

TÍNH TOÁN LIÊN QUAN ĐẾN KIỂM TRA ĐỊNH TÂM HỆ TRỤC THEO TIÊU CHÍ TẢI TRỌNG GỐI ĐỠ BẰNG PHƯƠNG PHÁP JACK-UP

COMPUTINGS INVOLVED IN CHECKING SHAFTING ALIGNMENT TO MEET THE REQUIREMENT FOR BEARINGS LOADS BY JACK-UP METHOD

NGUYỄN MẠNH THƯỜNG*, PHAN TRUNG KIÊN

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

*Email liên hệ: thuongnm.mtb@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết tính toán định tâm, thiết lập hệ phương trình tính phân lực các gối khi biết kích thước và các tải trọng trên đường trục, sơ đồ bố trí và off-sets cùng độ cứng các gối; ma trận các hệ số ảnh hưởng; quy trình đo và các điều kiện để xác định được phân lực cùng off-sets các gối sau khi đường trục đã được lắp đặt sơ bộ; thuật toán và các điều kiện cần để xác định độ cứng của các gối đỡ nhờ sử dụng Symbolic Stool Box của Matlab. Ngoài ra trong bài viết cũng trình bày vắn tắt kết quả các chương trình tính toán độ cứng, phân lực các gối khi có kết quả Jack up, cũng như dạng đường cong biến dạng của đường trục, số liệu tính ví dụ được lấy từ hệ trục lắp máy 4 RTA 62U đóng tại nhà máy đóng tàu Hạ Long.

Từ khóa: Định tâm, jack-up, tải trọng gối, xô dịch các gối.

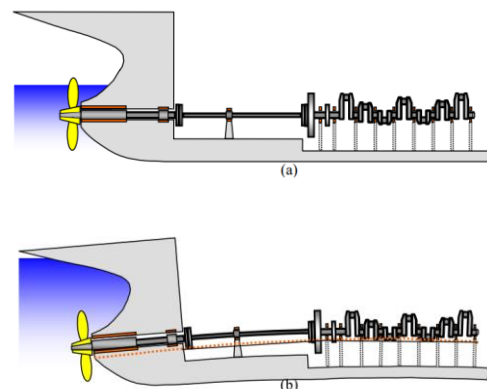
Abstract

The article presents the theoretical basis of shafting alignment, establishes a system of equations for calculating the bearing reactions when knowing the dimensions and loads on the shafting, the arrangement, initial off-sets and the stiffness of the bearings; matrix of influence coefficients; measuring procedure and conditions for determining the bearing reactions and off-sets of the bearings after the shafting has been preliminarily installed; Algorithm and necessary conditions to determine the stiffness of supports using the Symbolic Stool Box of Matlab. In addition, the article also briefly presents the results of the programs to calculate the stiffness and reactions of the bearings, as well as the deflection line of the shafting when the Jack up results are available, where data of the shafting is taken from a ship with 4 RTA 62U engine built at Ha Long shipyard.

Keywords: Alignment, jack-up, bearing load, off-set.

1. Mở đầu

Do xu hướng sử dụng động cơ chính công suất tăng nhanh hơn so với vòng quay trên các tàu có tải trọng lớn cùng với sự tối ưu hóa thiết kế thiết diện kết cấu thân tàu và sử dụng thép độ bền cao, độ cứng hệ trục đã tăng đáng kể so với của kết cấu vỏ tàu [1], [2]. Sự giảm độ cứng vỏ tàu có nghĩa là cao độ các gối đỡ trục dễ bị thay đổi trong các điều kiện khai thác khác nhau như minh họa ở Hình 1. Ngoài ra, trục càng cứng thì càng kém thích ứng với những xô dịch của đường tâm ổ khỏi đường tâm ban đầu. Sự kết hợp này được cho là nguyên nhân gây hư hỏng ổ đỡ liên quan đến việc định tâm và do đó thiết kế định tâm cho các tàu có đường kính trục chong chóng lớn hơn 400mm phải tuân theo một số chỉ tiêu khác. Không giống như đối với các tàu có đường kính trục chong chóng nhỏ, ở đó tâm các ổ nằm trên một đường thẳng có thể là hợp lý, thì đối với hệ trục có đường kính lớn, việc định tâm hệ trục phải đảm bảo (ngoài các yêu cầu khác như ứng suất kéo - nén, ứng suất cắt phát sinh trong trục, độ ổn định dọc trục,...) ở các trạng thái tải trọng khác nhau không có ổ nào bị quá tải do có các ổ không làm việc hoặc có phản lực âm (hướng xuống).



