

**BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI    BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**



**NGUYỄN THỊ THU LÊ**

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN  
HỆ DÂY NEO CÔNG TRÌNH BIỂN NỘI  
ĐẶT TẠI VÙNG BIỂN VIỆT NAM**

**Tóm tắt luận án tiến sĩ kỹ thuật**

**Ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực    Mã số: 9520116**  
**Chuyên ngành: Kỹ thuật tàu thủy**

**Hải Phòng – 2020**

Công trình được hoàn thành tại trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Lê Hồng Bang

2. PGS.TS. Đỗ Quang Khải

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Trường họp tại trường Đại học Hàng hải Việt Nam vào hồi giờ phút ngày tháng năm 2020.

Có thể tìm hiểu luận án tại Thư viện trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

## MỞ ĐẦU

### 1. LÝ DO NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI

Hiện nay, các công trình biển nổi (CTBN) ngày càng được sử dụng rộng rãi. Khi ở trạng thái khai thác, các CTBN được neo bằng hệ neo, do vậy hệ neo là kết cấu rất quan trọng của CTBN, đòi hỏi tính toán thiết kế cần có độ chính xác cao, đảm bảo khả năng giữ công trình trong các điều kiện cực hạn thiết kế, đồng thời tránh tổn thất, lãng phí vật liệu bởi các dây neo thường có chiều dài lớn.

- Quá trình thiết kế hệ neo thường tuân thủ theo các quy phạm phân cấp và hướng dẫn hiện hành. Để có thể thực hiện được các phương pháp và quy trình tính toán đưa ra trong các hệ thống quy phạm đòi hỏi nhà thiết kế phải sẵn có một chương trình tính toán chuyên dụng tính toán hệ dây neo. Các chương trình tính toán hệ dây neo hiện nay trên thế giới đều là các chương trình thương mại có giá khá đắt, nhưng bản chất học thuật của quá trình tính toán hệ dây neo đều chứa trong các “hộp đen”.

- Để thiết kế được những hệ neo CTBN hoạt động trong vùng biển có điều kiện môi trường khắc nghiệt yêu cầu người kỹ sư phải có sự hiểu biết hơn trong tính toán thiết kế CTBN.

- Trong lĩnh vực nghiên cứu CTBN, cần có những công trình nghiên cứu chuyên sâu về học thuật, từ đó góp phần chính xác hóa kết quả phân tích, giúp giảm thiểu rủi ro xảy ra, giảm chi phí trong quá trình lắp đặt, vận hành, khai thác công trình.

### 2. MỤC ĐÍCH CỦA ĐỀ TÀI

Mục đích của đề tài là xây dựng thuật toán và lập chương trình tính toán hệ dây neo CTBN với mô hình sát với điều kiện làm việc thực tế của hệ dây neo CTBN hoạt động tại vùng biển Việt Nam.

### 2. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN CỦA ĐỀ TÀI

- Mô hình toán và thuật toán mà đề tài đưa ra có thể áp dụng làm cơ sở trong tính toán động lực học hệ dây neo của các CTBN.

- Chương trình tính toán lực căng và chuyển vị của hệ dây neo CTBN theo mô hình không gian của đề tài là kết quả mang ý nghĩa thực tiễn trong tính toán hệ dây neo ở Việt Nam.

### 4. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

**Đối tượng nghiên cứu của đề tài:** Trọng tâm của đề tài là tính toán hệ dây neo vòng dạng một điểm neo ứng dụng cho các CTBN dạng FSO và FPSO hiện nay đang sử dụng nhiều ở vùng biển Việt nam.

**Phạm vi nghiên cứu:** Đề tài nghiên cứu thuật toán tính toán lực căng trong dây neo và chuyển vị của dây neo đối với loại dây neo vòng, một điểm neo, không có vật treo (vật nặng gia tải trên dây neo), khi đã biết giá trị tổ hợp lực tác dụng lên một CTBN có dây neo.

## **5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Nghiên cứu lý thuyết, xây dựng thuật toán và lập chương trình tính, kiểm nghiệm tính toán cho công trình thực tế bằng phần mềm có bản quyền.

## **6. BỐ CỤC LUẬN ÁN**

Luận án gồm 150 trang thuyết minh, trong đó có 23 bảng, 67 hình và đồ thị, tài liệu tham khảo, phần phụ lục.

### **NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN**

### **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TÍNH TOÁN**

#### **HỆ DÂY NEO CÔNG TRÌNH BIỂN NỘI**

Trong chương này tác giả trình bày khái quát về CTBN có dây neo, đặc điểm và phân loại các hệ dây neo CTBN. Phân tích các công trình nghiên cứu về tính toán dây neo trên thế giới và trong nước. Từ đó đưa ra nhận xét và định hướng về cách tính toán hệ dây neo CTBN tại Việt Nam.

#### **1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước**

Qua phân tích cho thấy trên thế giới chủ yếu sử dụng 2 nhóm mô hình để giải quyết bài toán tính toán tải trọng lên hệ dây neo: Mô hình thực nghiệm và mô hình lý thuyết. Trong đó mô hình thực nghiệm được sử dụng là mô hình lò xo cho phép điều chỉnh được độ cứng của dây neo, làm thay đổi độ dài và ảnh hưởng đến động học dây neo, nhưng trong trường hợp nước sâu do bề thử có chiều dài là hạn chế nên không loại trừ hết được ảnh hưởng của nền đáy biển đến công trình. Với mô hình lý thuyết thường sử dụng mô hình toán học đã thực hiện tính toán được lực căng cũng như xác định quỹ đạo của dây neo. Mô hình toán học đã được kiểm nghiệm trong quá trình nghiên cứu và các kết quả cơ bản có thể áp dụng được trong việc giải bài toán tính toán hệ neo giữ CTBN. Trong mô hình toán, các phương pháp số được áp dụng tính toán hệ dây neo, đó chính là cơ sở để xây dựng các phần mềm tính dây neo nổi tiếng như MIMOSA, OCARFLEX,...tuy nhiên đó đều là các phần mềm thương mại có bản quyền có giá thành khá đắt, mà học thuật không được công bố.

#### **1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Đối với tàu biển, hệ thống neo được tính chọn theo quy phạm là chủ yếu. Tính toán hệ thống neo cho những CTBN có kích thước lớn và hoạt động ở ngoài khơi chưa được đề cập cụ thể trong quy phạm cũng như áp dụng trong tính toán ở Việt Nam. Một số các phương pháp tính toán dây neo CTBN đang lưu hành tại Việt Nam như: Tính toán dây neo theo quy trình hướng dẫn thiết kế của Nga, tính toán đường dây neo đơn có hoặc không kể đến biến dạng đàn hồi vật liệu dây neo, còn đề xác định sự phân phối lực căng lên các cặp dây neo có thể dùng tiêu chuẩn thực hành ARGEMA của Pháp. Các phương pháp này đều dựa trên một nguyên tắc chung là:

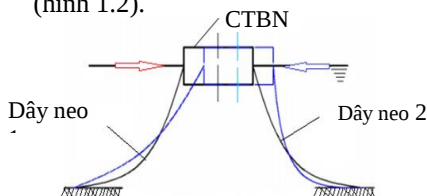
- Tách riêng một phần tử dây neo;
- Xét phương trình cân bằng tĩnh của phần tử, từ đó xét cho cả dây neo;
- Áp đặt điều kiện biên;
- Giải phương trình, tính chiều dài tối thiểu của dây neo;

- Tính lực căng ngang trong dây neo.

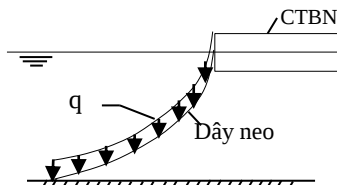
Với các cách tính toán này tồn tại một số hạn chế là:

- Đã đơn giản hóa bài toán tính hệ dây neo về mô hình bài toán phẳng, tức là giả thiết công trình được neo với số lượng dây neo chẵn, đối xứng qua mặt phẳng vuông góc với hướng tác dụng của môi trường; Tải trọng tổ hợp của môi trường biến tác dụng lên công trình có phương không đổi và trùng với mặt phẳng 1 cặp dây (hình 1.1);

- Bỏ qua tải trọng sóng và dòng chảy tác dụng trực tiếp lên dây neo mà chỉ xét chịu tải trọng từ kết cấu nổi và tải trọng trọng lượng bản thân của dây neo (hình 1.2).



Hình 1.1. Mô hình bài toán phẳng dây neo



Hình 1.2. Dây neo chịu trọng lượng bản thân

Ngoài ra, cũng chưa giải quyết tổng quát bài toán đường dây neo đơn, ở đó mới chỉ xét trường hợp khi dây neo chùng, chưa xét các trường hợp góc căng dây neo có giá trị khác không. Trong một số công thức tính bỏ qua độ biến dạng đàn hồi. Tính toán hệ dây neo theo tiêu chuẩn thực hành có độ chính xác không cao và chỉ phù hợp trong một điều kiện thiết kế nhất định.

**Nhận xét:** Các nghiên cứu tính toán dây neo đang sử dụng ở Việt Nam, mới chỉ dừng ở **mô hình bài toán phẳng, tính lực học dây neo, được giải quyết bằng phương pháp giải tích**. Với cách tính toán này sẽ không phản ánh đúng được sự làm việc của hệ dây neo, không xác định được giá trị lực căng xuất hiện trong từng dây neo vì vậy sẽ dẫn đến thiết kế dây neo không đạt độ chính xác, không sát với điều kiện làm việc thực tế của hệ dây neo. Để giải quyết vấn đề này, luận án sẽ tập trung nghiên cứu tính toán hệ dây neo qua những vấn đề sau:

- ✓ Nghiên cứu điều kiện làm việc của hệ dây neo CTBN, các loại tải trọng tác dụng lên hệ dây neo;
- ✓ Xây dựng mô hình tính toán sát với điều kiện làm việc của hệ dây neo;
- ✓ Xây dựng thuật toán bằng phương pháp Phần tử hữu hạn (PTHH) và lập chương trình máy tính MOORING\_2017 tính toán lực căng và chuyển vị trong bài toán động lực học dây neo chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên theo miền thời gian;
- ✓ Kiểm nghiệm độ tin cậy của thuật toán thông qua phần mềm có bản quyền OCARFLEX của Orcina Ltd.

