

**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 NỔI  
ĐẶT TẠI VÙNG BIỂN VIỆT NAM**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT TÀU THỦY**

**HẢI PHÒNG – 2020**

**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 NỒI  
ĐẶT TẠI VÙNG BIỂN VIỆT NAM**

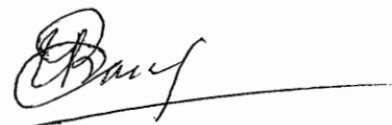
**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT TÀU THỦY**

**NGÀNH : KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC  
CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT TÀU THỦY**

**MÃ SỐ: 9520116**

**Người hướng dẫn khoa học:**

**1. PGS.TS. Lê Hồng Bang**



**2. PGS.TS. Đỗ Quang Khải**



**HẢI PHÒNG - 2020**

## LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Nguyễn Thị Thu Lê, tác giả của luận án tiến sĩ “*Nghiên cứu tính toán hệ dây neo công trình biển nổi đặt tại vùng biển Việt Nam*”. Bằng danh dự của mình tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu do tôi thực hiện hoặc đồng thực hiện dưới sự hướng dẫn của tập thể cán bộ hướng dẫn PGS.TS. Lê Hồng Bang và PGS.TS. Đỗ Quang Khải.

Để hoàn thành luận án này, tôi chỉ dùng những tài liệu đã ghi trong mục tài liệu tham khảo mà không dùng tài liệu nào khác. Không hề có sự sao chép, gian lận kết quả của bất kỳ công trình nghiên cứu của các tác giả khác.

*Hải phòng, ngày 12 tháng 02 năm 2020*

*Tác giả*

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, sweeping horizontal stroke at the top, followed by several vertical and diagonal strokes that form the letters of the name.

*Nguyễn Thị Thu Lê*

## LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành luận án tiến sĩ với đề tài: **“Nghiên cứu tính toán hệ dây neo công trình biển nổi đặt tại vùng biển Việt Nam”** tác giả đã nhận được nhiều sự giúp đỡ từ các tổ chức và cá nhân.

Tác giả xin chân thành cảm ơn:

1. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Khoa Đóng tàu, Bộ môn Lý thuyết thiết kế, Bộ môn Công nghệ Vật liệu, Viện Cơ khí đã tạo điều kiện về mặt thời gian cũng như công tác chuyên môn để tác giả tập trung vào công việc nghiên cứu;
2. Công ty cổ phần đầu tư kỹ thuật và phát triển công nghệ biển Việt Nam VIMARTEC, Công ty Cổ phần MARITECHS đã giúp đỡ tác giả về số liệu thực tế, phân tích kết quả và đóng góp ý kiến cho luận án;
3. Tập thể cán bộ hướng dẫn PGS.TS. Lê Hồng Bang, PGS.TS. Đỗ Quang Khải và các thầy trong Khoa Đóng tàu đã định hướng, hướng dẫn và giúp đỡ để tác giả tiếp cận tốt hơn với phương pháp nghiên cứu và hoàn thành luận án.
4. Gia đình và bạn bè đã động viên, khích lệ để tác giả hoàn thành tốt luận án.

***Trân trọng cảm ơn!***

**Tác giả**



***Nguyễn Thị Thu Lê***

## MỤC LỤC

<i>Mục</i>	<i>Nội dung</i>	<i>Trang</i>
	Lời cam đoan	i
	Lời cảm ơn	ii
	Mục lục	iii
	Danh mục chữ viết tắt và ký hiệu	vii
	Danh mục các bảng	xi
	Danh mục các hình	xiii
	Mở đầu	1
	1. Lý do nghiên cứu của đề tài	1
	2. Mục đích của đề tài	3
	3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	3
	4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	4
	5. Phương pháp nghiên cứu	5
	6. Bố cục luận án	6
Chương 1.	Tổng quan về tính toán hệ dây neo công trình biển nổi	8
1.1.	Giới thiệu về công trình biển nổi	8
1.2.	Phân loại hệ thống neo công trình biển nổi	12

1.2.1.	Dạng neo đơn	12
1.2.2.	Dạng neo chùm	19
1.2.3.	Dạng neo đầu cuối	20
1.2.4.	Nhận xét về các công trình biển nổi ở Việt Nam	20
1.3.	Tổng quan về tính toán hệ dây neo công trình biển nổi	21
1.3.1.	Các nghiên cứu tính toán dây neo công trình biển nổi của nước ngoài	21
1.3.2.	Tính toán dây neo công trình biển nổi đang áp dụng ở Việt Nam	26
1.3.3.	Đánh giá về tính toán hệ dây neo ở Việt Nam	35
Chương 2.	Cơ sở lý thuyết	39
2.1.	Mô hình hóa bài toán tính hệ dây neo theo mô hình không gian	39
2.1.1.	Phân tích dây neo trong hệ	40
2.1.2.	Phân tích phần tử dây neo	41
2.1.3.	Điều kiện biên của hệ	44
2.2.	Cơ sở lý thuyết	44
2.2.1.	Phân tích dây neo khi chịu tải trọng bản thân	44
2.2.2.	Công thức Morrison	48
2.2.3.	Cơ sở lý thuyết sóng	51
2.2.4.	Lý thuyết dòng chảy	61

2.2.5.	Phương trình dao động tổng quát của hệ	63
2.2.6.	Xác định véc tơ tải trọng nút theo phương pháp PTHH	65
2.2.7.	Phương pháp tích phân trực tiếp phương trình vi phân theo Newmark	69
2.2.8.	Mối liên hệ giữa các lý thuyết	72
Chương 3	Xây dựng thuật toán tính toán hệ dây neo công trình biển nổi theo mô hình không gian	73
3.1.	Cơ sở và phương pháp xây dựng thuật toán	73
3.2.	Đặc điểm vùng biển và sóng biển Việt Nam	74
3.2.1.	Vùng biển Việt Nam	74
3.2.2.	Sóng biển Việt Nam	75
3.3.	Dạng phổ thích hợp để mô tả sóng ở vùng biển Việt Nam	76
3.4.	Thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên và tính toán các thông số động học của sóng ở vùng biển Việt Nam	79
3.5.	Thuật toán tính dây neo đơn khi chịu tải trọng bản thân	82
3.6.	Thuật toán tính hệ dây neo theo mô hình không gian	85
3.6.1.	Thuật toán quy tải trọng về nút của phần tử dây neo	85
3.6.2.	Thuật toán xác định ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, véc tơ tải trọng nút, ma trận cản nhớt của kết cấu	89
3.7.	Thuật giải phương trình vi phân dao động hệ dây neo	98
3.8.	Thuật toán tính toán tĩnh lực học hệ dây neo theo mô hình không gian	99
3.9.	Thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo theo mô hình không gian	103