Hình 1. Minh họa sự biến dạng vỏ tàu khi thay đổi chiều chìm: (a) không tải, (b) toàn tải [1]

Các nghiên cứu hiện nay nhằm đánh giá mức độ biến dạng vỏ tàu ở các tải trọng khác nhau và mức độ ảnh hưởng tới tải trọng các gối để đưa ra các giá trị offsets ban đầu từ giai đoạn thiết kế [3]. Phương pháp

phần tử hữu hạn cũng được sử dụng trong tính toán định tâm trục chong chóng tàu thủy nhằm xác định độ cứng trục khuỷu. Trong đó, các gối trục ống bao được coi là nền đàn hồi. Phương pháp này cho phép tính toán định tâm với độ chính xác, độ tin cậy,... [4]. Trong bài viết này, nghiên cứu chỉ giới hạn trình bày những tính toán liên quan đến quá trình lắp ráp để đảm bảo đường tâm hệ trục đúng như được thiết kế đối với trường hợp hệ trục phải được định tâm theo tiêu chí tải trọng gối.

Mô hình tính sử dụng các giả thiết đơn giản hóa sau: Coi trục khuỷu là trục thẳng, đường kính bằng đường kính cổ trục, phản lực của các gối (kể cả gối trục chong chóng) được coi là lực tập trung.

2. Cơ sở lý thuyết tính tải trọng gối

Giả sử ta có đường trục, coi là một thanh liên tục tựa trên hai gối số 1 và số N, có độ cứng tương ứng là C_1 và C_N (kN/mm) ở tọa độ Z_1 và Z_N như trên Hình 2. Chọn đường thẳng nối tâm hai ổ này khi chưa có lực nào đặt lên làm chuẩn (initial reference line), giả sử là đường 0-0 (Hình 2). Xét lực đơn vị $\bar{F}_i = 1$ kN đặt lên điểm i tại tọa độ z_i . Khi đó, phản lực tương ứng ở các ổ số 1 và N do \bar{F}_i gây ra là:

$$\frac{(z_N - z_i)}{(z_N - z_1)} \quad \text{và} \quad \frac{(z_i - z_1)}{(z_N - z_1)} \quad (kN), \text{ làm các ổ này lún}$$

xuống một khoảng bằng $\delta_{1,i} = \frac{(z_N - z_i)}{(z_N - z_1).C_1}$ và

$$\delta_{N,i} = \frac{(z_i - z_1)}{(z_N - z_1).C_N} \quad (mm/kN). \text{ Do các chuyển}$$

dịch $\delta_{1,i}$ và $\delta_{N,i}$ mà đường tham chiếu mới trở thành đường 0'-0'. Như thấy trên hình, tổng chuyển vị tại điểm j do thay đổi của đường tham chiếu cùng

với độ võng bản thân trục tại điểm j do lực đơn vị \bar{F}_i

sẽ bằng: $\delta_{j,1} + \delta_{j,N} + \delta_{j,i}$, trong đó sai lệch giữa tâm trục với đường tham chiếu mới 0'-0' được gọi là độ võng, hay chuyển vị do biến dạng uốn (deflection) của trục tại điểm j .

Theo nguyên lý về liên quan giữa công và chuyển vị [5], độ võng trục $\delta_{j,i}$ (mm/kN) tại điểm j do lực đơn vị tại i gây ra được tính bằng:

$$\delta_{ij} = \sum_n^c \int_d^c \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EJ_n} dz + \sum_n^c \int_d^c k \frac{\bar{Q}_i \bar{Q}_j}{GF_n} dz \quad (1)$$

Trong đó: $\bar{M}_i(z)$, $\bar{M}_j(z)$, $\bar{Q}_i(z)$, $\bar{Q}_j(z)$ là

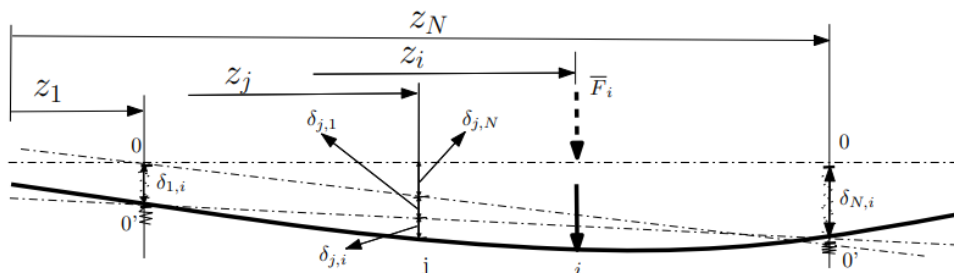
các mô men và lực cắt do lực đơn vị \bar{F}_i và \bar{F}_j đặt ở i và j gây ra ở thiết diện z ; k - hệ số ảnh hưởng của hình dạng thiết diện, với hình tròn $k=1,33$ [3]; E và G là mô đun đàn hồi kéo nén (loại 1) và trượt (loại 2), $G=E/(2(1+\mu))$, J_n - mô men quán tính thiết diện và F_n - diện tích thiết diện của đoạn trục thứ n .