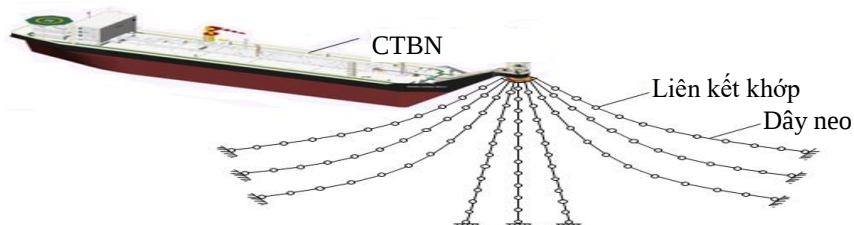
## CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Trong chương này, tác giả đưa ra mô hình bài toán, từ đó phân tích các cơ sở lý thuyết sẽ áp dụng để giải quyết bài toán, bao gồm phân tích dây neo

khi dây neo khi chịu tải trọng bản thân, phân tích lý thuyết sóng, lý thuyết dòng chảy, phương pháp Newmark.

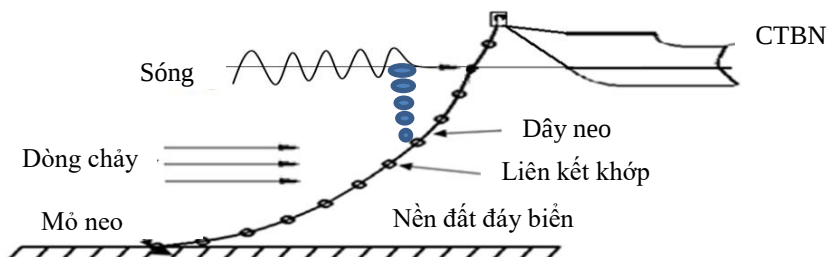
## 2.1. Mô hình hóa bài toán tính hệ dây neo

Mô hình hóa hệ dây neo thành một hệ giàn không gian gồm các phần tử liên kết với nhau thông qua các khớp (hình 2.1).



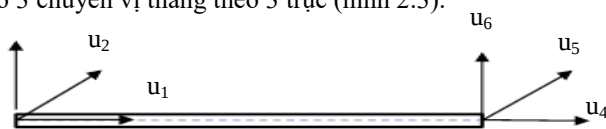
**Hình 2.1. Mô hình không gian hệ dây neo CTBN dạng neo một điểm**  
**2.1.1. Phân tích tải trọng tác dụng lên dây neo**

Tải trọng tác dụng lên mỗi dây neo bao gồm: tải trọng bản thân của dây neo, tải trọng từ CTBN được neo, tải trọng sóng và tải trọng dòng chảy tác dụng trực tiếp lên dây neo (hình 2.2).



**Hình 2.2. Mô hình hóa một dây neo thành các phần tử liên kết khớp**  
**2.1.2. Phân tích một phần tử dây neo**

Hệ dây neo là hệ mềm, có thể mô hình hóa sự liên kết giữa các phần tử là các liên kết khớp, vì vậy các phần tử thanh của dây neo sẽ được đặt vào hệ không gian gọi là hệ giàn không gian, là một hệ gồm các thanh chịu kéo nén dọc trục hay nói cách khác là chịu biến dạng dọc trục, một phần tử thanh giàn không gian có liên kết khớp ở 2 đầu chỉ có biến dạng dọc trục, có 6 bậc tự do, tại mỗi nút sẽ có 3 chuyển vị thẳng theo 3 trục (hình 2.3).



**Hình 2.3. Phần tử thanh giàn không gian trong hệ tọa độ địa phương**

Phương của phần tử dây neo bất kỳ  $j$  được xác định bởi các cosin chỉ phương:  $C_{xj}$ ,  $C_{yj}$ ,  $C_{zj}$ .

### 2.1.3. Điều kiện biên của hệ

Tại vị trí chân neo liên kết giữa dây neo và mỏ neo được coi là ngàm cố khớp, có 3 chuyển vị thẳng bị chặn. Tại vị trí đầu dây neo liên kết với giá chặn xích coi là ngàm trượt có 1 chuyển vị thẳng theo phương  $z$  bị chặn. Những vị trí đầu dây neo nằm trên mặt đất có chuyển vị bị chặn theo phương  $z$ .

### 2.2. Công thức Morison

Để xác định tải trọng sóng và tải trọng dòng chảy tác dụng trực tiếp lên phần tử dây neo, có thể sử dụng công thức Morison.

Tải trọng phân bố vuông góc và dọc trục với trục phần tử thanh:

$$\begin{cases} q_{nx} = C_M \rho_n A a_{nx} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{nx}| v_{nx} \\ q_{ny} = C_M \rho_n A a_{ny} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{ny}| v_{ny} \\ q_{nz} = C_M \rho_n A a_{nz} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{nz}| v_{nz} \end{cases} \quad \begin{cases} q_{tx} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{tx}| v_{tx} \\ q_{ty} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{ty}| v_{ty} \\ q_{tz} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{tz}| v_{tz} \end{cases} \quad (2.1)$$

$\rho_n$ - khối lượng riêng của nước,  $\text{kg/m}^3$ ;  $A$  - diện tích tiết diện ngang của thanh,  $\text{m}^2$ ;  $D$  - kích thước của tiết diện thanh,  $\text{m}$ ;  $v_t, v_n, a_n$ - vận tốc và gia tốc của phần tử nước;  $C_M$ - hệ số lực quán tính;  $C_D$ - hệ số lực cản.

### 2.3. Lý thuyết sóng thực

Để mô tả quá trình ngẫu nhiên của sóng biển, trong luận án sử dụng phương pháp phổ sóng: coi quá trình ngẫu nhiên của tung độ sóng  $\eta$  là những quá trình ngẫu nhiên dừng. Trạng thái của quá trình ngẫu nhiên  $\eta(t)$  phụ thuộc vào thời gian nên có thể mô tả một cách đầy đủ bằng hàm mật độ phổ, ký hiệu là  $S_{\eta\eta}(\omega)$ . Hai phổ sóng thường dùng là phổ Pierson - Moskowitz (P-M) và phổ Jonswap.

Phương trình mặt sóng ngẫu nhiên:

$$\eta(x, t) = \sum_{i=1}^N (a_{s_i} \cdot \cos(k_i x - \omega_i \cdot t + \alpha_i)), \quad (2.2)$$

$a_{s_i}$ - biên độ sóng;  $k_i$ - số sóng;  $\omega_i$ - tần số sóng;  $\alpha_i$ - góc lệch pha ngẫu nhiên.

Từ đó xác định các thông số động học của sóng ngẫu nhiên:

$$v_x(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{a_{s_i}}{\omega_i} \frac{g k_i}{\cosh(k_i d)} \cosh[k_i(z + d)] \cos(k_i x - \omega_i t + \alpha_i) \right]. \quad (2.3)$$

$$v_z(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{a_{s_i}}{\omega_i} \frac{g k_i}{\cosh(k_i d)} \sinh[k_i(z + d)] \sin(k_i x - \omega_i t + \alpha_i) \right]. \quad (2.4)$$

$$a_x(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ a_{s_i} \frac{g k_i}{\cosh(k_i d)} \cosh[k_i(z + d)] \sin(k_i x - \omega_i t + \alpha_i) \right]. \quad (2.5)$$

$$a_z(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ a_{s_i} \frac{g k_i}{\cosh(k_i d)} \sinh[k_i(z + d)] \cos(k_i x - \omega_i t + \alpha_i) \right]. \quad (2.6)$$

$d$  - độ sâu nước,  $\text{m}$ ;  $N$  - số con sóng.

### 2.4. Sự phân bố vận tốc dòng chảy theo độ sâu nước

Dòng chảy gồm dòng chảy do gió và dòng chảy triều:

$$V_{dc}(z) = V_{dc}^{tr}(z) + V_{dc}^g(z) \quad (2.7)$$

Khi có số liệu dòng chảy mặt và dòng chảy đáy, có thể thiết lập quy luật thay đổi của vận tốc dòng chảy theo độ sâu sau đó tính nội suy vận tốc dòng chảy tại độ sâu  $z$  bất kỳ, từ đó xác định tải trọng dòng chảy.

## 2.5. Phương trình dao động tổng quát của hệ

Trong tính toán dao động, hệ phương trình dao động có dạng:

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = \{F_t\}, \quad (2.8)$$

$u$  - véc tơ chuyển vị nút;  $[K]$  - ma trận độ cứng của hệ;  $[M]$  - ma trận khối lượng của hệ;  $[C]$  - ma trận cản nhớt của hệ;  $\{F_t\}$  - véc tơ tải trọng nút của hệ.

## 2.6. Xây dựng các ma trận và véc tơ tải trọng phần tử

$$\text{Ma trận khối lượng: } [m]_e = \frac{\rho A l}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

$l$  - chiều dài phần tử đang xét, m.

Ma trận độ cứng: Dây neo là kết cấu có chuyển vị lớn, do đó ma trận độ cứng của kết cấu bao gồm **ma trận độ cứng đàn hồi** và **ma trận độ cứng hình học**.

$$[k]_e = [k_e] + [k_g]_e, \quad (2.10)$$

$$[k_e]_e = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [k_g]_e = \frac{T}{l} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$E$  – mô đun đàn hồi vật liệu, kN/m<sup>2</sup>.

Nhận thấy  $[k_g]$  phụ thuộc vào lực căng  $T$ , do vậy hệ phương trình cân bằng nút có dạng  $x=f(x)$  là hệ phương trình phi tuyến, để giải hệ này tác giả sẽ dùng phương pháp lặp.  $[C]$  là tổ hợp tuyến tính của  $[M]$  và  $[K]$ .

$$\text{Véc tơ tải trọng nút: } \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{1x} + \left(P_{2x} - \frac{P_{3x} + P_{6x}}{l}\right) \\ P_{1y} + \left(P_{2y} - \frac{P_{3y} + P_{6y}}{l}\right) \\ P_{1z} + \left(P_{2z} - \frac{P_{3z} + P_{6z}}{l}\right) \\ P_{4x} + \left(P_{5x} + \frac{P_{3x} + P_{6x}}{l}\right) \\ P_{4y} + \left(P_{5y} + \frac{P_{3y} + P_{6y}}{l}\right) \\ P_{4z} + \left(P_{5z} + \frac{P_{3z} + P_{6z}}{l}\right) \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

$P_1$  đến  $P_6$  theo  $x, y, z$  - véc tơ lực nút của phần tử khung phẳng có liên kết cứng.

