tâm lý thuyết tương ứng với độ dịch chỉnh offset = 0 và các ngoại lực tác dụng lên hệ trục trong trạng thái dẫn của tàu tương ứng với chân vịt ngập hoàn toàn trong nước biển. Biểu đồ mô men uốn, lực cắt và độ võng của hệ trục ở TT0 được mô tả trong Hình 7. Giá trị tải trọng tác dụng lên các gối đỡ trong trường hợp các gối đỡ nằm trên đường tâm lý thuyết được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng giá trị tải trọng gối đỡ khi hệ trục ở trạng thái các gối đỡ nằm trên đường tâm lý thuyết

Bearing No.	Position (m)	Force Reaction (T)
1	2,46	29,562
2	5,42	-1,773
3	10,685	8,467
4	15,619	13,259
5	16,374	-2,995
6	17,224	10,496
7	18,074	9,660
8	18,924	8,197
9	19,774	11,089

Theo bảng trên giá trị tải trọng tại các gối đỡ là khác nhau do phân bố tải trọng lên hệ trục là không đều tại các vị trí gối đỡ. Xuất hiện phản lực gối đỡ tại gối đỡ số 2 và số 5 mang giá trị “âm” điều này có nghĩa rằng phản lực gối đỡ có chiều từ trên xuống, tức

là các gối đỡ không còn có tác dụng đỡ trục. Bên cạnh đó, hệ trục tại các vị trí gối đỡ 2 và 5 không tiếp xúc với gối đỡ ở nửa dưới của bạc. Do đó, khi hệ trục hoạt động sẽ gây ra dao động, tăng ứng suất, gây phá hủy gối đỡ nhanh chóng. Rõ ràng, điều này không thỏa mãn yêu cầu thiết kế lắp ráp hệ trục vì vậy cần thay đổi khoảng offset để đảm bảo các yêu cầu vận hành của hệ trục.



Hình 7. Biểu đồ nội lực của hệ trục ở TT0

Để thành lập ma trận ảnh hưởng của hệ trục trong điều kiện không kể đến tải trọng của chính bản thân hệ trục và tải trọng tác dụng cần tiến hành nâng gối đỡ từ số 1 đến số 9 một khoảng 0,1mm và lấy các giá trị tải trọng trên từng gối đỡ. Ma trận ảnh hưởng sẽ phản ánh độ cứng của hệ trục và là cơ sở để tính toán xác định các khoảng dịch chuyển của gối đỡ cho từng trạng thái định tâm.

Như đã trình bày ở trên có 3 trạng thái hệ trục cần thiết phải tính toán định tâm khi đó các gối đỡ để đảm bảo các điều kiện về phân bố tải sẽ cần dịch chuyển offset. Bảng 2 tổng hợp độ dịch chuyển của các gối đỡ khi định tâm ở các trạng thái khác nhau.

Bảng 2. Bảng tổng hợp độ dịch chuyển offset cho các gối đỡ ở các trạng thái khác nhau

Bearing No.	Offset (m)		
	TT1	TT2	TT3
1	0,078	0,078	0,078
2	0	0	0
3	-1,1	-1,196	-1,196
4	-1,96	-2,2	-2,2
5	-1,96	-2,2	-2,2
6	-1,96	-2,2	-2,2
7	-1,96	-2,2	-2,2
8	-1,96	-2,2	-2,2
9	-1,96	-2,2	-2,2

Bảng 3. Bảng tổng hợp phản lực các gối đỡ ở các trạng thái khác nhau

Bearing No.	Force Reaction (T)		
	TT1	TT2	TT3
1	26,577	28,243	28,049
2	1,825	1,272	1,141
3	7,769	8,155	8,172
4	5,978	4,103	4,089
5	3,760	5,303	5,303
6	10,181	10,140	0,140
7	9,872	9,971	9,981
8	8,160	8,160	8,172
9	11,121	11,125	11,122

Bảng 4. Bảng tính tải trọng tại các gối đỡ trước khi thêm vật nặng

Bearing No.	Position (m)	Force Reaction (T)
1	2,46	29,629
2	5,42	-2,360
3	10,685	11,955
4	15,619	-2,091
5	16,374	9,625
6	17,224	10,144
7	18,074	9,970
8	18,924	8,160
9	19,774	11,121