Chương 4.	Lập chương trình máy tính và kiểm nghiệm thuật toán tính toán hệ dây neo theo mô hình không gian	111
4.1.	Tổng quan công trình thực tế - FSO Rạng Đông	111
4.1.1.	Mô tả chung	111
4.1.2.	Số liệu môi trường trong phân tích thiết kế neo	113
4.1.3.	Hệ thống neo và chằng buộc	114
4.2.	Thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên tại vùng biển mở Rạng Đông	116
4.2.1.	Số liệu chương trình thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên vùng biển mở Rạng Đông	116
4.2.2.	Kết quả tính toán	116
4.3.	Tính toán hệ dây neo theo mô hình không gian	120
4.3.1.	Số liệu đầu vào	120
4.3.2.	Các thông số và kết quả tính toán	124
4.4.	Tính toán trên phần mềm OCARFLEX	133
4.4.1.	Số liệu đầu vào	133
4.4.2.	Kết quả tính toán trên phần mềm OCARFLEX	137
4.5.	Đánh giá kết quả tính toán lực căng và chuyển vị trong dây neo	140
	Kết luận	142
1.	Kết quả và những đóng góp mới của luận án	142
2.	Nhận xét và kiến nghị	144
	Tài liệu tham khảo	145
	Danh mục các công trình đã công bố của luận án	
	Phụ lục	



## DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

<i>Chữ viết tắt Ký hiệu</i>	<i>Giải thích</i>
$a_s$	Biên độ sóng
$\Delta t$	Bước thời gian
CALM	Catenary Anchor Leg Mooring
$A_\gamma$	Chỉ số chuẩn của phổ
CTBN	Công trình biển nổi
$H$	Chiều cao sóng
$H_s$	Chiều cao sóng đáng kể
$\lambda$	Chiều dài sóng
$L$	Chiều dài dây neo
$L_g$	Chiều dài giới hạn đường dây neo
$l$	Chiều dài phân đoạn dây neo
$T_m$	Chu kỳ sóng
$T_z$	Chu kỳ cắt không
$T_P$	Chu kỳ đỉnh phổ
DNV-GL	Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd
$D$	Đường kính dây neo
$\eta$	Độ lệch của profil sóng so với mặt nước lặng
$d$	Độ sâu nước
$\Delta$	Độ nhám của phần tử
FSO	Floating Storage and Offloading
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading

FPDSO	Floating Production, Drill, and Storage Offloading
$g$	Gia tốc trọng trường
$a_x$	Gia tốc phần tử nước theo phương ngang
$a_z$	Gia tốc phần tử nước theo phương đứng
$\varepsilon$	Giá trị điều kiện cân bằng nút
$\alpha_i$	Góc lệch pha ngẫu nhiên
$\theta$	Góc nghiêng của dây neo
$\bar{\mu}$	Góc phương vị
$\zeta$	Góc hợp giữa trục phần tử và véc tơ vận tốc phần tử nước
$\varphi$	Hàm thế vận tốc
$C_a$	Hệ số khối lượng
$C_D$	Hệ số lực cản
$C_{DS}$	Hệ số lực cản phụ thuộc độ nhám
$C_{Dn}$	Hệ số lực cản pháp tuyến
$C_{Dt}$	Hệ số lực cản tiếp tuyến
$\xi$	Hệ số cản của vật liệu
$\psi$	Hệ số dòng theo
$C_M$	Hệ số lực quán tính
$SF$	Hệ số an toàn lấy theo quy phạm
$\mu$	Hướng sóng
$\rho$	Khối lượng riêng của vật liệu dây neo
$\rho_n$	Khối lượng riêng của nước biển
$T$	Lực căng trong dây neo
$T_d$	Lực kéo đứt của vật liệu dây neo

$[C]$	Ma trận cản nhớt của hệ
$[T_e]$	Ma trận chuyển hệ tọa độ
$[K]$	Ma trận độ cứng của hệ
$[kg]_e$	Ma trận độ cứng hình học của phần tử
$[ke]_e$	Ma trận độ cứng đàn hồi của phần tử
$[N]$	Ma trận hàm dạng
$[M]$	Ma trận khối lượng của hệ
$[m]_e$	Ma trận khối lượng của phần tử
$[U]$	Ma trận tam giác dưới
$[U]^T$	Ma trận tam giác trên
$E$	Mô đun đàn hồi của vật liệu
$E_S$	Năng lượng sóng
$S_{\eta\eta}(\omega, \mu)$	Phổ năng lượng sóng theo hướng sóng $\mu$
$S_{PM}(\omega)$	Phổ Pierson-Moskowitz (PM)
$S_{JS}(\omega)$	Phổ Jonswap
PTHH	Phần tử hữu hạn
SALM	Single anchor leg mooring
$k$	Số sóng trong phạm vi chiều dài $2\pi$
$K_C$	Số Keulegan - Carpenter
$N$	Số con sóng
$n_d$	Số dây neo
$p$	Số phân đoạn trên một dây neo đơn
$q_n$	Tải trọng phân bố vuông góc với trục phần tử
$q_t$	Tải trọng phân bố dọc trục phần tử

$F_T$	Tải trọng tổ hợp của môi trường tác dụng lên công trình
$\omega$	Tần số sóng
$\omega_P$	Tần số đỉnh phổ
$\omega_S$	Tần số sóng bắt đầu
$\omega_f$	Tần số sóng kết thúc
$A$	Tiết diện của phần tử dây neo
$\gamma$	Thông số hình dáng đỉnh phổ
$\sigma$	Thông số độ rộng đỉnh phổ
$q$	Trọng lượng trên một đơn vị chiều dài dây neo
$c_s$	Vận tốc lan truyền sóng
$v_x$	Vận tốc phần tử nước theo phương x
$v_z$	Vận tốc phần tử nước theo phương z
$V_{dc}(z)$	Vận tốc dòng chảy tại độ sâu z
$V_{dc}^{tr}(z)$	Vận tốc dòng chảy do triều
$V_{dc}^g(z)$	Vận tốc dòng chảy do gió
$V_m$	Vận tốc dòng chảy mặt
$V_d$	Vận tốc dòng chảy đáy
$c_{xj}, c_{yj}, c_{zj}$	Véc tơ chỉ phương theo 3 phương x,y,z
$\{u\}$	Véc tơ chuyển vị nút
$\{\dot{u}\}$	Véc tơ vận tốc của chuyển vị nút
$\{\ddot{u}\}$	Véc tơ gia tốc của chuyển vị nút
$\{F\}$	Véc tơ tải trọng nút

## DANH MỤC CÁC BẢNG

<i>Số bảng</i>	<i>Tên bảng</i>	<i>Trang</i>
1.1	Một số công trình biển nổi và hệ thống dây neo do các công ty nước ngoài thiết kế và thi công	Phụ lục
2.1	Hệ số $F(\gamma)$	Phụ lục
3.1	Số liệu phân bố sóng vùng biển Bắc Việt Nam	Phụ lục
3.2	Số liệu phân bố sóng vùng biển Trung Việt Nam	Phụ lục
3.3	Số liệu phân bố sóng vùng biển Nam Việt Nam	Phụ lục
3.4	Tổng kết điều kiện môi trường biển với chu kỳ lặp 100 năm tại các mỏ khai thác dầu khí của Việt Nam dùng cho thiết kế	Phụ lục
3.5	Các trạng thái biển tại vùng biển mỏ Rạng Đông	Phụ lục
4.1	Đặc trưng kho nổi FSO Rạng Đông	112
4.2	Số liệu môi trường trong phân tích thiết kế hệ neo FSO Rạng Đông	114
4.3	Thuộc tính của các đường dây neo	115
4.4	Dạng phổ sóng Pierson – Moskowitz và Jonswap	117
4.5	Kết quả thông số động học của sóng khi dùng phổ P-M	118
4.6	Kết quả thông số động học của sóng khi dùng phổ Jonswap	119
4.7	Số liệu chương trình tính toán hệ dây neo FSO Rạng Đông	120