## 2.7. Phương pháp tích phân trực tiếp phương trình vi phân theo Newmark

Để giải phương trình vi phân dao động của kết cấu theo miền thời gian, trong luận án sử dụng phương pháp Newmark. Thuật giải tổng quát:

-Chuyển phương trình vi phân xuất phát với biến liên tục  $t$  về hệ phương trình sai phân với biến thời gian  $t$  đã được rời rạc hoá, trong đó  $t$  là khoảng thời gian cần quan sát đối với các phản ứng động của hệ;

-Giải phương trình vi phân theo phương pháp truy hồi: Thuật toán truy hồi phải giả thiết các điều kiện ban đầu về chuyển vị, vận tốc, gia tốc;

Với mỗi số gia về lực xác định được số gia chuyển vị:

$$\{\Delta u\}_{t+\Delta t} = [\bar{K}]^{-1} \{\Delta F\}_{t+\Delta t} \quad (2.13)$$

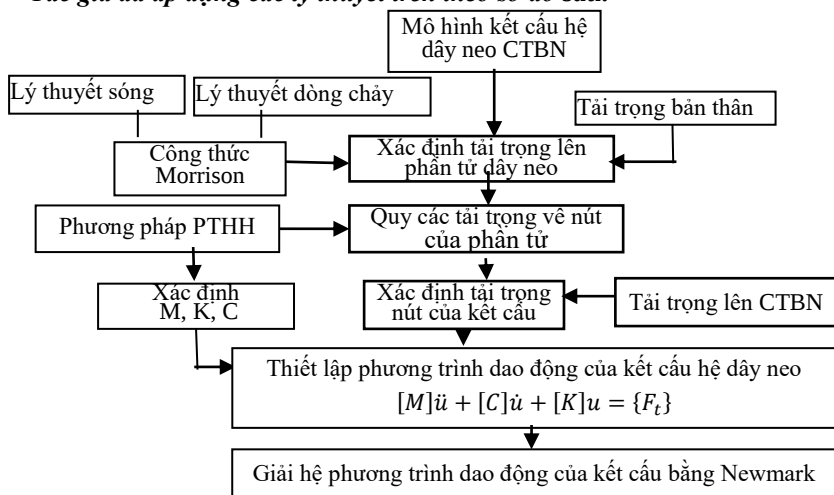
$[\bar{K}]$ - ma trận độ cứng hữu ích của hệ.

Hiệu chỉnh số gia chuyển vị, vận tốc và gia tốc:

$$\{u\}_{t+\Delta t} = \{u\}_{t+\Delta t} + \{\Delta u\}_{t+\Delta t} \quad (2.14)$$

$$\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{u}\}_{t+\Delta t} + a_1 \{\Delta u\}_{t+\Delta t}; \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} + a_0 \{\Delta u\}_{t+\Delta t} \quad (2.15)$$

**Tác giả đã áp dụng các lý thuyết trên theo sơ đồ sau:**



**Kết luận chương:** Trong chương này tác giả đã thực hiện được:

- Đưa ra mô hình tính toán hệ dây neo là mô hình giàn không gian;
- Phân tích cơ sở lý thuyết sóng, dòng chảy, công thức Morison;
- Xây dựng các ma trận phụ trợ, kỹ thuật quy tải trọng về nút của phần tử giàn không gian có liên kết khớp từ phần tử thanh có liên kết cứng;
- Phân tích phương pháp Newmark để giải hệ phương trình vi phân dao động của kết cấu hệ dây neo theo miền thời gian.

### CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN TÍNH TOÁN HỆ DÂY NEO CÔNG TRÌNH BIỂN NỘI THEO MÔ HÌNH KHÔNG GIAN

Dựa trên quan điểm phân tích động lực học kết cấu: Nội lực được xác định cân bằng với ngoại lực có xét đến lực quán tính và lực cản nhớt. Trong luận án đã áp dụng xây dựng thuật toán theo trình tự:

- Tính toán động học thông số sóng ngẫu nhiên; Tính toán tải tác dụng lên phần tử dây neo;

- Quy các tải trọng này về nút theo phương pháp PTHH; Tải trọng do công trình nổi tác dụng lên hệ dây neo sẽ được cộng với tải trọng nút tại đầu dây neo;

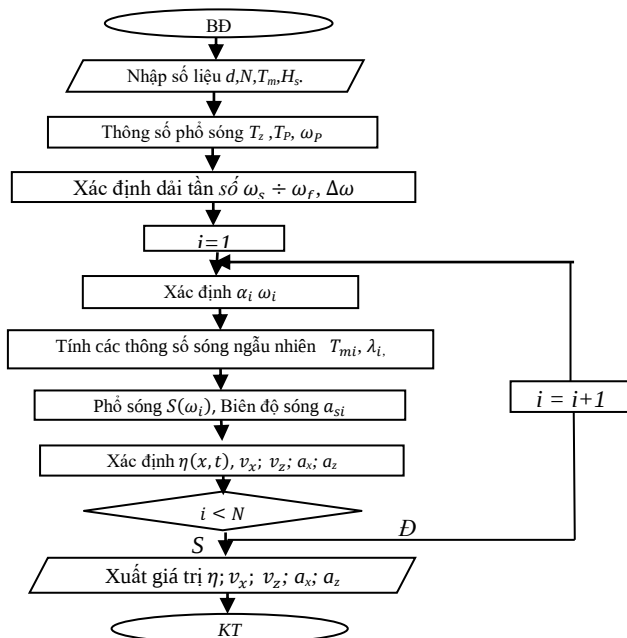
- Thiết lập hệ số hệ phương trình vi phân dao động; Áp dụng phương pháp Newmark giải hệ phương trình vi phân phi tuyến theo miền thời gian.

### 3.1. Thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên và tính toán các thông số động học của sóng ở vùng biển Việt Nam (hình 3.1)

Tác giả sử dụng 2 dạng phổ là phổ P-M và phổ Jonswap.

-Phổ P-M: thích hợp để xử lý thống kê thông số sóng ở biển Việt Nam.

-Phổ Jonswap: phổ thường sử dụng ở vùng biển Bắc và được các công ty thiết kế công trình biển thường sử dụng.



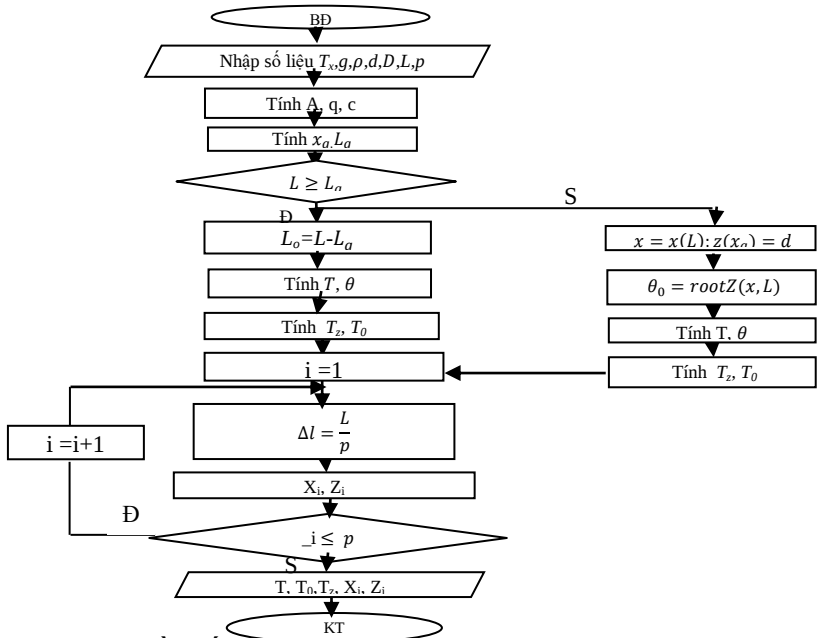
**Hình 3.1. Sơ đồ khối thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên**

Thuật toán thực hiện qua các bước:

1. Từ bảng tần suất phân bố sóng ta có giá trị chiều cao sóng đáng kể  $H_s$  và chu kỳ sóng trung bình  $T_m$ , số con sóng  $N$ , chiều sâu nước  $d$ ;
2. Xác định chu kỳ cắt không  $T_z$ ;
3. Xác định chu kỳ đỉnh phổ  $T_p$ ;
4. Xác định tần số đỉnh phổ  $\omega_p$ ;
5. Phổ sóng được lấy trong khoảng từ  $\omega_s$  đến  $\omega_f$ ;

6. Tính  $\Delta\omega$ ;
7. Bắt đầu vòng lặp: Với con sóng thứ  $i$ ,  $i = 1$ ;
8. Gieo số ngẫu nhiên  $\alpha_i$  trong khoảng từ  $\omega_s$  đến  $\omega_f$ , bằng hàm *runif*;
9. Với mỗi một  $\omega_i$  ta tính được chu kì con sóng thứ  $i$ ;
10. Xác định chiều dài sóng của con sóng thứ  $i$ ;
11. Xác định số sóng  $k_i$ ;
12. Xác định phổ P-M và phổ Jonswap;
13. Xác định biên độ sóng;
14. Xác định mặt sóng ngẫu nhiên;
15. Xác định các thông số động học của sóng;
16. Thực hiện cho đến khi  $i=N$ , kết thúc vòng lặp, xuất kết quả đồ thị thể hiện mặt sóng ngẫu nhiên và thông số động học của sóng ngẫu nhiên;
17. Kết thúc chương trình.