Nếu hệ trục có N ổ đỡ và có K lực suy rộng P_k tác dụng lên hệ trục (bao gồm các khối lượng của các piston biên, bánh đà, chong chóng,... và trọng lượng bản thân trục), lấy đường nối tâm ổ 1 và ổ N làm tham chiếu; ký hiệu δ_{ji} là chuyển vị tại ổ j do lực đơn vị tại i gây ra; R_i là phản lực tại ổ i , thì độ võng (của tâm trục so với đường tham chiếu 0'-0') tại ổ hay vị trí j có thể được biểu diễn bằng phương trình sau:

$$\sum_2^{N-1} \delta_{ji} R_i + \sum_1^K \delta_{jk} P_k = y_j, i = 2 \dots N-1. \quad (2)$$

Trong đó: $\delta_{ji} R_i$ và $\delta_{jk} P_k$ là độ võng do phản lực R_i và lực P_k gây ra tại (gối) j .

Ký hiệu cao độ ban đầu so với đường chuẩn 0-0 của tâm ổ j (initial offset) là y_{0j} (qui ước chiều đi xuống có giá trị dương), biến dạng (độ lún) của ổ là:



Hình 2. Chuyển vị tại điểm j do lực đơn vị đặt tại điểm i gây ra

$x_j = y_j - y_{0j}$, và phản lực tại ổ j là:

$$R_j = -C_j x_j = -C_j (y_j - y_{0j}), \quad (3)$$

với C_j (kN/mm) là độ cứng của ổ j .

Như vậy, nếu kể đến cả độ lún của các ổ đầu và cuối so với offset ban đầu thì chuyển vị tâm trục tổng cộng tại ổ j theo (2) sẽ là:

$$-\delta_{j1} \frac{R_1}{C_1} - \delta_{jN} \frac{R_N}{C_N} + \sum_{i=2}^{N-1} \delta_{ji} R_i + \sum_{k=1}^K \delta_{jk} P_k = y_j$$

$$j=2 \dots N-1, \quad (4)$$

Trong đó: $\delta_{j,1} = \frac{z_N - z_j}{z_N - z_1} \cdot \delta_{1,i}$ và $\delta_{j,N} = \frac{z_j - z_1}{z_N - z_1} \cdot \delta_{N,i}$

là chuyển vị đường tham chiếu tại j do lún của ổ 1 và N do lực đơn vị tại i gây ra (xem Hình 2); còn $\delta_{j,i}$

với $\{j, i\} \neq \{1, N\}$ là độ võng biến dạng đàn hồi (sai lệch tâm trục so với đường 0'-0') tại j do lực đơn vị đặt ở i gây ra và được xác định từ biểu thức (1).

Thay các phương trình (3) vào (4) ta thu được $N-2$ phương trình dạng:

$$\delta_{j1} x_1 + \delta_{jN} x_N - \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq j}}^{N-1} \delta_{ji} C_i x_i - (\delta_{jj} C_j + 1) x_j = -\sum_{k=1}^K \delta_{jk} P_k + y_{0j}, \quad (5)$$

$$j=2 \dots N-1.$$

Trong đó: x_j là biến dạng của ổ thứ j (lún xuống có giá trị +, võng lên so với đường tham chiếu thực tế có giá trị -).

Thêm hai phương trình bổ sung nữa dựa trên điều kiện cân bằng về lực và mô men:

$$\sum_{i=1}^N R_i + \sum_{k=1}^K P_k = 0 \quad \text{và} \quad \sum_{i=1}^N l_i R_i + \sum_{k=1}^K l_k P_k = 0,$$

hoặc:

$$-\sum_{i=1}^N C_i x_i + \sum_{k=1}^K P_k = 0 \quad \text{và} \quad -\sum_{i=1}^N l_i C_i x_i + \sum_{k=1}^K l_k P_k = 0 \quad (6)$$

trong đó $l_i = z_i - z_1$, $l_i = z_i - z_1$, ta sẽ có đủ số phương trình để xác định N ẩn là các phản lực.