Bảng 5. Bảng so sánh kết quả tính toán phản lực gối đỡ giữa MATSHAL và nhà máy đóng tàu

Bearing No.	Force Reaction (T)		Error (%)
	MATSHAL	SHIP BUILD. COM.	
1	26,577	26,547	0,11
2	1,8245	1,85	1,37
3	7,7692	7,852	1,05
4	5,978	5,939	0,65
5	3,7602	3,62	3,87
6	10,18	10,012	1,67
7	9,9716	10,359	3,73
8	8,1603	8,34	2,15
9	11,121	11,34	1,93

Sau khi xác định được các giá trị khoảng dịch chuyển gối đỡ offset cần tiến hành tính toán kiểm tra lại phản lực trên các gối đỡ. Bảng 3 tổng hợp phản lực gối đỡ trong các trạng thái định tâm khác nhau.

Để xác định giá trị SAG và GAP (độ gãy khúc và độ dịch tâm) cho quá trình lắp ráp hệ trục thì tại vị trí các bích nối trục chân vịt và trục trung gian sẽ ở trạng thái tự do khi đó bảng tính phản lực tại các gối đỡ được thể hiện trong Bảng 4.

Theo Bảng 4, tải trọng tại gối đỡ số 2 có giá trị âm (-2.360 T) dựa vào giá trị trên vậy phải thêm tải trọng đặt tại bích nối để đảm trục chân vịt tiếp xúc với gối trục: Chọn thử giá trị tải đặt lên là 2,1. Sau khi đặt thêm tải trọng phụ thêm này, phản lực trên gối đỡ số 2 sẽ dương với giá trị là 0,572T là đạt yêu cầu. Khi đó độ võng và góc xoay tại bích nối trục chân vịt sẽ lần lượt là 0,213951mm và 0,000176rad.

Đối với trục trung gian, cần bổ sung thêm 2 gối đỡ giá tại hai vị trí như mô hình tính ở trạng thái tự do.

Tại gối đỡ trục trung gian độ võng là 0,100962mm vì vậy điều chỉnh gối đỡ giả sao cho vị trí của trục tại gối trục đạt giá trị -1,196mm. Khi đó độ võng và góc xoay tại bích nối trục trung gian ở 2 đầu nối với trục chân vịt và nối với trục khuỷu lần lượt là -1,933867mm, -0,000265rad và -1,855155mm, 0,000245rad. Đối với trục khuỷu độ võng và góc xoay tại bích nối trục khuỷu là: 2,206939mm và -0,000014rad. Từ các giá trị trên ta có thể xác định được giá trị SAG, GAP giữa bích nối trục chân vịt và trục trung gian:

$$GAP = |-0,213951 - (-1,933867)| = 1,72$$

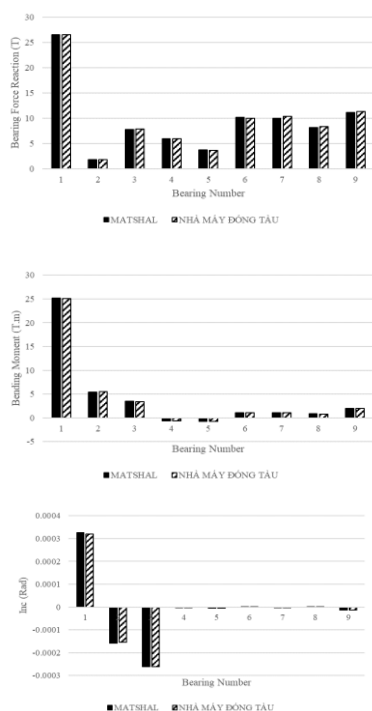
$$SAG = 880 \times (0,000176 - 0,000265) = 0,078$$

Tính giá trị SAG, GAP giữa bích nối trục khuỷu động cơ và trục trung gian:

$$GAP = |-1,855155 + 2,206939| = 0,35$$

$$SAG = 900 \times (0,000265 - 0,000014) = 0,22$$

Để kiểm tra và đánh giá phương pháp tính định tâm theo tải trọng gối đỡ bằng sử dụng chương trình MATSHAL đã xây dựng, các kết quả tính toán này được so sánh với kết quả tính của nhà máy đóng tàu. Nhà máy đóng tàu này đã thuê phần mềm chuyên dụng của cơ quan đăng kiểm và đã được phê duyệt bởi cơ quan đăng kiểm NK. Với cùng kết cấu hệ trục được tính trong trường hợp hệ trục ở trạng thái nóng và tàu ở trạng thái dần với các giá trị offset là như nhau. So sánh tải trọng gối đỡ, mô men uốn, và góc xoay được tính bởi phần mềm MATSHAL và nhà máy đóng tàu được thể hiện trong Bảng 5 và Hình 8.