### 3.2. Thuật toán tính dây neo đơn khi dây neo chịu tải trọng bản thân



**Hình 3.2. Sơ đồ khối thuật toán tính toán đường dây neo đơn**

Thuật toán thực hiện qua các bước sau:

1. Nhập số liệu ban đầu:  $T_x, g, \rho, L, D, d$ , số đoạn dây neo  $p$ ;
2. Tính tiết diện dây neo;
3. Xác định trọng lượng đoạn dây neo  $q$ ;
4. Tính giá trị  $c$  theo công thức:  $c = T_x/q$
5. Xét dây neo ở vị trí tối hạn, khi góc nghiêng dây neo tại chân neo  $\theta_0 = 0$ , xác định tọa độ  $x_0$ ;
6. Từ  $x_0$  xác định chiều dài dây neo giới hạn  $L_0$ ;

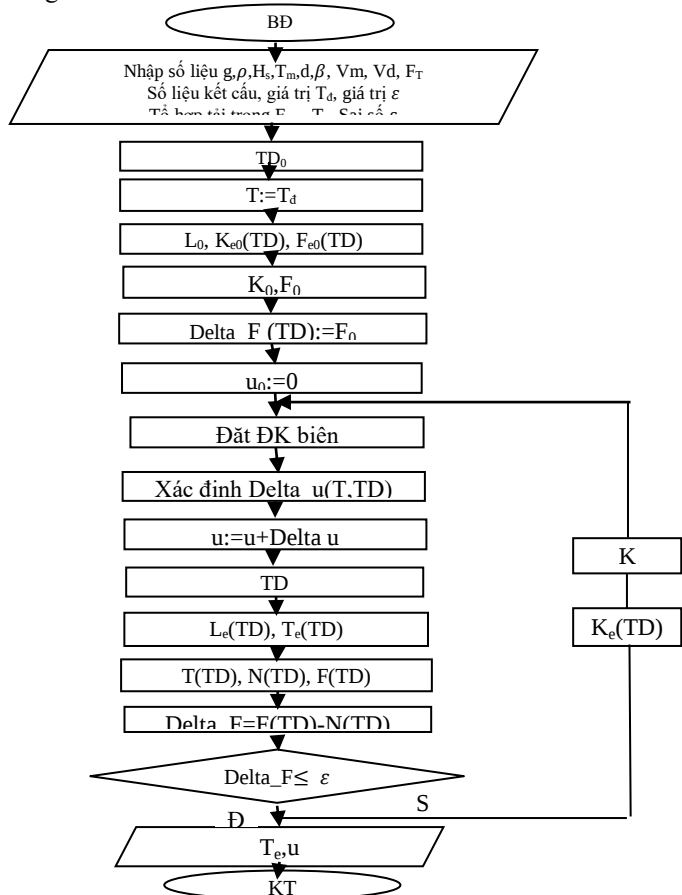
7. So sánh  $L$  và  $L_g$ ; nếu  $L \geq L_g$  là trường hợp dây neo chùng, ta thực hiện bước 8, nếu ngược lại là trường hợp dây neo bị căng thì thực hiện bước 13;
8. Xác định được đoạn dây neo nằm trên mặt đất  $L_0 = L - L_g$ ;
9. Xác định lực căng đầu dây neo với  $\tan(\theta_0) = 0$ ;
10. Xác định góc nghiêng của dây neo tại điểm nối với giá chặn xích  $\theta$ ;
11. Xác định giá trị lực theo phương đứng ở đầu dây neo  $T_z$ ;
12. Xác định được lực căng tại chân dây neo,  $T_0$ ;
13. Khi góc  $\theta_0 \neq 0$ ,  $z = d$ , xác định góc  $\theta_0$  bằng hàm *root* trong Mathcad với  $x = x(L)$ ;  $z(x_g) = d$ ;
14. Xác định lực căng đầu dây neo,  $T$ ;
15. Xác định góc nghiêng của dây neo tại điểm nối với giá chặn xích  $\theta$ ;
16. Xác định giá trị lực theo phương đứng ở đầu dây neo  $T_z$ ;
17. Xác định được lực căng tại chân dây neo,  $T_0$ ;
18. Bắt đầu vòng lặp với  $p$  đoạn dây neo,  $i=1$  đến  $p$ , xác định tọa độ  $x, z$ ;
19. Khi  $i = p$ , kết thúc vòng lặp. Xuất các giá trị  $T, T_z, T_0, x_i, z_i$ ;
20. Kết thúc chương trình.

### 3.3. Thuật toán tính toán tĩnh lực học hệ dây neo mô hình không gian

Thuật toán thực hiện qua các bước:

1. Nhập số liệu: Số liệu môi trường:  $g, H_s, T_m, d, V_m, V_d, \rho, \beta$ ; Số liệu tải trọng tổ hợp:  $F_T$ ; Số phân tử, chỉ số nút; Đặc trưng phân tử dây neo: đặc trưng hình học và đặc trưng vật liệu; Điều kiện cân bằng nút  $\varepsilon$ .
2. Xác định véc tơ tọa độ nút phân tử  $TD_0, TD$ ;
3. Giả định lực căng ban đầu:  $T_0 = T_d, T$ ;
4. Xác định véc tơ chiều dài phân tử ban đầu phụ thuộc tọa độ nút:  $L_0, L$
5. Xác định ma trận độ cứng phân tử ( $K_{e0}$ ): gồm ma trận độ cứng đàn hồi và ma trận độ cứng hình học theo tọa độ nút và lực căng;
6. Xác định véc tơ tải trọng nút  $F_{e0}(TD)$ ;
7. Chuyển  $F_{e0}(TD)$  và  $K_{e0}(TD)$  của phân tử sang hệ tọa độ tổng thể:
8. Gán  $\Delta F(TD) = F_0$ ;
9. Cho giá trị chuyển vị ban đầu là 0;
10. Xử lý điều kiện biên, xóa dòng, cột ở ma trận tại các chuyển vị bị chặn;
11. Xác định chuyển vị  $\Delta u(T, TD)$ : Giải phương trình tìm chuyển vị;
12. Chuyển vị mới được cộng dồn:  $u = u + \Delta u$ ;
13. Xác định tọa độ mới của nút phân tử  $TD$  với chuyển vị mới tìm được;
14. Xác định chiều dài phân tử theo tọa độ mới  $L_e(TD)$ ;
15. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ  $T_e(TD)$  theo tọa độ mới  $TD$ ;
16. Xác định lực căng  $T(L, TD)$  theo tọa độ mới  $TD$  từ chuyển vị mới;
17. Xác định véc tơ nội lực tại các nút trong hệ tọa độ tổng thể  $N(TD)$ ;
18. Xác định véc tơ tải trọng nút  $F(TD)$  theo hệ tọa độ mới;
19. Tính sai số  $\Delta F = F(TD) - N(TD)$ ;
20. Kiểm tra điều kiện cân bằng nút:  $\Delta F \leq \varepsilon$ : nếu sai thì thực hiện bước 21, nếu đúng thì thực hiện bước 24.
21. Xác định ma trận độ cứng phân tử  $K_e(TD)$  theo tọa độ nút, lực căng mới.
22. Chuyển ma trận độ cứng  $K_e(TD)$  phân tử sang hệ tọa độ tổng thể;
23. Lặp lại bước 10;

24. Nếu đạt sai số ( $\Delta F$ ) cho phép thì thực hiện dòng tiếp;  
 25. Xuất kết quả nội lực, chuyển vị;  
 26. Kết thúc chương trình.



**Hình 3.3. Sơ đồ khối thuật toán tính tĩnh lực học hệ dây neo**

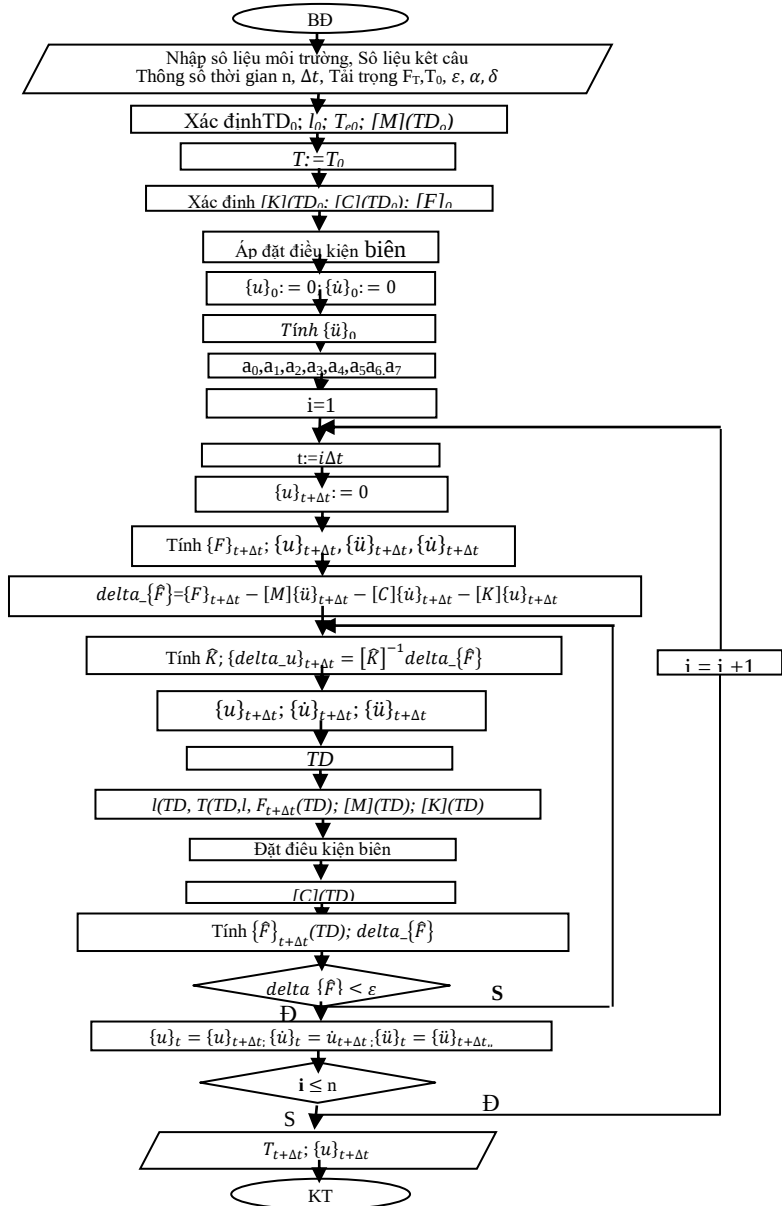
### 3.4. Thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo mô hình không gian

Thuật toán thực hiện qua các bước:

#### Xác định thông số ban đầu

1. Số liệu môi trường, số phần tử dây neo, chỉ số nút, đặc trưng phần tử, thông số về thời gian, tải trọng tổ hợp, giá trị  $\varepsilon$ , tham số  $\alpha, \delta$ .
2. Xác định véc tơ tọa độ nút phần tử  $TD_0$ ,  $TD = TD_0$ : Từ đặc trưng phần tử, sơ đồ kết cấu xác định véc tơ tọa độ nút phần tử, thực hiện thuật toán tĩnh khi hệ dây neo ở vị trí cân bằng ta xác định được tọa độ ban đầu  $TD_0$ ;
3. Xác định véc tơ chiều dài phần tử ban đầu phụ thuộc tọa độ nút:  $l_0, l = l_0$ ;
4. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ  $T_{e0}$ :