Từ (5) và (6) ta có thể biểu diễn hệ N phương trình tuyến tính trên ở dạng ma trận, trong trường hợp chọn ổ 1 và N làm chuẩn (về nguyên tắc có thể chọn 2 ổ bất kỳ):

$$\begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_j & \dots & C_N \\ -\delta_{2,1} & (\delta_{2,2} C_2 + 1) & \delta_{2,3} C_3 & \dots & \delta_{2,j} C_j & \dots & -\delta_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\delta_{i,1} & \delta_{i,2} C_2 & \dots & (\delta_{i,i} C_i + 1) & \dots & \delta_{i,j} C_j & \dots & -\delta_{i,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\delta_{N-1,1} & \dots & \dots & \dots & (\delta_{N-1,N-1} C_{N-1} + 1) & \dots & -\delta_{N-1,N} \\ l_1 C_1 & l_2 C_2 & \dots & l_j C_j & \dots & \dots & l_N C_N \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_j \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^K P_k \\ \sum_{k=1}^K \delta_{ik} P_k \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K \delta_{jk} P_k \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K l_k P_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ y_{02} \\ \dots \\ y_{0j} \\ \dots \\ y_{0,N-1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

hay viết ở dạng biểu tượng:

$$B \cdot x = P - Y_0 \quad (8)$$

và:

$$x = B^{-1} P - B^{-1} Y_0 \quad (9)$$

Trong đó: x và Y_0 là các véc tơ biểu thị biến dạng và dịch tâm ban đầu ở các ổ, trong trường hợp này ta chọn đường tham chiếu ban đầu là đường nối tâm ổ 1 và ổ N (tức offset ban đầu các ổ 1 và N bằng 0).

Do $R_j = -C_j x_j$ nên ta có thể viết (9) ở dạng

khác:

$$A \cdot R = P - Y_0 \quad (10)$$

hoặc $R = A^{-1} \cdot A^{-1} Y_0$. Trong trường hợp chỉ xét ảnh hưởng của các offset ban đầu tới phản lực của các gối thì:

$$\Delta R = -A^{-1} \cdot \Delta Y_0 \quad (11)$$

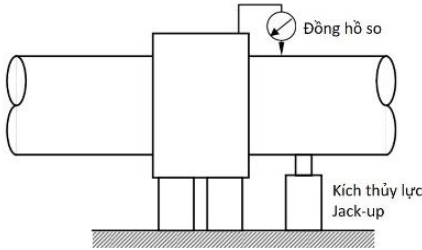
do đó ma trận $-A^{-1}$ là ma trận độ cứng của hệ trục (shafting stiffness matrix) còn được gọi là ma trận các hệ số ảnh hưởng.

Như vậy, nếu biết kết cấu đường trục (biết kích thước các đoạn trục, vị trí các gối và các khối lượng) và độ cứng của các gối đỡ C_i thì có thể xác định được ma trận B hoặc ma trận các hệ số ảnh hưởng $-A^{-1}$. Khi biết offsets ban đầu của các gối, giải phương trình (10) sẽ xác định được phản lực các gối R , hoặc ngược lại, có thể xác định được offsets ban đầu của các gối để có được phản lực các gối R mong muốn. Hoặc từ (11) có thể biết tăng chỉnh offsets ΔY_0 để được ΔR cần thiết.

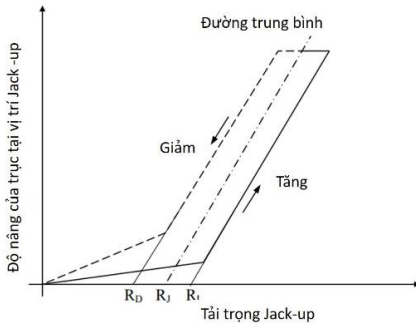
Trường hợp tính đến khe hở gối (khe hở dầu,...) thì phương trình (10) có các tham số như offsets ban đầu hoặc độ cứng có thể thay đổi. Ví dụ, nếu có phản lực âm ở một ổ thì offsets ban đầu của ổ đó được trừ đi một lượng bằng khe hở ổ đó - do trực tiếp xúc với mặt trên của ổ, hoặc khi ngừng trục không tiếp xúc với mặt bực thì độ cứng của gối đó được coi là bằng không.