4.8	Một số kết quả tính toán trung gian	124
4.9	Kết quả tĩnh lực học lực căng và chuyển vị trong 9 dây neo	126
4.10	Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret khi dùng phổ P-M	129
4.11	Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret khi dùng phổ Jonswap	131
4.12	Giá trị lực căng max trong 9 dây neo và chuyển vị max tại tâm Turret tính theo MOORING_2017 theo hai dạng phổ sóng	133
4.13	Kết quả tĩnh lực học lực căng max trong dây neo và chuyển vị tâm Turret tính theo phần mềm OCARFLEX	137
4.14	Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret tính theo phần mềm OCARFLEX	137
4.15	So sánh kết quả tính toán tĩnh lực học hệ dây neo	140
4.16	So sánh kết quả tính toán động lực học hệ dây neo	140

## DANH MỤC CÁC HÌNH

<i>Số hình</i>	<i>Tên hình</i>	<i>Trang</i>
1.1	Sơ đồ phân loại công trình biển nổi	9
1.2	Giàn khoan bán chìm ĐH-01 khai thác tại mỏ Đại Hùng – Vũng Tàu	10
1.3	Kho nổi FSO5 tại mỏ Bạch Hổ-Vũng Tàu	10
1.4	Phao dạng trụ tròn và khối hộp	11
1.5	Sà lan cần cẩu Hoàng Sa 1200 Tấn	11
1.6	Hệ thống neo CALM liên kết mềm	13
1.7	Hệ thống neo CALM liên kết cứng	14
1.8	Hệ thống neo CALM liên kết nửa cứng	14
1.9	Hệ thống neo SALM liên kết dây	15
1.10	Hệ thống neo SALM liên kết cằng nổi	15
1.11	Dạng liên kết cằng nổi mềm với chân đế Jacket	16
1.12	Dạng liên kết dây mềm với chân đế Jacket	16
1.13	Neo một điểm dạng tháp có khớp	17
1.14	Neo một điểm dạng phao trụ	17
1.15	Neo tháp liên kết ngoài	18
1.16	Neo tháp liên kết trong	18
1.17	Neo Riser Turret	19
1.18	Hệ dây neo chùm	19
1.19	Neo đầu cuối	20
1.20	Sơ đồ cân bằng của phần tử dây neo	29

1.21	Cân bằng tĩnh học một phần tử dây neo	30
1.22	Phần tử dây neo khi có biến dạng dọc trục	31
1.23	Sơ đồ bài toán tĩnh lực học đường dây neo đơn	32
1.24	Trường hợp 6 đường neo	34
1.25	Trường hợp 8 đường neo	34
1.26	Trường hợp 10 đường neo	35
1.27	Sơ đồ bài toán phẳng tĩnh hệ dây neo	36
1.28	Độ võng của dây neo khi xét đến trọng lượng bản thân	37
2.1	CTBN được neo bởi hệ dây neo dạng neo một điểm	39
2.2	Mô hình hóa hệ dây neo theo mô hình không gian	40
2.3	Mô hình hóa một dây neo thành các phần tử thanh liên kết khớp	40
2.4	Phần tử thanh giàn không gian trong hệ tọa độ địa phương	41
2.5	Phần tử giàn không gian trong hệ tọa độ tổng thể	42
2.6	Cosin chỉ phương	43
2.7	Sơ đồ hệ thống neo vật nổi	45
2.8	Sơ đồ đoạn dây neo chịu tải trọng bản thân	45
2.9	Sơ đồ cân bằng phân tử dây neo	46
2.10	Đồ thị xác định $\psi$	Phụ lục
2.11	Đồ thị tra giá trị $C_{Dt}$	Phụ lục
2.12	Sơ đồ biểu diễn các đặc trưng của sóng	52
2.13	Mô hình sóng thực	56



2.14	Phổ Jonswap khi $H_S = 4.0 m$ , $T_P = 8.0 s$ trong các trường hợp $\gamma = 1$ (Phổ P-M), $\gamma = 2$ , $\gamma = 5$	60
2.15	Phân bố vận tốc dòng chảy theo độ sâu	63
2.16	Phần tử chịu biến dạng dọc trục	65
2.17	Tải trọng phân bố vuông góc với trục thanh	66
2.18	Sơ đồ áp dụng các lý thuyết	72
3.1	So sánh hai phổ sóng	77
3.2	Phổ sóng cùng với hướng lan truyền	77
3.3	Sơ đồ khối thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên theo phổ sóng	80
3.4	Sơ đồ khối thuật toán tính toán đường dây neo đơn	83
3.5	Sơ đồ chỉ số nút và phần tử	90
3.6	Sơ đồ xác định ma trận độ cứng hình học phần tử dây neo	93
3.7	Sơ đồ khối thuật toán tính tĩnh lực học hệ dây neo	100
3.8	Sơ đồ khối thuật toán tính động lực học hệ dây neo	105
4.1	Công trình thực tế FSO Rạng Đông	Phụ lục
4.2	Sơ đồ neo FSO Rạng Đông bằng hệ neo Turret ngoài	112
4.3	Vị trí mỏ Rạng Đông	113
4.4	Sơ đồ hệ 09 dây neo của FSO Rạng Đông	114
4.5	Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ P-M	118
4.6	Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ Jonswap	118
4.7	Dạng phổ Jonswap trên phần mềm OCARFLEX	133
4.8	Dữ liệu sóng vùng biển mỏ Rạng Đông	134

4.9	Dữ liệu dòng chảy vùng biển mở Rạng Đông	134
4.10	Thông số đoạn xích nối với giá chặn xích	135
4.11	Thông số đoạn xích trung gian	135
4.12	Thông số đoạn xích trên mặt đất	136
4.13	Thông số đoạn cáp neo	136