5. Xác định ma trận khối lượng  $[M]$  :
6. Giả định lực căng ban đầu,  $T_0$ :  
- $T_0$  được lấy là kết quả của thuật toán tính để bài toán nhanh hội tụ;
7. Xác định ma trận độ cứng  $[K]$
8. Xác định ma trận cản nhớt  $[C]$ :
9. Xác định véc tơ tải trọng nút  $\{F\}_0$ :
10. Xử lý điều kiện biên:
11. Vào số liệu điều kiện ban đầu:  $\{u\}_0, \{\dot{u}\}_0: \{u\}_0 = 0, \{\dot{u}\}_0 = 0$ ;
12. Tính  $\{\ddot{u}\}_0$  theo công thức của phương trình dao động;
13. Tính các hệ số  $a_0$  đến  $a_7$ ;
14. Thực hiện vòng lặp theo thời gian  $t, n$  bước thời gian, gia số  $\Delta t$ ;  
**Vòng lặp theo bước thời gian  $\Delta t$**
15. Tính lần lượt trong  $n$  bước thời gian,  $i=1$  đến  $n$ ;
16. Trong mỗi một bước thời gian gán  $\{u\}_{t+\Delta t} = 0$ ;
17. Xác định véc tơ tải trọng nút tại thời điểm  $t+\Delta t$ ;
18. Xác định  $\{u\}_{t+\Delta t}, \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t}, \{\dot{u}\}_{t+\Delta t}$ ;
19. Gán  $\text{delta}_{\{\ddot{F}\}} = \{F\}_{t+\Delta t} - [M]\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} - [C]\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} - [K]\{u\}_{t+\Delta t}$ ;  
**Vòng lặp tìm chuyển vị và lực căng**
20. Xác định ma trận độ cứng hữu ích:
21. Xác định số gia chuyển vị tại thời điểm  $t + \Delta t$ ;
22. Hiệu chỉnh chuyển vị, vận tốc, gia tốc:
23. Xác định tọa độ mới của nút phần tử  $TD$ :  
- Từ chuyển vị mới xác định vị trí tọa độ mới của phần tử.
24. Xác định chiều dài phần tử theo tọa độ mới  $l(TD)$ ;
25. Xác định lực căng theo tọa độ mới  $T(TD, L)$ :  
- Từ chuyển vị mới, hệ tọa độ nút mới tính lực căng theo tọa độ mới.
26. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ  $T_e(TD)$  theo tọa độ mới;
27. Xác định véc tơ tải trọng nút  $\{F\}_{t+\Delta t}$  theo tọa độ mới;
28. Xác định ma trận  $[K], [M]$  theo tọa độ mới,  $[K](TD), [M](TD)$ ;
29. Chuyển các ma trận  $[M], [K]$  về hệ tọa độ tổng thể của kết cấu;
30. Áp đặt điều kiện biên;
31. Xác định các ma trận cản nhớt  $[C](TD)$  theo tọa độ mới;
32. Tính  $\{F\}_{t+\Delta t}$  theo tọa độ mới;
33. Xác định lại gia số lực hữu ích  $\text{delta}_{\{\ddot{F}\}}$  khi đã có chuyển vị;
34. Kiểm tra sai số  $\text{delta}_{\{\ddot{F}\}} \leq \varepsilon$  nếu đạt yêu cầu kết thúc vòng lặp thực hiện bước 35, nếu không đạt quay lại thực hiện bước 20;
- Kết thúc vòng lặp tìm chuyển vị và lực căng**
35. Để thực hiện vòng lặp, chuyển vị ban đầu tại một bước thời gian bằng 0, gán  $\{u\}_t = \{u\}_{t+\Delta t}; \{\ddot{u}\}_t = \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t}; \{\dot{u}\}_t = \{\dot{u}\}_{t+\Delta t}$ ;
36. Tăng bước thời gian  $i = i+1$  tức là  $t = t+\Delta t$ ;
37. Nếu  $i \leq n$  tiếp tục tăng bước thời gian lặp lại bước 15 cho đến khi  $i > n$  thì sang bước 38;
- Kết thúc vòng lặp theo bước thời gian  $\Delta t$**
38. Xuất các giá trị kết quả;
39. Kết thúc chương trình.



**Hình 3.4. Sơ đồ khối thuật toán tính động lực học hệ dây neo**  
**Kết luận chương:** Ở chương này, tác giả đã thực hiện được:

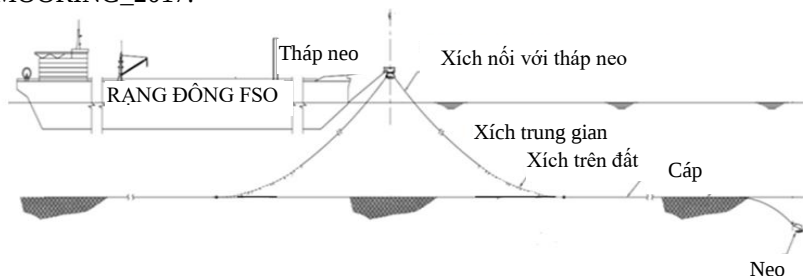
- Phân tích đặc điểm vùng biển Việt Nam, hai dạng phổ P– M và Jonswap;
- Xây dựng thuật toán để mô tả mặt sóng ngẫu nhiên tại vùng biển mở Rạng Đông của Việt Nam;
- Xây dựng thuật toán tính toán tổng quát đường dây neo đơn trong cả hai trường hợp khi dây neo căng và dây neo chùng;
- Xây dựng thuật toán tính toán tĩnh lực học hệ dây neo mô hình không gian, sử dụng phương pháp lập giải hệ phương trình phi tuyến của kết cấu;
- Xây dựng được thuật toán động lực học hệ dây neo mô hình không gian.

#### **CHƯƠNG 4. LẬP CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH VÀ KIỂM NGHIỆM THUẬT TOÁN TÍNH TOÁN HỆ DÂY NEO THEO MÔ HÌNH KHÔNG GIAN**

Trên cơ sở thuật toán đã trình bày ở chương 3, tác giả đã lập chương trình MOORING\_2017 trên máy tính để thực hiện tính toán;

Kiểm nghiệm độ tin cậy của thuật toán bằng cách tính toán cho một công trình thực tế FSO Rạng đông (hình 4.1), sơ đồ neo (hình 4.2).

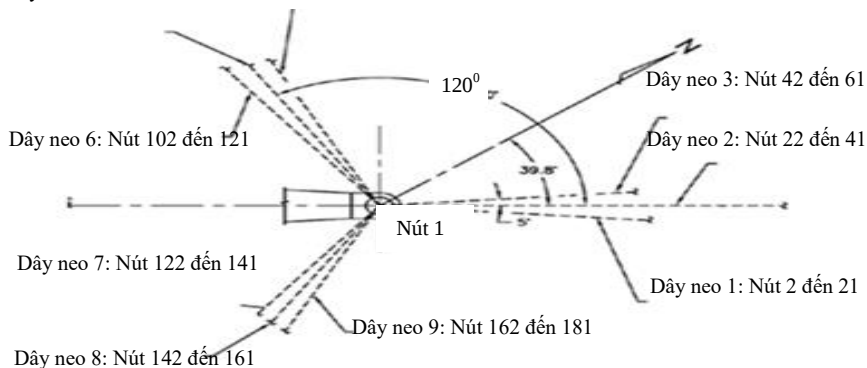
So sánh với kết quả của phần mềm OCARFLEX với phần mềm MOORING\_2017.



**Hình 4.1. Sơ đồ neo FSO Rạng Đông bằng hệ neo Turret ngoài**

Dây neo 5: Nút 82 đến 101

Dây neo 4: Nút 62 đến 81

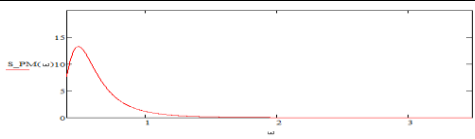
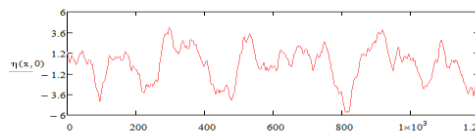
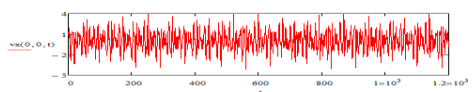
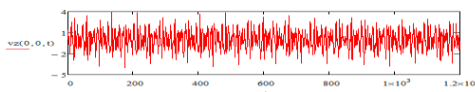
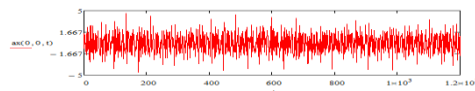
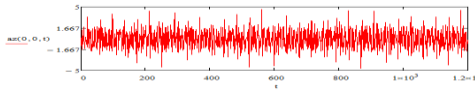


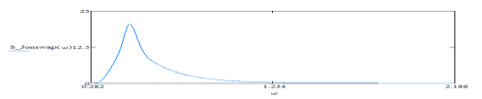
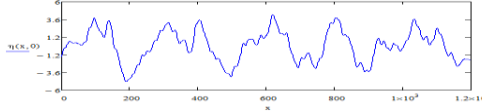
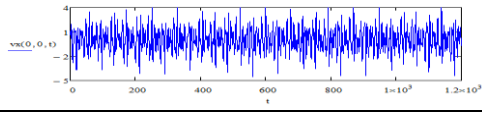
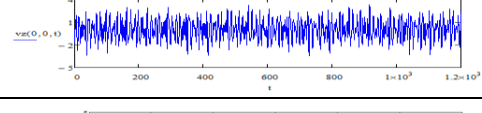
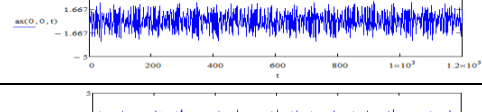
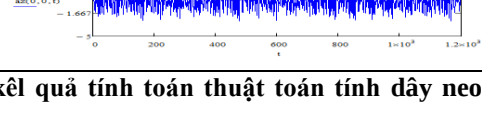
**Hình 4.2. Sơ đồ đánh số nút hệ 09 dây neo của FSO Rạng Đông**

#### 4.1. Số liệu chương trình và kết quả tính toán thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên vùng biển mở Rạng Đông

- Số liệu:
- Độ sâu nước: 56 m;
  - Chiều cao sóng đáng kể: 8,48 m;
  - Chu kì sóng: 10 s;
  - Số con sóng tính toán: 20.