3. Đo tải trọng gối bằng jack-up

Ở phương pháp này, các đoạn trục được ghép nối lại với nhau, nhưng các bộ đỡ máy chính và các ổ trục trung gian chưa được cố định. Bằng cách dùng một kích thủy lực, đặt kích tại một số điểm tính toán trước, thường gần các ổ cần xác định tải trọng lên nó, và đồng hồ so để đo chuyển vị. Bằng cách thay đổi các lực kích, ghi lại các giá trị lực và chuyển vị tại vị trí đặt kích (Hình 3) và vẽ được đường quan hệ Lực - Chuyển vị tại điểm đặt kích trong quá trình kích lên và hạ xuống (hai đường này không trùng nhau do tồn tại ma sát trong ở vật liệu trục), đường Lực - Chuyển vị được lấy là đường trung bình ở giữa hai đường lên và xuống. Nhờ những điểm gãy khúc ở các đường mà ta có thể xác định được các phản lực tại gối mà tại đó, cổ trục đã được nâng lên khỏi ổ (thường gần điểm đặt kích nhất), và ổ đó không còn chịu trọng lượng trục nữa (xem Hình 4).



Hình 3. Minh họa phương pháp định tâm bằng tải trọng gối (hay còn gọi là Jack-up) [1]



Hình 4. Các đường Chuyển vị - Lực kích của quá trình lên - xuống [1]

Giả sử ta đã xác định được ma trận độ cứng của hệ trục $-A^{-1}$. Từ phương trình (10), ta có thể viết phản lực các gối khi kê thêm tác dụng của Q_m như sau:

$$R = A^{-1}P + A^{-1}Q_m - A^{-1}Y_0$$

và sự thay đổi phản lực ở các gối giữa hai trạng thái: Khi chưa kích và khi lực kích đạt giá trị Q_{Break} tại điểm đường Lực-Chuyển vị bị gãy khúc (tải trọng P và offsets ban đầu không đổi) sẽ là:

$$\Delta R = A^{-1} \cdot \Delta Q_m \quad (12)$$

Trong đó ΔQ_m là ma trận cột có dạng:

$$\Delta Q_m^T = [1 \ \delta_{2m} \ \dots \ \delta_{im} \ \dots \ \delta_{N-1,m} \ l_m] \cdot Q_{Break} = \delta_{im} Q_{Break}$$

Phản lực ở gối i , thường gần điểm đặt kích, sẽ bằng:

$$\Delta R_i = A_i^{-1} \Delta Q_m \quad (13)$$

với A_i^{-1} là dòng thứ i của ma trận ảnh hưởng A^{-1}

(ΔR_i là thay đổi phản lực ở i khi chưa kích và khi lực

kích đạt giá trị Q_{Break} , khi đó phản lực ở i bằng 0).

Nếu hệ trục có N gối cần phải xác định tải trọng, thì cần chọn N điểm đặt kích và làm như trên N lần. Tuy vậy, không thể thực hiện điều này, ví dụ, ta không thể dùng cách này đối với các gối trục chong chóng ở trong ống bao. Thường chỉ có thể đặt kích lên trục trung gian và một vài khuỷu cuối động cơ.

Cũng có thể giảm số vị trí cần đo nhờ bỏ bớt gối đi, ví dụ không xét tới ảnh hưởng các gối phía mũi trong động cơ, hoặc coi đường tâm trục cơ là thẳng và xê dịch các gối trong động cơ đều có thể xác định thông qua gối đầu tiên và cuối cùng.

Nếu cần chính xác hơn, ta cũng có thể xác định tương quan xê dịch các gối trục cơ nhờ đo co bóp.

Để tiện trình bày, ta giả sử đường trục có n_e gối trong động cơ chính, một gối trục trung gian và 2 gối trục chong chóng, tổng cộng: $N=n_e+3$. Trong số N gối này thì có 2 gối (đầu tiên phía mũi và gối sau trục chong chóng) được chọn làm chuẩn và coi như có dịch tâm ban đầu bằng 0 (xem các phần tử véc tơ Y_0 trong (7)). Giả sử có thể xác định được dịch tâm của n_e-2 gối trong động cơ thông qua dịch tâm của gối sau cùng về phía lái y_{0,n_e}

(do giả thiết trục cơ thẳng). Như vậy, ta cần xác định được offset ban đầu của 3 gối nữa (của 1 gối trung gian $y_{0,in}$, gối trục chong chóng trước $y_{0,f}$ và sau cùng

của động cơ y_{0,n_e}). Véc tơ Y_0 có dạng:

$$[Y_0]^T = [0 \ a_2 \cdot y_{0,n_e} \ a_3 \cdot y_{0,n_e} \ \dots \ a_{n_e-1} \cdot y_{0,n_e} \ y_{0,n_e} \ y_{0,in} \ y_{0,f} \ 0]$$

trong đó các hệ số tỷ lệ a_i giả sử là đã được xác định.