## MỞ ĐẦU

### 1. LÝ DO NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI

Theo thống kê của Tổ chức các nước xuất khẩu dầu mỏ (OPEC) [69] về danh sách các quốc gia có trữ lượng dầu mỏ trên thế giới, Việt Nam đứng thứ 28 trên 99 quốc gia xuất khẩu dầu mỏ, có sản lượng đạt xấp xỉ 4.400 triệu thùng/năm. Với lợi thế bờ biển dài hơn 3260 km với hàng nghìn đảo lớn nhỏ, trong đó có hai quần đảo xa bờ Hoàng Sa và Trường Sa cùng với vùng đặc quyền kinh tế và thềm lục địa khoảng hơn 1 triệu km<sup>2</sup> hứa hẹn một nguồn tài nguyên biển phong phú và đa dạng, cho thấy biển ngày càng có vai trò to lớn đối với sự nghiệp phát triển của đất nước. Hiện nay nước ta là nước khai thác dầu lớn thứ ba khu vực Đông Nam Á. Nguồn trữ lượng dầu khí chủ yếu nằm trên vùng thềm lục địa Việt Nam, bao gồm: các bể trầm tích Sông Hồng, Phú Khánh, Cửu Long, Nam Côn Sơn, Malay – Thổ Chu [67]. Các mỏ chứa dầu khí được tìm thấy ngày càng xa bờ, có độ sâu nước ngày càng lớn và điều kiện môi trường biển tác động ngày càng khắc nghiệt hơn. Vì vậy kết cấu công trình biển cố định ngày càng khó đáp ứng về mặt kinh tế kỹ thuật và kết cấu công trình biển nổi (CTBN) ngày càng được sử dụng rộng rãi hơn trong ngành công nghiệp dầu khí trên toàn thế giới. Đây là giải pháp tối ưu về mặt kinh tế kỹ thuật, góp phần làm giảm chi phí đầu tư đặc biệt khi các công trình hoạt động trong vùng nước sâu. Các CTBN có tính linh động cao, dễ dàng đưa đi khảo sát thăm dò dầu khí, khi cần sửa chữa cũng dễ dàng đưa vào ụ và phù hợp hoạt động trong nhiều vùng nước khác nhau. Khi ở trạng thái khai thác, các CTBN được cố định tại khu vực khai thác 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 CTBN thường đặt ở ngoài khơi có độ sâu nước lớn nên các dây neo thường có chiều dài lớn.

- Hiện nay, quá trình thiết kế hệ neo thường tuân thủ theo các quy định được nêu trong các quy phạm phân cấp và hướng dẫn hiện hành (các QCVN, TCVN 6474; API RP 2 FP; API RP 2T; API RP 2FPS; ABS; DNV-OS-E301,...). Các tài liệu này do các tổ chức phân cấp đưa ra và đã nêu ra đầy đủ các điều kiện tính toán thiết kế (bền, mới), các điều kiện hạn chế (giới hạn tương ứng với các điều kiện thiết kế, hoạt động) cũng như các phương pháp và quy trình tính toán hệ neo. 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 khá nhiều, được phát triển bởi các công ty và viện thiết kế lớn (Mooring; Ocarflex,...) tất cả các chương trình thương mại này đều có giá khá đắt, có giao diện tương tác khá trực quan, nhưng bản chất học thuật của quá trình tính toán hệ dây neo đều chứa trong các “hộp đen” nên khi sử dụng người kỹ sư thiết kế chỉ biết được những kết quả biến đổi của đầu ra khi thay đổi số liệu đầu vào. Đây cũng là một khó khăn về mặt khoa học kỹ thuật trong quá trình độc lập thiết kế hệ neo cho CTBN trong điều kiện của Việt Nam.

- Các CTBN có hệ neo hoạt động trong vùng biển có điều kiện môi trường khắc nghiệt (sóng, gió phức tạp và độ sâu nước lớn hơn) ngày càng được sử dụng phổ biến. Điều này cũng đòi hỏi người kỹ sư phải có sự hiểu biết hơn trong tính toán thiết kế CTBN.

- Để giúp các kỹ sư thiết kế dần dần làm chủ được công nghệ, cần phải 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**

Với các lý do trên tác giả đã chọn hướng nghiên cứu chuyên sâu về học thuật trong tính toán hệ dây neo của CTBN hoạt động trong vùng biển Việt Nam.

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.

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

Đề tài giúp tác giả nâng cao kiến thức cũng như khả năng tự nghiên cứu, ứng dụng và phát triển khoa học kỹ thuật, đặc biệt trong lĩnh vực Kỹ thuật tàu thủy và Công trình biển.

Đề tài có những đóng góp nhất định trong lĩnh vực công nghệ thiết kế hệ neo CTBN như sau:

- 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.

- Kết quả mới của đề tài là chương trình tính toán lực căng và xác định được chuyển vị của dây neo trong hệ dây neo CTBN theo mô hình không gian tại Việt Nam.

Do đó đề tài có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao, bởi vì:

- Bản thân kỹ sư thiết kế cũng khó làm chủ được phần mềm để có thể kiểm soát các kết quả phân tích thiết kế khi không có đầy đủ nền tảng kiến thức. Vì vậy kết quả đưa ra của đề tài có thể được sử dụng như là một sự hỗ trợ về nền tảng kiến thức và là cơ sở để thiết kế phần mềm của người Việt Nam trong thiết kế hệ dây neo CTBN.

- Đề tài là một mắt xích quan trọng trong quá trình phát triển kỹ thuật thiết kế các CTBN trong vùng biển Việt Nam góp phần dần dần từng bước chủ động trong thiết kế các CTBN phức tạp. Khi chủ động về công nghệ thiết kế sẽ góp phần làm chủ và đưa ra những phương án phù hợp (về mặt giá thành, điều kiện vận hành, điều kiện thi công thực tế,...).

- Các kết quả nghiên cứu của đề tài được kiểm chứng thông qua các phần mềm của nước ngoài tại Công ty cổ phần đầu tư kỹ thuật và phát triển công nghệ biển Việt Nam VIMARTEC chứng minh độ tin cậy của thuật toán và ý nghĩa thực tiễn của chương trình code do đề tài xây dựng. Như vậy đề tài đã đóng góp một phần vào công cuộc nội địa hóa công nghệ thiết kế hệ dây neo không gian cho các CTBN tại Việt Nam.

- Đề tài còn là tài liệu tham khảo hữu dụng để các nhà nghiên cứu cũng như các kỹ sư có được nhãn quan sâu sắc về phương pháp tính toán hệ dây neo cho CTBN trong cả lĩnh vực nghiên cứu và thực hành.

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

Một hệ thống CTBN có dây neo bao gồm các phần chính sau:

- Kiến trúc công trình nổi;
- Hệ dây neo (dây neo võng hoặc dây neo căng);
- Neo (bằng cọc hoặc neo hàng hải).

Trong tính toán CTBN, có những bài toán cơ bản sau cần nghiên cứu:

- Với vật thể nổi (lựa chọn kích thước cơ bản, chọn quy cách kết cấu, kiểm tra bền, tính toán ổn định tĩnh và ổn định động,...).

- Với đường dây neo (tính toán xác định phản ứng của hệ dây neo, lực căng trong dây neo, chuyển vị và quỹ đạo dây neo, xác định đường kính, chiều dài đường dây neo, tính toán bền và mỏi đường dây neo,...).

- Với neo (Tính toán chọn loại neo, kích thước, trọng lượng neo, chiều sâu đặt neo, biện pháp thi công neo,...).