**Bảng 4.1. Kết quả tính toán**

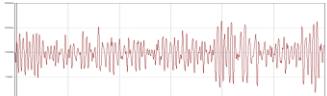
|                                                                        |                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trạng thái biển                                                        | $H_s=8.48$ m; $T_m=10$ s                                                                                        |
| Dạng phổ P -M                                                          |                                |
| Dải tần số của phổ P-M, rad/s                                          | $\omega_{PM_s} := 0.58 \cdot \frac{2\pi}{T_z} = 0.396$ $\omega_{PM_f} := 5.1101 \cdot \frac{2\pi}{T_z} = 3.487$ |
| Dải chu kỳ tính toán, s                                                | (1,802 ÷ 15,87)                                                                                                 |
| Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ P-M                                  |                                |
| <b>Kết quả các thông số động học của sóng ở mở Rạng Đông (phổ P-M)</b> |                                                                                                                 |
| Thành phần vận tốc phân tử nước theo phương ngang, m/s.                |                                |
| Thành phần vận tốc phân tử nước theo phương đứng, m/s.                 |                              |
| Thành phần gia tốc phân tử nước theo phương ngang, m/s.                |                              |
| Thành phần gia tốc phân tử nước theo phương đứng, m/s.                 |                              |

|                                                                     |                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Dạng phổ Jonswap                                                    |  |
| Dải tần số của phổ Jonswap, rad/s.                                  | $\omega_{\text{Jonswap } s} = 0.282$ $\omega_{\text{Jonswap } f} = 2.186$         |
| Dải chu kỳ tính toán, s.                                            | (2,874 ÷ 11,14)                                                                   |
| Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ Jonswap.                          |  |
| Kết quả các thông số động học của sóng ở mỏ Rạng Đông (phổ Jonswap) |                                                                                   |
| Vận tốc phân tử nước theo phương ngang, m/s.                        |  |
| Vận tốc phân tử nước theo phương đứng, m/s.                         |  |
| Gia tốc phân tử nước theo phương ngang, m/s.                        |  |
| Gia tốc phân tử nước theo phương đứng, m/s.                         |  |

## 4.2. Số liệu chương trình kê quả tính toán thuật toán tính dây neo mô hình không gian

**Bảng 4.2. Số liệu chương trình tính toán hệ dây neo FSO Rạng Đông**

|                                             |                      |
|---------------------------------------------|----------------------|
| Gia tốc trọng trường, $\text{m/s}^2$        | $g := 9.81$          |
| Khối lượng riêng nước biển, $\text{kg/m}^3$ | $\rho_n := 1.02$     |
| Độ sâu nước, m                              | $d := 56$            |
| Góc giữa phương truyền sóng và x, độ        | $\beta := 180$       |
| Số con sóng                                 | $N := 20$            |
| Chiều cao sóng đáng kể, m                   | $H_s := 8.48$        |
| Chiều dài sóng, m                           | $Cd\_song := 153.02$ |
| Chu kỳ sóng tính toán, s                    | $T_m := 10$          |
| Dải tần số, chu kỳ sóng tính toán           | Bảng 4.1             |
| Vận tốc và gia tốc phân tử nước.            | Bảng 4.1             |
| Góc hợp bởi giữa phương dòng chảy và        | 180                  |

|                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|-----|--------------------|---|---------------------|---|-------------------|-------|-----|-----|-------------------|---|-------------------|-------|---|-----|--------------------|---|--------------------|-------|----|-----|--------------------|-----|--------------------|-------|---|-----|--------------------|---|--|--|--|--|--|
| Vận tốc dòng chảy với cao trình đáy:<br>$V_c$ ở mặt: 1,47m/s.<br>$V_c$ ở độ sâu 30 m: 1,43m/s.<br>$V_c$ tại đáy: 1m/s.                                                                      | $dong\_chay :=$ <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>30</td><td>1.43</td></tr><tr><td>3</td><td>56</td><td>1.47</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     | 1  | 2   | 1                  | 0 | 1                   | 2 | 30                | 1.43  | 3   | 56  | 1.47              | 4 |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                   |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                           | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1                   |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                           | 30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1.43                |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                           | 56                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1.47                |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Cao độ tháp neo so với mặt nước, m.                                                                                                                                                         | $th\_neo:=15.4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Bán kính neo (tính từ tâm tháp neo đến                                                                                                                                                      | $R\_x:=1056$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Chiều dài các đoạn dây: Mỗi dây neo gồm 4 đoạn chiều dài 58,80,194,750 m.                                                                                                                   | $L\_dn :=$ <table><tr><td>58</td></tr><tr><td>80</td></tr><tr><td>194</td></tr><tr><td>750</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 58                  | 80 | 194 | 750                |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 58                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 80                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 194                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 750                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Góc xoay các dây neo so với trục x (sơ đồ hệ dây neo FSO Rạng Đông hình 4.2).                                                                                                               | $goc\_xoay :=$ <table><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>-5</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>4</td><td>115</td></tr><tr><td>5</td><td>...</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     | 1  | 1   | -5                 | 2 | 0                   | 3 | 5                 | 4     | 115 | 5   | ...               |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                           | -5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                           | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                           | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                           | 115                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           | ...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Mỗi đoạn dây neo được chia thành 5 phần tử, mỗi dây neo gồm 4 đoạn được chia thành 20 phần tử.                                                                                              | $n\_doan :=$ <table><tr><td>5</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 5                   | 5  | 5   | 5                  |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Mỗi dây neo có 20 nút, 1 nút chung tại tâm Turret, vì vậy hệ có 181 nút.                                                                                                                    | $so\_nut:=181$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Số chuyển vị: Mỗi nút có 3 chuyển vị, nên hệ có 543 chuyển vị.                                                                                                                              | $tong\_so\_cv=543$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Lực kéo đứt, kN.                                                                                                                                                                            | 7100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Giá trị điều kiện cân bằng nút $\varepsilon$ .                                                                                                                                              | $10^{-5}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Vật liệu kết cấu FSO Rạng Đông: Cột 1: mô đun đàn hồi, kN/m <sup>2</sup> ; Cột 2: đường kính dây, m; Cột 3: hệ số $C_D$ ; Cột 4: hệ số $C_M$ ; Cột 5: khối lượng riêng, kg/m <sup>3</sup> . |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| $loai\_vl :=$                                                                                                                                                                               | <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td><math>1.13 \cdot 10^8</math></td><td>0.095</td><td>1</td><td>2.2</td><td><math>7.85 \cdot 10^3</math></td></tr><tr><td>2</td><td><math>1.13 \cdot 10^8</math></td><td>0.095</td><td>1</td><td>2.2</td><td><math>6.855 \cdot 10^3</math></td></tr><tr><td>3</td><td><math>1.161 \cdot 10^8</math></td><td>0.089</td><td>1</td><td>2.2</td><td><math>6.855 \cdot 10^3</math></td></tr><tr><td>4</td><td><math>6.142 \cdot 10^7</math></td><td>0.089</td><td>1</td><td>0.7</td><td><math>4.887 \cdot 10^3</math></td></tr><tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> |                     | 1  | 2   | 3                  | 4 | 5                   | 1 | $1.13 \cdot 10^8$ | 0.095 | 1   | 2.2 | $7.85 \cdot 10^3$ | 2 | $1.13 \cdot 10^8$ | 0.095 | 1 | 2.2 | $6.855 \cdot 10^3$ | 3 | $1.161 \cdot 10^8$ | 0.089 | 1  | 2.2 | $6.855 \cdot 10^3$ | 4   | $6.142 \cdot 10^7$ | 0.089 | 1 | 0.7 | $4.887 \cdot 10^3$ | 5 |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                   | 3  | 4   | 5                  |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                           | $1.13 \cdot 10^8$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.095               | 1  | 2.2 | $7.85 \cdot 10^3$  |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                           | $1.13 \cdot 10^8$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.095               | 1  | 2.2 | $6.855 \cdot 10^3$ |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                           | $1.161 \cdot 10^8$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.089               | 1  | 2.2 | $6.855 \cdot 10^3$ |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                           | $6.142 \cdot 10^7$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.089               | 1  | 0.7 | $4.887 \cdot 10^3$ |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Thời gian, bước thời gian, s.                                                                                                                                                               | $t=1200s$ ; $\Delta t = 0,05$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Điều kiện biên: Tại các nút điểm neo có 3 chuyển vị bị chặn; tại tâm Turret có 1 chuyển vị bị chặn theo z; tại nút nằm trên mặt đất có 1 chuyển vị bị chặn theo z.                          | $dk\_bien =$ <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>21</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>41</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>61</td><td>1</td><td>1</td><td>...</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     | 1  | 2   | 3                  | 4 | 1                   | 1 | 0                 | 0     | 1   | 2   | 21                | 1 | 1                 | 1     | 3 | 41  | 1                  | 1 | 1                  | 4     | 61 | 1   | 1                  | ... |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                   | 3  | 4   |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                           | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                   | 0  | 1   |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                           | 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                   | 1  | 1   |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                           | 41                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                   | 1  | 1   |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                           | 61                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                   | 1  | ... |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Giá trị tải trọng tĩnh $F_T$ trạng thái đầy tải của FSO, kN (số liệu theo OCARFLEX).                                                                                                        | $tai\_trong\_nut :=$ <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td><math>-4.281 \cdot 10^3</math></td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>...</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     | 1  | 2   | 1                  | 1 | $-4.281 \cdot 10^3$ | 2 | 3                 | ...   |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                   |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                           | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $-4.281 \cdot 10^3$ |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                           | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ...                 |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |
| Giá trị tải trọng động $F_T(t)$ trạng thái đầy tải của FSO, kN (số liệu theo OCARFLEX).                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |    |     |                    |   |                     |   |                   |       |     |     |                   |   |                   |       |   |     |                    |   |                    |       |    |     |                    |     |                    |       |   |     |                    |   |  |  |  |  |  |