Hình 8. So sánh giữa kết quả tính toán giữa MATSHAL và nhà máy đóng tàu

Qua các biểu đồ so sánh ta thấy rằng kết quả tính toán định tâm hệ trục bằng chương trình tính toán định tâm MATSHAL phù hợp với kết quả tính toán được đề xuất bởi nhà máy đóng tàu. Sai số giữa hai trường hợp tính không quá 4%, đảm bảo độ chính xác cũng như tính tin cậy của phần mềm MATSHAL.

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng được chương trình tính MATSHAL và thực hiện tính toán các số liệu cần thiết cho quá trình định tâm hệ trục tàu thủy theo tiêu chí tải trọng gối đỡ bằng phương pháp phần tử hữu hạn cho một tàu thực tế, tàu chở hóa chất 45.000DWT.

Tác giả đã tiến hành so sánh, phân tích số liệu tính toán từ chương trình vừa xây dựng với kết quả từ nhà

máy đóng tàu đã được phê duyệt bởi cơ quan đăng kiểm NK để khẳng định tính chính xác, khả thi của chương trình tính. Cụ thể, sự biến thiên của các số liệu giữa hai chương trình tính là thống nhất và sai số về giá trị là nhỏ dưới 4%. Vì vậy, chương trình MATSHAL có thể sử dụng được trong thực tiễn tính toán định tâm hệ trục tàu thủy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đăng Hộ (1985), *Thiết kế trang trí động lực tàu thủy*, Tập 1+2, NXB Giao thông vận tải.
- [2] Võ Như Cầu, *Tính kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [3] Nguyễn Mạnh Thường (2011), *Tính toán tải trọng các gối trục chong chóng tàu thủy*, Tạp chí Giao thông vận tải, Số tháng 6/2011, Hà Nội.
- [4] Phạm Quốc Việt (2015), *Nghiên cứu ứng dụng phần mềm Lira để tính toán kiểm tra và định tâm lắp ráp hệ trục trong đóng tàu*, Đề tài KHCN cấp Cơ sở, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [5] Phan Trung Kiên (2013), *Nghiên cứu phương pháp tính toán định tâm hệ trục tàu thủy theo tải trọng gối đỡ bằng phần mềm SAP*, Luận văn Thạc sỹ. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [6] Batra, A., K. Shankar, and S. Swarnamani (2007), *Propulsion shaft alignment measurements on warships afloat and alignment solution using multi-objective optimisation*, Proceedings of IMarEST-Part A-Journal of Marine Engineering and Technology, pp.39-49.
- [7] SHIRAKI, D., et al. (2005), *Advanced Calculation Method for Marine Propulsion Shafting Alignment*, ClassNK technical bulletin.
- [8] Cowper, B., A. DaCosta, and S. Bobyn (1999), *Shaft alignment using strain gages: Case studies*. Marine Technology and SNAME News, Vol.36(02): pp.77-91.
- [9] Vulić, N., A. Šestan, and V. Cvitanic (2006), *Shafting alignment calculation and validation criteria*. Trogir/Split.
- [10] Lê Đình Dũng (2021), *Các phương pháp tính toán định tâm hệ trục tàu thủy theo tải trọng gối đỡ*, Chuyên đề Tiến sĩ số 1, Trường ĐH Hàng hải Việt Nam.
- [11] Chang, M. H., Juang, S. H. (2014), *Theoretical Design Study on Shafting Alignment Calculation for High Speed Craft*.

Ngày nhận bài:	08/8/2022
Ngày nhận bản sửa:	17/8/2022
Ngày duyệt đăng:	22/8/2022