**Đối tượng nghiên cứu của đề tài:** Đối tượng nghiên cứu của đề tài là hệ dây neo vũng neo CTBN. Đề tài tập trung giới thiệu và đưa ra các kỹ thuật trong quá trình tính toán để xây dựng thuật toán tính toán hệ dây neo theo mô hình không gian. Trọng tâm của đề tài là tính toán hệ dây neo vũng 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:** Phạm vi nghiên cứu của đề tài là nghiên cứu thuật toán tính toán lực căng trong dây neo và chuyển vị của dây neo đối với loại dây neo vũng, 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 CTBN. Xác định giá trị nội lực phân bố trong các dây neo và chuyển vị của công trình dưới tác dụng của tải trọng môi trường, được xét cho cả 2 trường hợp bài toán tĩnh (tải trọng tác dụng là tải trọng tĩnh hoặc tựa tĩnh) và bài toán động (tải trọng tác dụng là tải trọng động). Từ các kết quả này người kỹ sư sẽ sử dụng để phân tích thiết kế lựa chọn dây neo phù hợp với các CTBN theo yêu cầu thiết kế.

## **5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Tác giả nghiên cứu các hệ dây neo sử dụng cho các CTBN hiện hữu trên thềm lục địa Việt Nam, nghiên cứu các đặc trưng chung và riêng biệt của từng loại từ đó chọn phương pháp nghiên cứu, đó là dựa trên quan điểm phân tích động lực học cho đường dây neo.

- Phân tích trạng thái làm việc của kết cấu dây neo, từ đó xây dựng mô hình tính toán: Mô hình động lực học hệ dây neo không gian.

- Nghiên cứu áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) thiết lập các hệ số hệ phương trình vi phân dao động và giải bài toán dây neo phi tuyến.

- Nghiên cứu phương pháp phân tích động lực học kết cấu phi tuyến theo miền thời gian cụ thể là phương pháp Newmark (Newmark Explicit Method) trong bài toán động lực học kết cấu hệ dây neo.

- Căn cứ trên số liệu thực tế tiến hành kiểm nghiệm đánh giá kết quả để chứng minh độ tin cậy của thuật toán.

## **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, được cấu trúc bởi phần mở đầu, 4 chương, phần kết luận, tài liệu tham khảo, phụ lục.

### **Mở đầu:**

Trình bày tính cấp thiết của đề tài, mục tiêu, đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu của luận án.

### **Chương 1:** Tổng quan về tính toán hệ dây neo công trình biển nổi.

Trình bày về các loại CTBN có dây neo, phân loại và đặc điểm của hệ neo các CTBN. Phân tích, đánh giá một số công trình trên thế giới và trong nước trong tính toán dây neo CTBN. Từ đó xác định mục tiêu của luận án và phương hướng để đạt được mục tiêu.

### **Chương 2:** Cơ sở lý thuyết.

Nghiên cứu các cơ sở lý thuyết sẽ áp dụng để xây dựng thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo theo mô hình không gian. Bao gồm lý thuyết sóng tuyến tính, lý thuyết sóng thực, lý thuyết dòng chảy, công thức Morison, phương pháp PTHH, phương pháp Newmark.



**Chương 3:** Xây dựng thuật toán tính toán hệ dây neo công trình biển nổi theo mô hình không gian.

Phân tích điều kiện sóng biển Việt Nam. Các dạng phổ sóng thường dùng từ đó xây dựng thuật toán để thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên tạo tiền đề cho tính toán tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu dây neo của các CTBN tại Việt Nam.

Nghiên cứu xây dựng thuật toán tính toán đường dây neo đơn dưới tác dụng của tải trọng bản thân.

Nghiên cứu xây dựng thuật toán tính toán hệ dây neo mô hình không gian có tính đến tải trọng sóng ngẫu nhiên và dòng chảy tác dụng trực tiếp lên dây neo.

**Chương 4:** Lập chương trình và kiểm nghiệm thuật toán tính toán hệ dây neo công trình biển nổi.

Xây dựng chương trình trong môi trường Mathcad, chạy chương trình cho kết quả, đánh giá kết quả của chương trình với kết quả do phần mềm có bản quyền Ocarflex tính toán.

#### **Kết luận:**

Trình bày các kết quả chính, những đóng góp mới của luận án và các kiến nghị.

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TÍNH TOÁN

## HỆ DÂY NEO CÔNG TRÌNH BIỂN NỘI

Trong chương này sẽ trình bày khái quát về CTBN được liên kết với đáy biển bởi hệ thống dây neo, phân loại và đặc điểm của các hệ neo CTBN. Phân tích một số 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.

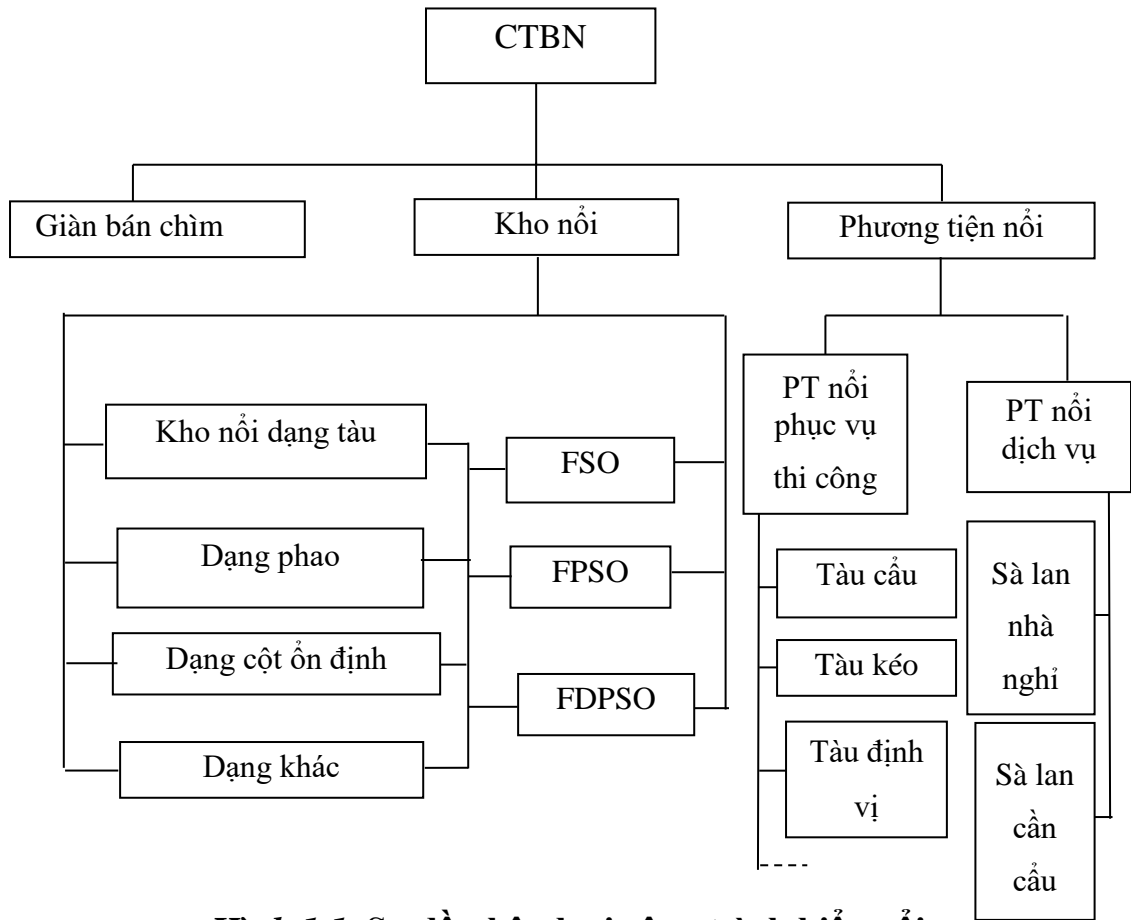
### 1.1. Giới thiệu về công trình biển nổi