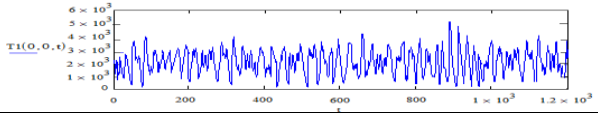
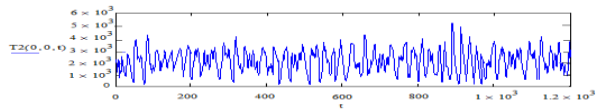
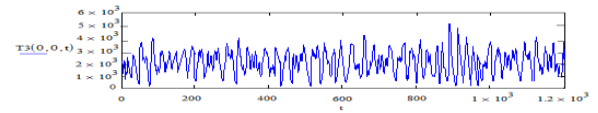
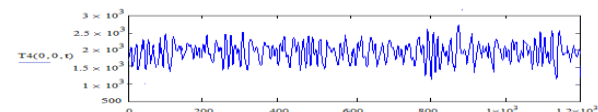
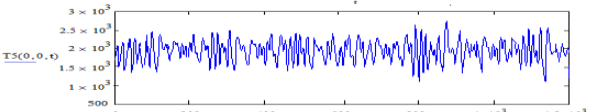
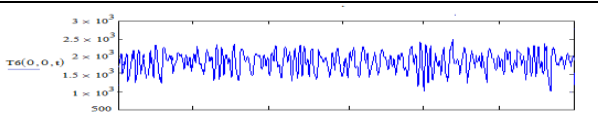
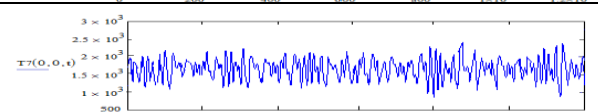
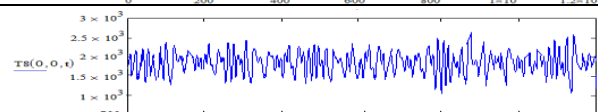
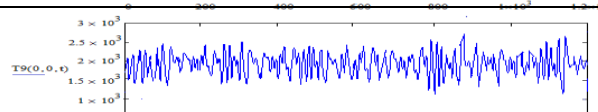
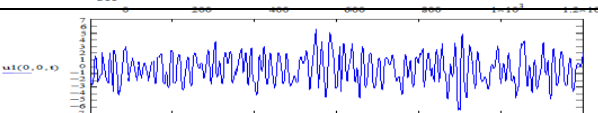
**Bảng 4.3. Kết quả tĩnh lực học hệ dây neo theo mô hình không gian**  
(Trích xuất giá trị lực căng (kN) trong dây neo 1,2,3 (cụm 1))

|                                                                                                                        |    |                         |                                            |    |                       |                   |    |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------|--------------------------------------------|----|-----------------------|-------------------|----|-------------------------|
| kq <sub>1</sub> =                                                                                                      |    | 1                       | kq <sub>1</sub> =                          |    | 1                     | kq <sub>1</sub> = |    | 1                       |
|                                                                                                                        | 1  | 1.828·10 <sup>3</sup>   |                                            | 21 | 1.918·10 <sup>3</sup> |                   | 41 | 1.828·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 2  | 1.818·10 <sup>3</sup>   |                                            | 22 | 1.908·10 <sup>3</sup> |                   | 42 | 1.818·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 3  | 1.809·10 <sup>3</sup>   |                                            | 23 | 1.898·10 <sup>3</sup> |                   | 43 | 1.809·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 4  | 1.799·10 <sup>3</sup>   |                                            | 24 | 1.889·10 <sup>3</sup> |                   | 44 | 1.799·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 5  | 1.79·10 <sup>3</sup>    |                                            | 25 | 1.879·10 <sup>3</sup> |                   | 45 | 1.79·10 <sup>3</sup>    |
|                                                                                                                        | 6  | 1.779·10 <sup>3</sup>   |                                            | 26 | 1.868·10 <sup>3</sup> |                   | 46 | 1.779·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 7  | 1.766·10 <sup>3</sup>   |                                            | 27 | 1.856·10 <sup>3</sup> |                   | 47 | 1.766·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 8  | 1.754·10 <sup>3</sup>   |                                            | 28 | 1.843·10 <sup>3</sup> |                   | 48 | 1.754·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 9  | 1.742·10 <sup>3</sup>   |                                            | 29 | 1.831·10 <sup>3</sup> |                   | 49 | 1.742·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 10 | 1.73·10 <sup>3</sup>    |                                            | 30 | 1.819·10 <sup>3</sup> |                   | 50 | 1.73·10 <sup>3</sup>    |
|                                                                                                                        | 11 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 31 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 51 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 12 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 32 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 52 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 13 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 33 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 53 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 14 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 34 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 54 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 15 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 35 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 55 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 16 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 36 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 56 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 17 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 37 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 57 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 18 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 38 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 58 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 19 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 39 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 59 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 20 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |                                            | 40 | 1.596·10 <sup>3</sup> |                   | 60 | 1.519·10 <sup>3</sup>   |
|                                                                                                                        | 21 | ...                     |                                            | 41 | ...                   |                   | 61 | ...                     |
| Lực căng max, kN                                                                                                       |    |                         | T <sub>max</sub> = 1.918 × 10 <sup>3</sup> |    |                       |                   |    |                         |
| Chuyển vị nút dây neo mô hình không gian chịu tải trọng tĩnh (m).<br>(Trích xuất giá trị kết quả của nút 1 đến nút 61) |    |                         |                                            |    |                       |                   |    |                         |
| kq <sub>2</sub> =                                                                                                      |    | 1                       | kq <sub>2</sub> =                          |    | 1                     | kq <sub>2</sub> = |    | 1                       |
|                                                                                                                        | 1  | -6.071                  |                                            | 22 | -0.474                |                   | 42 | -0.033                  |
|                                                                                                                        | 2  | 1.174·10 <sup>-13</sup> |                                            | 23 | 7.701                 |                   | 43 | -0.178                  |
|                                                                                                                        | 3  | -3.72                   |                                            | 24 | 2.163                 |                   | 44 | -0.025                  |
|                                                                                                                        | 4  | -0.12                   |                                            | 25 | -0.405                |                   | 45 | -0.134                  |
|                                                                                                                        | 5  | 2.575                   |                                            | 26 | 4.964                 |                   | 46 | -0.017                  |
|                                                                                                                        | 6  | -1.318                  |                                            | 27 | 1.01                  |                   | 47 | -0.089                  |
|                                                                                                                        | 7  | -0.243                  |                                            | 28 | -0.34                 |                   | 48 | -8.299·10 <sup>-3</sup> |
|                                                                                                                        | 8  | 5.227                   |                                            | 29 | 2.396                 |                   | 49 | -0.045                  |
|                                                                                                                        | 9  | 1.137                   |                                            | 30 | -0.049                |                   | 50 | -3.703                  |
|                                                                                                                        | 10 | -0.369                  |                                            | 31 | -0.28                 |                   | 51 | 1.163·10 <sup>-13</sup> |
|                                                                                                                        | 11 | 7.959                   |                                            | 32 | -0.047                |                   | 52 | 2.596                   |
|                                                                                                                        | 12 | 3.642                   |                                            | 33 | -0.269                |                   | 53 | -1.286                  |
|                                                                                                                        | 13 | -0.497                  |                                            | 34 | -0.046                |                   | 54 | 1.152·10 <sup>-13</sup> |
|                                                                                                                        | 14 | 10.772                  |                                            | 35 | -0.257                |                   | 55 | 5.266                   |
|                                                                                                                        | 15 | 6.2                     |                                            | 36 | -0.044                |                   | 56 | 1.181                   |
|                                                                                                                        | 16 | -0.628                  |                                            | 37 | -0.246                |                   | 57 | 1.142·10 <sup>-13</sup> |
|                                                                                                                        | 17 | 13.667                  |                                            | 38 | -0.043                |                   | 58 | 8.012                   |
|                                                                                                                        | 18 | 4.757                   |                                            | 39 | -0.234                |                   | 59 | 3.696                   |
|                                                                                                                        | 19 | -0.549                  |                                            | 40 | -0.041                |                   | 60 | 1.131·10 <sup>-13</sup> |
|                                                                                                                        | 20 | 10.603                  |                                            | 41 | -0.223                |                   | 61 | 10.835                  |
|                                                                                                                        | 21 | 3.412                   |                                            | 42 | ...                   |                   | 62 | ...                     |
| Chuyển vị tại tâm Turret, m                                                                                            |    |                         | u <sub>1</sub> = -6.071                    |    |                       |                   |    |                         |

**Bảng 4.4. Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret theo mô hình không gian (sử dụng phổ P-M)**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Dây neo 1<br>(Cụm 1)        |  |
| Dây neo 2<br>(Cụm 1)        |  |
| Dây neo 3<br>(Cụm 1)        |  |
| Dây neo 4<br>(Cụm 2)        |  |
| Dây neo 5<br>(Cụm 2)        |  |
| Dây neo 6<br>(Cụm 2)        |  |
| Dây neo 7<br>(Cụm 3)        |  |
| Dây neo 8<br>(Cụm 3)        |  |
| Dây neo 9<br>(Cụm 3)        |  |
| Chuyển vị tại<br>tâm Turret |  |

**Bảng 4.4. Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret theo mô hình không gian (sử dụng phổ Jonswap)**

|                                 |                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Dây neo 1<br>(Cụm 1)            |    |
| Dây neo 2<br>(Cụm 1)            |    |
| Dây neo 3<br>(Cụm 1)            |    |
| Dây neo 4<br>(Cụm 2)            |    |
| Dây neo 5<br>(Cụm 2)            |    |
| Dây neo 6<br>(Cụm 2)            |    |
| Dây neo 7<br>(Cụm 3)            |   |
| Dây neo 8<br>(Cụm 3)            |  |
| Dây neo 9<br>(Cụm 3)            |  |
| Chuyển vị tại<br>tâm Turret, m. |  |

### 4.3. Đánh giá kết quả tính toán lực căng và chuyển vị trong dây neo

**Bảng 4.7. Bảng so sánh kết quả tính toán tĩnh lực học hệ dây neo**

| Giá trị xác định          | Phần mềm MOORING_2017<br>(1) |        | Phần mềm OCARFLEX<br>(2) |        | Sai số tương đối của (1) (%) |        |
|---------------------------|------------------------------|--------|--------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Giá trị lực căng max, kN. | Fairlead                     | Anchor | Fairlead                 | Anchor | Fairlead                     | Anchor |
|                           | 1918                         | 1596   | 1981                     | 1678   | 3,28                         | 5,14   |
| Chuyển vị tâm turret, m.  | 6,071                        |        | 6,09354                  |        | 0,37                         |        |

**Bảng 4.6. Bảng so sánh kết quả tính toán động lực học hệ dây neo**

| Dây neo                              | $T_{max}(kN)$ |       |          | Sai số (%) |      |
|--------------------------------------|---------------|-------|----------|------------|------|
|                                      | MOORING_2017  |       | OCARFLEX |            |      |
|                                      | (1)           | (2)   | (3)      | (4)        | (5)  |
| Dây neo 1 (cụm 1)                    | 5101          | 5112  | 5225     | 2,43       | 2,22 |
| Dây neo 2 (cụm 1)                    | 5125          | 5134  | 5250     | 2,44       | 2,25 |
| Dây neo 3 (cụm 1)                    | 5110          | 5121  | 5226     | 2,27       | 2,21 |
| Dây neo 4 (cụm 2)                    | 2743          | 2754  | 2830     | 3,17       | 2,76 |
| Dây neo 5 (cụm 2)                    | 2702          | 2718  | 2795     | 3,44       | 2,83 |
| Dây neo 6 (cụm 2)                    | 2480          | 2499  | 2578     | 3,95       | 3,16 |
| Dây neo 7 (cụm 3)                    | 2462          | 2480  | 2560     | 3,98       | 3,22 |
| Dây neo 8 (cụm 3)                    | 2658          | 2672  | 2750     | 3,46       | 2,92 |
| Dây neo 9 (cụm 3)                    | 2738          | 2748  | 2825     | 3,18       | 2,80 |
| Chuyển vị lớn nhất tại tâm Turret, m | 6,624         | 6,689 | 6,9755   | 5,31       | 4,28 |

Chú thích bảng 4.6: (1) - Kết quả của MOORING\_2017 sử dụng phổ P-M; (2) - Kết quả của MOORING\_2017 sử dụng phổ Jonswap; (3) - Kết quả của OCARFLEX sử dụng phổ Jonswap; (4) - Sai số tương đối của (1) so với (3); (5) - Sai số tương đối của (2) với (3).