Ba ẩn chưa biết ở trường hợp này sẽ là y_{0,n_e} , $y_{0,in}$

và $y_{0,f}$.

Để xác định được ba ẩn này ta dùng phương pháp Jack-up xác định được phản lực của ba gối (bao gồm phản lực ở ổ trung gian, gối trước trục chong chóng và gối cuối động cơ về phía lái) như mô tả ở trên: Đặt kích ở gần gối mà cần đo tải trọng, kích nó lên cho tới khi xuất hiện gãy khúc ở đường Lực - Chuyển vị và xác định được Q_{Break} . Nhờ công thức (13) ta sẽ xác định được phản lực cho ba gối này.

Nhờ xác định được phản lực của ba gối, số phản lực gối cần tìm còn lại là $N-3$ cùng ba ẩn chưa biết là offset ban đầu y_{0,n_e} , $y_{0,in}$ và $y_{0,f}$. Offsets của các gối còn lại trong động cơ từ gối số 2 cho đến gối $n_e - 1$ đều có thể xác định được thông qua y_{0,n_e} (vì

$y_{0,1} = 0$). Như vậy, hệ phương trình (10) gồm N phương trình và N ẩn nên có thể giải được. Sau khi xác định được phản lực tất cả các gối cũng như xê dịch ban đầu của chúng. So sánh các giá trị này với xê dịch gối ban đầu thiết kế (hoặc tải trọng thiết kế trên các gối) người ta sẽ xác định được cần hiệu chỉnh dịch tâm các gối như thế nào để đưa hệ trục về trạng thái mong muốn.

4. Xác định độ cứng các gối đỡ

Bên trên đã trình bày cách đo và xác định tải trọng các gối trong trường hợp biết được độ cứng của các gối đỡ, thường khoảng 4,000-5,000 (kN/mm) [1]. Trong phần này sẽ trình bày thuật toán xác định độ cứng các gối đỡ sau khi thực hiện Jack-up và thu được các đồ thị dạng như ở Hình 4, xác định được các giá trị Q_{Break} ở mỗi điểm đo cũng như độ dốc của đường Lực-Chuyển vị. Đối với mỗi vị trí đặt kích m ta sẽ xác định xác định được bằng tính toán các hệ số $\delta_{i,m}$, mm/kN, tức chuyển vị tại vị trí i do lực đơn vị đặt tại m gây ra. Độ

võng tại m khi có thêm lực kích Q_m sẽ là:

$$y_m = \sum_{i=1}^N \delta_{m,i} R_i + \sum_{k=1}^K \delta_{m,k} P_k + \delta_{m,m} Q_m$$

trong đó tổng $\sum_{i=1}^N \delta_{m,i} R_i$ là độ võng tại m do các

phản lực ở các ổ gây ra, $\sum_{k=1}^K \delta_{m,k} P_k$ là độ võng tại

m do các khối lượng trên trục gây ra và $\delta_{m,m} Q_m$ là chỉ do riêng lực Q_m . Khi lực Q_m thay đổi một lượng Q_{Break} thì độ võng tại m thay đổi (cũng chính là chỉ số đồng hồ so chỉ):

$$\Delta y_m = \sum_{i=1}^N \delta_{m,i} \Delta R_i + \delta_{m,m} Q_{Break} \quad (14)$$