Theo [2], CTBN là một dạng của công trình kỹ thuật ngoài khơi, chúng ở trạng thái nổi khi di chuyển và khi khai thác, được liên kết với đáy biển bằng hệ neo. CTBN ngày càng được sử dụng phổ biến vì những ưu điểm nổi bật trong quá trình hoạt động khai thác. Các ưu điểm đó là:

- Có thể tăng sức nâng và diện tích mặt bằng khai thác do có thể ghép nhiều phân đoạn với nhau;
- Tận dụng được vùng mặt nước, tiết kiệm được diện tích mặt bằng, giảm được chi phí san lấp mở rộng diện tích và không gây ảnh hưởng đáng kể đến chế độ thủy văn của khu vực khai thác;
- Tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình đóng và sửa chữa;
- Tính linh động cao, có thể sử dụng ở các địa điểm khai thác khác nhau.

Trong lĩnh vực khai thác dầu khí, xu hướng trên thế giới hiện nay là phát triển các CTBN có neo giữ, ưu điểm là cho phép đưa các mỏ mới vào khai thác nhanh, xây dựng được ở những nơi nước sâu mà ít tốn kém hơn so với những công trình biển cố định. Bên cạnh những CTBN có neo giữ còn có các hoạt động phục vụ của các phương tiện nổi. Chúng đều có hai trạng thái khi khai thác, đó là trạng thái neo giữ và trạng thái di chuyển nhưng mang các tính chất khác nhau.

Theo mục đích sử dụng, CTBN chia thành ba phân nhóm (hình 1.1).



**Hình 1.1. Sơ đồ phân loại công trình biển nổi**

- Giàn bán chìm (hình 1.2): Phần chìm của công trình được đặt ở một độ sâu tương đối lớn so với mực nước biển. Kết cấu chính gồm các ponton, phía trên nổi liền với hệ thống các cột thẳng đứng, đồng thời nổi với các thanh giằng thẳng và thanh giằng chéo, sao cho lượng chiếm nước khối lượng đủ cân bằng với tổng các thành phần khối lượng của giàn. Những giàn bán chìm có thể di chuyển được tới các vị trí khác nhau, có khả năng hạ thấp hay nổi lên nhờ sự điều chỉnh lượng nước dẫn được bố trí trong các potton chìm. Trong quá trình sử dụng giàn này thường được neo giữ bởi một hệ thống neo sao cho định vị giàn tại điểm khoan trong giới hạn độ lệch cho phép của trục mũi khoan và tăng tính ổn định của giàn. Giàn được sử dụng cho vùng nước có độ sâu thay đổi dưới 2000 m [2].



**Hình 1.2. Giàn khoan bán chìm ĐH-01 khai thác tại mỏ Đại Hùng-Vũng Tàu**

- Loại kho nổi: Ở những mỏ xa bờ thường không đặt đường ống dẫn dầu vào bờ, dầu mỏ sau khi được khai thác được chứa tạm vào các kho nổi. Có 2 loại kho nổi là FSO và FPSO. FSO là các kho nổi chỉ dùng vào mục đích chứa xuất dầu. Loại FPSO ngoài mục đích chứa xuất dầu còn xử lý sơ bộ dầu thô. FSO và FPSO là các kết cấu gồm hệ thống máy móc, trang thiết bị đảm bảo an toàn, động cơ đẩy và các bộ phận có các chức năng phụ. Các kho nổi này có nhiều loại về kết cấu, có kho nổi kết cấu dạng tàu, dạng phao, dạng cột ổn định hoặc các dạng kết cấu được thiết kế theo mục đích nhất định. Ngoài ra còn có dạng FDPSO có thêm chức năng khoan, sử dụng trong giai đoạn thăm dò và khai thác sớm. Hình 1.3 thể hiện hình ảnh của FSO5 được thiết kế bởi Công ty Monobuoy, đóng tại Nhà máy Đóng tàu Nam Triệu - Hải Phòng [12].



**Hình 1.3. Kho nổi FSO5 tại mỏ Bạch Hổ -Vũng Tàu**

Ngoài ra các kho nổi có thể được buộc vào phao bằng dây xích hoặc kết cấu khung cứng, phao có các dạng thiết kế riêng như dạng phao trụ hoặc khối hình hộp có mớn nước sâu, diện tích đường mặt nước vừa và nhỏ. Các phao này được giữ bởi các dây neo vũng (hình 1.4).



**Hình 1.4. Phao dạng trụ tròn và khối hộp**

- Các loại phương tiện nổi khác: Các phương tiện phục vụ cho việc thi công các công trình biển như tàu cầu, tàu kéo, tàu đặt ống, tàu hỗ trợ lặn khảo sát, tàu trục mỏ,...và các phương tiện dịch vụ cho khai thác dầu khí như sà lan nhà nghỉ, sà lan cần cẩu. Trên thế giới hiện nay còn sử dụng dạng sà lan cần cẩu kết hợp với bố trí nhà nghỉ để tiện cho công tác xây dựng, bảo dưỡng, sửa chữa những công trình khai thác dầu khí (hình 1.5) [21].



**Hình 1.5. Sà lan cần cẩu Hoàng Sa 1200 tấn**

Nhìn chung thêm lục địa của Việt Nam với chiều dài bờ biển dài hơn 3200 km, có trữ lượng dầu mỏ lớn. Ngành công nghiệp dầu khí Việt Nam ngày càng phát triển, vì vậy ở Việt Nam ngày càng xuất hiện nhiều CTBN phục vụ cho nhu cầu khai thác, dự trữ và vận tải dầu. Để duy trì tư thế tiêu chuẩn và hạn chế các chuyển vị tịnh tiến và chuyển vị góc dưới tác dụng của tải trọng môi trường lên CTBN, các công trình và phương tiện nổi này đều được neo giữ bởi một hệ neo.

## **1.2. Phân loại hệ thống neo công trình biển nổi**

Hệ thống neo có nhiệm vụ đảm bảo các CTBN được giữ cân bằng tương đối và hạn chế các chuyển vị có thể (3 chuyển vị dài và 3 chuyển vị góc) ở vị trí khai thác và phục vụ công trình.

Hiện nay các CTBN sử dụng rất nhiều các dạng hệ neo khác nhau, được phân loại theo nhiều cách. Theo vị trí điểm neo được chia thành ba dạng chính như sau [13]:

- Neo đơn;
- Neo chùm;
- Neo đầu cuối.

Mỗi dạng hệ neo có ưu nhược điểm và phạm vi áp dụng khác nhau.