### ***Kết luận chương:***

Trong chương này tác giả đã thực hiện:

- Lập chương trình MOORING\_2017 và đưa ra kết quả giá trị lực căng trong mỗi dây neo và kết quả chuyển vị tại tâm Turret, các kết quả được tính theo hai dạng phổ Pierson-Moskowitz và Jonswap;

- Để kiểm nghiệm độ tin cậy của thuật toán tính toán hệ dây neo CTBN, kết quả chạy trên phần mềm MOORING\_2017 đã được đánh giá so sánh với kết quả chạy trên phần mềm OCARFLEX do Công ty cổ phần đầu tư kỹ thuật và phát triển công nghệ Công trình biển VIMARTEC thực hiện.

## **KẾT LUẬN**

### **1. Kết quả và những đóng góp mới của luận án**

Kết quả của luận án là giải quyết bài toán động lực học chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên theo miền thời gian của kết cấu hệ dây neo công trình biển nổi với mô hình không gian, cụ thể như sau:

1.1. Thiết lập phương trình mặt sóng và xây dựng thuật toán mô tả mặt sóng theo quan điểm sóng ngẫu nhiên theo phổ sóng bất kỳ. Trong luận án đã sử dụng hai loại phổ thường dùng là phổ Pierson-Moskowitz và Jonswap để mô tả mặt sóng ở vùng biển nam Việt Nam. Kết quả này cho phép tính toán động lực học công trình biển bằng phương pháp nghiên cứu mô phỏng quá trình thực đối với các công trình hay còn gọi là phương pháp thực nghiệm thống kê, với cách làm này có thể tính toán các kết cấu công trình biển một cách tổng quát nhất.

1.2. Giải quyết bài toán dây neo đơn chịu tải trọng bản thân trong trường hợp tổng quát, xét cả trường hợp dây neo chùng và dây neo căng. Kết quả này cho phép tính toán độ bền dây neo trong trạng thái dây neo căng, khi đó xác định được giá trị góc hợp bởi phương của dây neo và mặt đất, từ đó xác định tọa độ của từng điểm trên dây neo để mô tả được quỹ đạo đường dây neo.

1.3. Luận án đã áp dụng phương pháp PTHH để giải quyết bài toán hệ dây neo theo mô hình không gian; Xác định được tải trọng tác dụng lên dây neo bao gồm: tải trọng từ công trình nổi truyền vào dây neo, tải trọng bản thân của dây neo, tải trọng sóng ngẫu nhiên và tải trọng dòng chảy tác động trực tiếp lên dây neo; Xây dựng được các ma trận phụ trợ, thuật toán quy tải trọng về nút đối với phần tử giàn không gian có liên kết khớp từ phần tử thanh có liên kết cứng. Từ đó thiết lập được hệ phương trình vi phân dao động của hệ dây neo công trình biển nổi. Đây là một hệ phương trình phi tuyến điển hình mà trong đó các hàm chưa biết xuất hiện như là biến của một đa thức.

1.4. Vấn đề tiếp theo đặt ra trong bài toán động lực học dây neo là cần phải giải một hệ phương trình vi phân phi tuyến theo miền thời gian. Việc sử dụng phương pháp giải tích để giải hệ phương trình này có nhiều khó khăn do số bậc tự do của hệ lớn. Để giải các phương trình này có thể áp dụng các

phương pháp tính gần đúng mà kết quả thu được đạt sai số cho phép. Tuy nhiên đối với mỗi một bài toán không phải phương pháp nào cũng cho lời giải hiệu quả nhất. Kết quả của bài toán là thu hẹp dần khoảng chứa nghiệm để hội tụ được đến giá trị gần đúng với độ chính xác trong giới hạn cho phép. Trong luận án này đã sử dụng phương pháp lặp, thuật giải Newmark để giải quyết vấn đề này.

1.5. Xây dựng thuật toán và lập chương trình MOORING\_2017 trên cơ sở thuật toán đó để tính toán hệ dây neo theo mô hình không gian, phân tích động lực học theo miền thời gian trong miền khảo sát dao động của kết cấu dây neo cho công trình biển nổi phù hợp với điều kiện Việt Nam.

1.6. Để đánh giá độ tin cậy của thuật toán, kết quả giá trị lực căng và chuyển vị tính toán theo chương trình MOORING\_2017 đã được so sánh với kết quả được cung cấp bởi phần mềm OCARFLEX, do Công ty cổ phần đầu tư kỹ thuật và phát triển công nghệ biển Việt Nam VIMARTEC thực hiện.

Đóng góp của luận án là thuật toán và chương trình tính toán hệ dây neo công trình biển nổi đặt tại vùng biển Việt Nam theo mô hình không gian, chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên. Thứ nhất, giúp cho các cán bộ thiết kế, nghiên cứu hiểu rõ thuật toán tính động lực học dây neo. Thứ hai, sử dụng chương trình tính trong tính toán thiết kế dây neo. Từ đó góp một phần dần dần từng bước làm chủ được công nghệ thiết kế công trình biển, dần tăng tỉ lệ nội địa hóa công nghệ thiết kế công trình biển ở Việt Nam phục vụ thăm dò và khai thác dầu khí trên thềm lục địa Việt Nam. Ngoài ra chương trình thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên cũng là một đóng góp quan trọng trong hướng nghiên cứu tính toán động lực học công trình biển bằng phương pháp thực nghiệm thống kê.

## **2. Nhận xét và kiến nghị**

2.1. Tính toán hệ dây neo theo mô hình không gian và giải quyết bài toán động lực học hệ dây neo chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên là một vấn đề phức tạp, nhưng qua luận án đã làm chủ được phương pháp và chương trình tính. Đây là điều kiện tốt cho các hướng nghiên cứu tiếp theo đối với các kết cấu công trình biển.

2.2. Chương trình tính MOORING\_2017 là một chương trình các mã code tính toán được lực căng trong mỗi dây neo và chuyển vị của công trình được neo. Chương trình này có thể trở thành một công cụ dùng cho các nhà thiết kế công trình biển của Việt Nam sau khi được các kỹ sư công nghệ thông tin tạo nên những giao diện để sử dụng giữa người và máy tính.

2.3. Nội dung nghiên cứu của luận án có thể áp dụng vào nghiên cứu theo các hướng tính toán loại hệ thống neo khác của công trình nổi như:

- Hệ dây neo vồng có thêm vật treo;
- Hệ dây neo vồng có thêm xích gia tải;
- Hệ dây neo nhiều điểm neo.

2.4. Từ thuật toán trên có thể xác định được phản lực gối tại chân neo để từ đó giải quyết được bài toán tính neo: lực bám neo, khối lượng neo.

2.5. Cũng dựa trên phương pháp tính toán luận án đã thực hiện, với việc xây dựng được mặt sóng ngẫu nhiên có thể tiếp tục nghiên cứu tính toán động lực học kết cấu các công trình nổi và các kết cấu làm việc ngoài khơi chịu tác động của sóng biển ngẫu nhiên. Như vậy có thể giải quyết tổng thể bài toán động lực học từ kết cấu nổi đến dây neo và neo.

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

### **Bài báo khoa học**

1. Nguyễn Thị Thu Lê, Lê Hồng Bang, Đỗ Quang Khải (2016). *Áp dụng phương pháp tích phân trực tiếp bằng sơ đồ sai phân trung tâm trong xây dựng thuật toán tính toán động học dây neo công trình biển nổi.*

Tập chí khoa học - công nghệ Hàng hải, số 46, tr 66 - 69.

2. Nguyễn Thị Thu Lê, Lê Hồng Bang, Đỗ Quang Khải (2016). *Xác định tải trọng ngẫu nhiên lên phần tử dây neo công trình biển nổi.*

Tập chí Giao thông vận tải, số 10, tr 53 - 55.

3. Nguyen Thi Thu Le, Le Hong Bang, Do Quang Khai (2016). *Establish random wave surface by a suitable spectrum in the Vietnam's seas.*

The international conference on marine science and technology 2016, pp 246 - 250.

4. Nguyễn Thị Thu Lê (2018). *Ứng dụng phương pháp NEWMARK trong tính toán động lực học dây neo công trình biển nổi.*

Tập chí Giao thông vận tải, số 1/2018, tr 75 - 77.

5. Nguyễn Thị Thu Lê (2018). *Xác định véc tơ tải trọng nút phần tử dây neo công trình biển nổi chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên bằng phương pháp phần tử hữu hạn.*

Tập chí Giao thông vận tải, số 3/2018, tr 74 - 76.

### **Đề tài khoa học các cấp**

1. Đề tài khoa học cấp trường: *“Xây dựng thuật toán và lập chương trình mô tả mặt sóng ngẫu nhiên ứng dụng trong tính tải trọng sóng lên công trình ngoài khơi”.*

Chủ nhiệm đề tài: Nguyễn Thị Thu Lê – Tháng 5/2017.

2. Đề tài khoa học cấp trường: *“Nghiên cứu xây dựng thuật toán, lập chương trình tính toán dây neo công trình nổi theo mô hình 2D”.*

Chủ nhiệm đề tài: Nguyễn Thị Thu Lê – Tháng 4/2018.