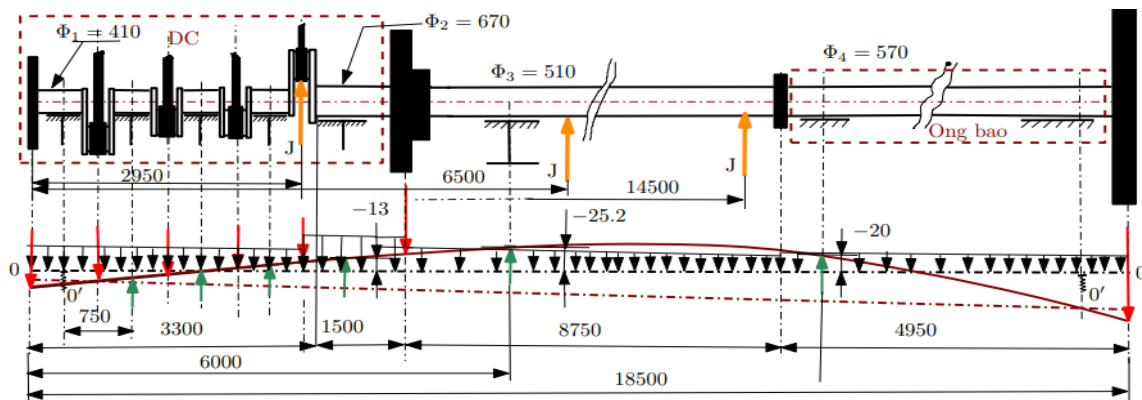
Mặt khác từ (12) biết $\Delta R = A^{-1} \cdot \Delta Q_m$ và $\Delta Q_m^T = \delta_{m,m} Q_{Break}$ nên (14) trở thành

$$\Delta y_m = \left[\sum_{i=1}^N \delta_{m,i} A^{-1} \delta_{i,m} + \delta_{m,m} \right] Q_{Break} \quad (15)$$

và độ dốc của đường Lực - Chuyển vị là:

$$\frac{dQ_m}{dy_m} = \frac{Q_{Break}}{\Delta y_m} = 1 / \left[\sum_{i=1}^N \delta_{m,i} A^{-1} \delta_{i,m} + \delta_{m,m} \right] \quad (16)$$

Phương trình (16) có các ẩn phải tìm là độ cứng các gối có mặt ở trong các phần tử ma trận A^{-1} , còn các phần tử xác định được tùy theo các vị trí đặt kích. Nếu hệ trục có M loại ổ có độ cứng khác nhau, để xác định được các ẩn thì ta phải thực hiện Jack-up ở M điểm khác nhau và lập được M phương trình dạng (16). Tác giả sử dụng gói Symbolic trong Matlab để lập phương trình này. Ví dụ tính toán sẽ được trình bày



Hình 5. Sơ đồ hệ trục và mô hình tính

trong phần sau.

Sau khi xác định được độ cứng các gối, sử dụng công thức (13) xác định được phản lực tại M gối, sau đó giải phương trình (10) để xác định phản lực của các gối còn lại và offsets ban đầu của tất cả các gối.

5. Tính toán ví dụ

Để minh họa, dưới đây sẽ trình bày một trường hợp tính ví dụ cho hệ trục động cơ chính 4 RTA 62U, tổng cộng có 8 gối đỡ gồm: 5 gối trong động cơ, một gối trung gian và hai gối trục chong chóng như Hình 5.

Các khối lượng: Các khối lượng tập trung của cơ cấu truyền động, piston + biên, bánh đà, bích nối và chong chóng [3.06 14.54 8 0.78 7.5] tấn; 4 đoạn trục đường kính và chiều dài như trên Hình 5. Vật liệu trục có khối lượng riêng $7,8\text{kg/dm}^3$, mô đun đàn hồi $E=2,2 \cdot 10^5\text{MPa}$.

Lấy gối 1 và gối 8 làm chuẩn (đường 0-0), trục động cơ thẳng và offset ban đầu của ổ cuối động cơ $y_{0,n_e} = -13\text{ mm}$, của ổ trung gian $y_{0,in} = -25,5\text{ mm}$ và của gối trước trục chong chóng $y_{0,f} = -20\text{ mm}$.

Giả sử độ cứng các gối từ số 1 đến số 4 là 4,000 kN/mm, sau đó lần lượt có giá trị bằng [4,5 5 5,5 6]. 10^3 kN/mm , kết quả tính phản lực gối thu được bằng [2,245 1,727 1,061 0,254 1,481 1,525] tấn.

Bây giờ, giả sử chưa biết độ cứng các gối, ta đặt chúng là các ẩn lần lượt từ động cơ đến gối sau trục chong chóng là: $[x \ x \ x \ x \ 4.5/4 \cdot x \ 5/4 \cdot x \ t \ s]$ (Để đơn giản, tạm coi các gối trong động cơ và trung gian thuộc một kiểu, độ cứng tỷ lệ với kích thước dài \times đường kính). Với các giả thiết như trên, khi ta tiến hành Jack up ở các điểm $z = (295 \ 650 \ 1450)\text{ cm}$ như biểu diễn trên Hình 5 thì thu được các đường quan hệ Chuyển vị - Lực với độ dốc dQ/dy như ở Hình 6 và thu được 6 phương trình dạng (16). Hệ phương trình này có 3 ẩn $\{x, t, s\}$ đều là bậc nhất đối với t và s :