### **1.2.1. Dạng neo đơn**

Đây là dạng neo được áp dụng phổ biến nhất, chúng dùng để cố định CTBN tại một điểm. Hệ neo này bao gồm:

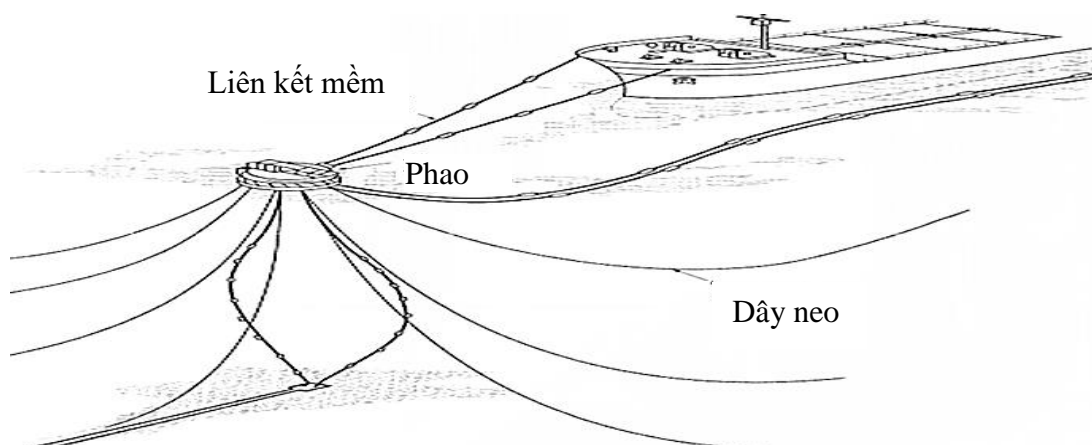
- Một bộ phận liên kết với đáy biển (dạng phao neo bằng dây, dạng chân đế cố định,...);
- Một bộ phận xoay liên kết với CTBN.

Tổ hợp này cho phép CTBN xoay quanh vị trí neo giữ để giảm thiểu tác động môi trường. Nhờ ưu điểm này, dạng neo một điểm là dạng thích nghi nhất với tất cả các điều kiện môi trường. Ngoài dạng neo đơn thông thường, tùy theo kiểu liên kết, neo đơn được lắp đặt trên các kho nổi bao gồm:

#### **1.2.1.1. Dạng CALM [3,13]**

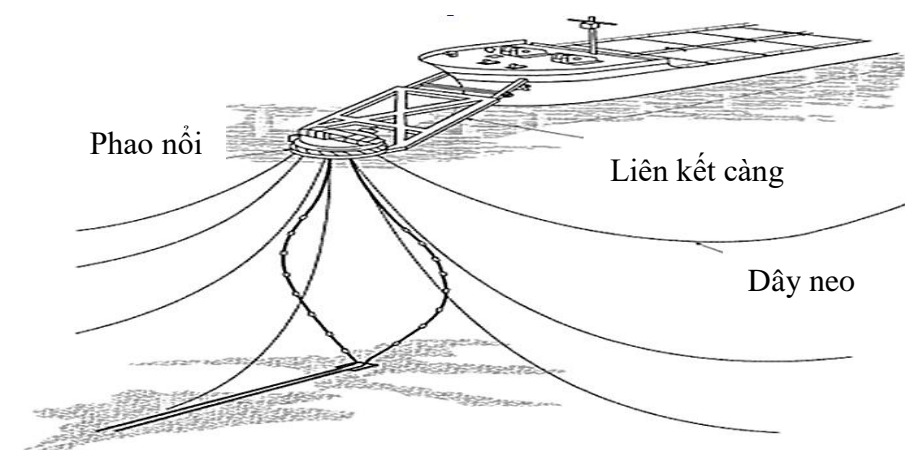
Kiểu neo giữ CALM được sử dụng đối với các kho nổi để phục vụ việc lấy hoặc rót dầu. Hệ thống này bao gồm một phao nổi hình trụ (đường kính từ 8÷17 m), được neo giữ xuống đáy biển bởi hệ thống 4÷8 dây neo. Kho nổi được nối với phao bằng các dạng liên kết khác nhau. Tải trọng từ môi trường tác động lên kho nổi và phao được truyền vào hệ thống neo. Phạm vi áp dụng thông thường trong vùng có độ sâu nhỏ hơn 100 m. Trong dạng neo CALM sẽ được phân loại tiếp theo đặc điểm như sau:

- Neo CALM – liên kết càng mềm: Kho nổi dạng tàu nổi vào phao bằng dạng liên kết mềm (hình 1.6) giữ cho kho nổi luôn xoay theo hướng tác động của môi trường. Ưu điểm: khả năng tháo lắp thuận tiện, dễ dàng sử dụng để neo một kho nổi khác, thích ứng ở độ sâu lớn bằng cách tăng độ nổi. Nhược điểm: chưa có ứng dụng với FPSO, có khả năng va chạm với phao nổi.



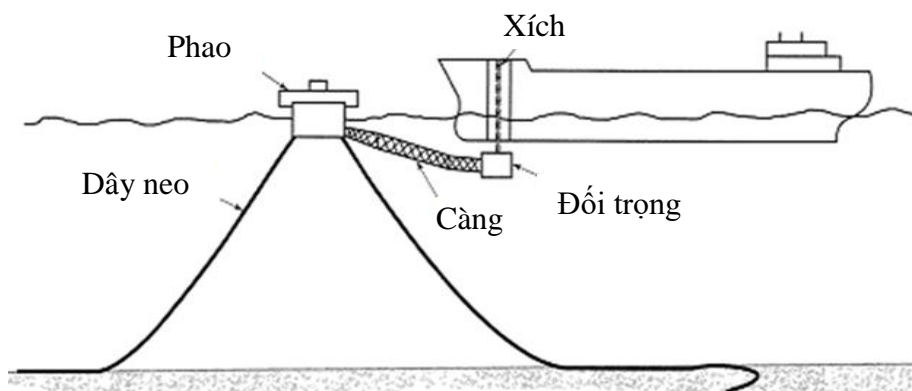
**Hình 1.6. Hệ thống neo CALM liên kết mềm**

- Neo CALM – liên kết cồng cứng: Dạng neo này là tổ hợp của phao nổi với một cánh tay đòn cứng (hình 1.7) giúp cho kho nổi được neo giữ vào phao. Ưu điểm: tránh được va chạm kho nổi với phao nổi. Nhược điểm: không linh động bằng dạng cồng nổi mềm, khó thích ứng với dạng kho nổi khác.



**Hình 1.7. Hệ thống neo CALM liên kết cứng**

- Neo CALM – liên kết dạng nửa cứng: Kho nổi nối vào phao bằng dạng liên kết nửa cứng (hình 1.8). Phần cánh tay đòn cứng được nối trực tiếp với phao nổi, còn kho nổi được nối với cánh tay đòn bởi 2 xích treo thẳng đứng. Các xích treo này được kéo căng trước bởi một thanh dẫn ngang nằm ở đầu của tay đòn. Ưu điểm: tránh được va chạm của kho nổi với phao nổi. Nhược điểm: chỉ dùng chứa, rót dầu; được sử dụng ở vùng biển nước vừa và nông.