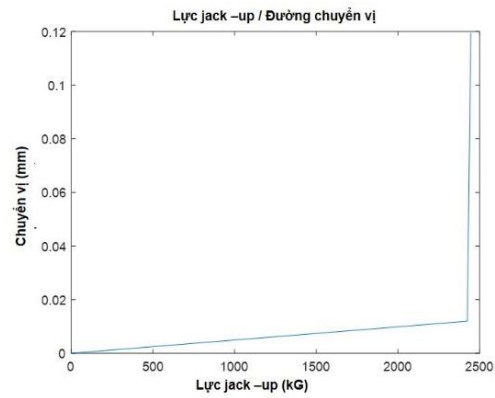
$$F_i(x, t, s) = f_{i,1}(x, t) \cdot s + f_{i,2}(x, t) = 0.$$

Nếu có đủ số phương trình cần thiết, ta có thể lần lượt rút các ẩn t và s ra và thu được một phương trình đối với x :

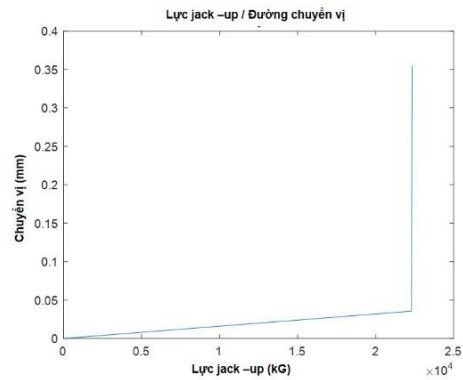
$$F(x) = F_1 x^n + F_2 x^{n-1} + \dots + F_n x + F_{n+1} = 0$$

và tìm được nghiệm $X = \text{roots}(F)$. Kết quả thu được $\{x, t, s\} = \{3999990 \ 5543348 \ 6000026\}\text{ kG/cm}$. (So với giá trị giả định ban đầu $[4 \ 5,5 \ 6] \cdot 10^6\text{ kG/cm}$).

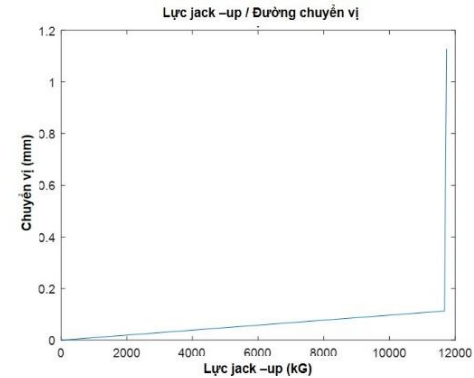
Sau khi xác định được độ cứng các gối, xác định được phản lực ở các gối 5, 6 và 7, giải phương trình (10) xác định được phản lực và offsets ban đầu của các ổ (kết quả khớp với giả thiết ban đầu).



a)



b)



c)

Hình 6. Kết quả jack up tính toán ở các điểm a) $z=2950$, b) 5500 và c) 14500

6. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng và áp dụng chương trình tính định tâm tàu thủy có tính đến khe hở gối, thuật toán tính độ cứng khi có kết quả jack-up, kết quả tính cho phép xác định phản lực ở các gối có thể đo được và xác định được phản lực, offsets ban đầu của tất cả các gối cũng như các giá trị cần hiệu chỉnh nhằm đảm bảo độ chính xác của phương pháp định tâm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số **DT22-23.14**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ClassNK (2006), *Guidelines on shafting alignment*.
[2] ABS (2018), *Guide for Enhanced Shaft Alignment*; American Bureau of Shipping.
[3] Lei Shi, et al (2010), *Research on shafting alignment considering ship hull deformations*, Marine Structures, Vol.23(1), pp.103-114.
doi: 10.1016/j.marstruc.2010.01.003.

- [4] Cui Leilei, et al (2021), *Optimization of Bearing Displacement in Ship Shafting Alignment Based on Workbench*, Journal of Physics: Conference Series, Vol.1939.

doi: 10.1088/1742-6596/1939/1/012099

- [5] Nguyễn Mạnh Thường (2011). *Đo và tính toán tải trọng các gối trục chong chống tàu thủy*. Tạp chí Giao thông vận tải, Số tháng 07/2011.

Ngày nhận bài:	06/3/2023
Ngày nhận bản sửa:	24/3/2023
Ngày duyệt đăng:	04/4/2023