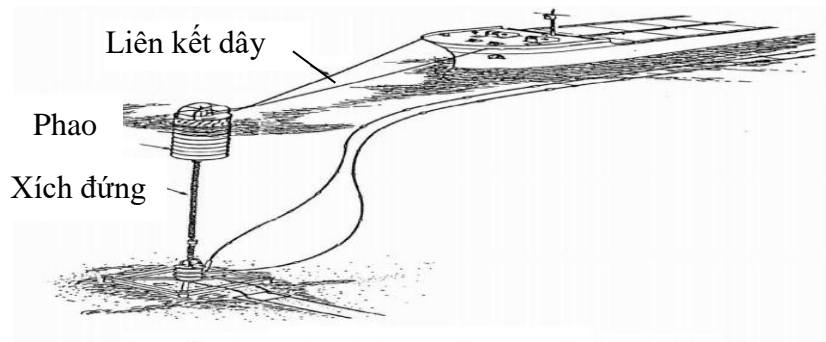


**Hình 1.8. Hệ thống neo CALM liên kết nửa cứng**



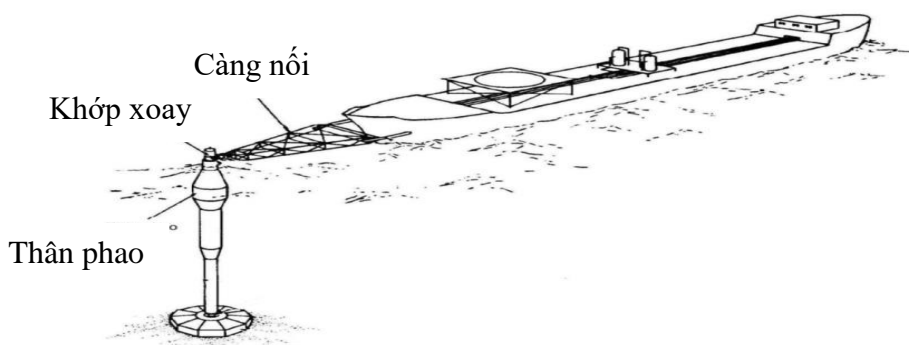
### 1.2.1.2. Dạng SALM [13]

- Neo SALM dạng dây nối với xích đứng và phao: Phao được liên kết vào đáy biển bằng hệ xích đứng, kho nổi được neo vào phao bằng hệ dây mềm (hình 1.9). Ưu điểm: dễ dàng để neo một kho nổi khác với điều kiện biển tương đương. Nhược điểm: có thể xảy ra khả năng va chạm kho nổi với phao. Phạm vi sử dụng: vùng biển sâu, điều kiện khí hậu thủy văn ít phức tạp.



**Hình 1.9.** Hệ thống neo SALM liên kết dây

- Neo SALM dạng liên kết còng nối (hình 1.10): Tổ hợp của dạng neo SALM với một hệ liên kết cứng, còng của kho nổi được nối với tháp, tháp có thể liên kết cứng, liên kết mềm với đáy biển. Ưu điểm: tránh được va chạm kho nổi với phao nổi. Nhược điểm: khả năng thích ứng với kho nổi khác khó. Sử dụng ở vùng biển nông, vị trí thích hợp đóng cọc, thời gian khai thác dài.



**Hình 1.10.** Hệ thống neo SALM liên kết còng nối

### **1.2.1.3. Hệ thống neo một điểm dạng chân đế Jacket [13]**

- Neo một điểm dạng Jacket liên kết càn mềm: Một đầu cánh tay đòn nối với jacket bởi một khớp xoay, đầu kia được dằng và nối với kho nối bởi xích hoặc các ống thẳng đứng (hình 1.11). Phạm vi sử dụng: vùng nước nông.



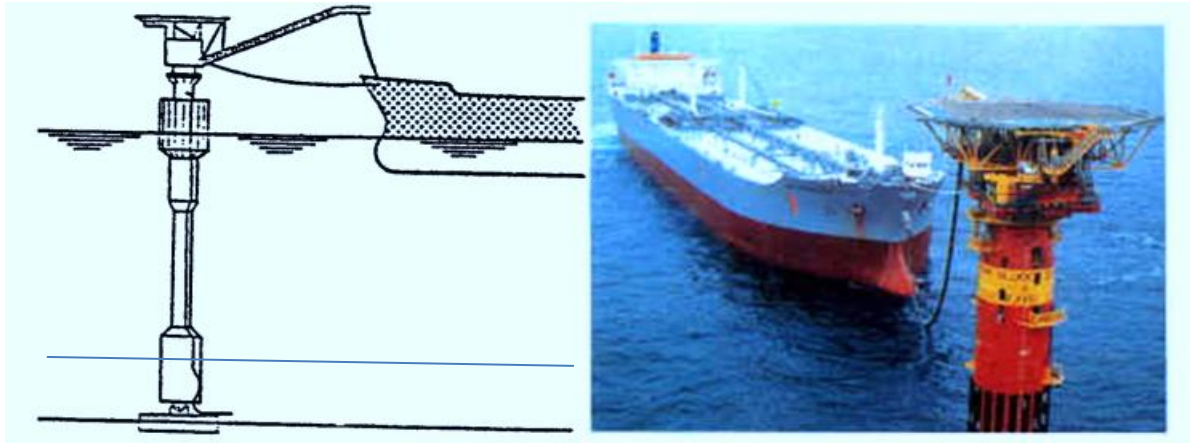
**Hình 1.11. Dạng liên kết càn nối mềm với chân đế Jacket**

- Neo một điểm dạng Jacket liên kết dây mềm: Kho nối được nối với jacket bởi các xích (hình 1.12). Phạm vi sử dụng: ở vùng nước nông.



**Hình 1.12. Dạng liên kết dây mềm với chân đế Jacket**

- Neo một điểm dạng tháp có khớp: Loại này bố trí ống mềm để rót dầu được nối với tháp tại vị trí đầu quay, chứ không phải ở dưới nước như dạng SALM. Kết cấu của tháp có thể là dạng khung dàn thép, hoặc dạng cột (hình 1.13). Phạm vi sử dụng: vùng biển có độ sâu nước hạn chế.



**Hình 1.13. Neo một điểm dạng tháp có khớp**

#### ***1.2.1.4. Hệ thống neo một điểm dạng phao trụ với liên kết dây cáp [13]***

Dạng này phát triển từ dạng cột có khớp. Trên phao có các khoang để chứa dầu, neo với đáy biển bằng các xích (hình 1.14).



**Hình 1.14. Neo một điểm dạng phao trụ**

#### ***1.2.1.5. Dạng neo tháp (Turret) [12,13]***

Dạng này phát triển từ dạng neo CALM cánh tay đòn cứng bằng cách sắp nhập càng vào kết cấu của kho nổi thành một tháp neo gắn vào kho nổi. Hệ thống neo tháp gồm nhiều chân neo gắn vào một tháp, tháp này cho phép kho nổi quay xung quanh tháp.

- Neo tháp liên kết ngoài (Turret ngoài): Kho nổi được mở rộng ra để gắn với hệ thống tháp tại đầu hay đuôi kho nổi (hình 1.15). Loại này cho phép dễ dàng bảo dưỡng hệ neo, phù hợp với mọi độ sâu nước và địa chất đáy biển.

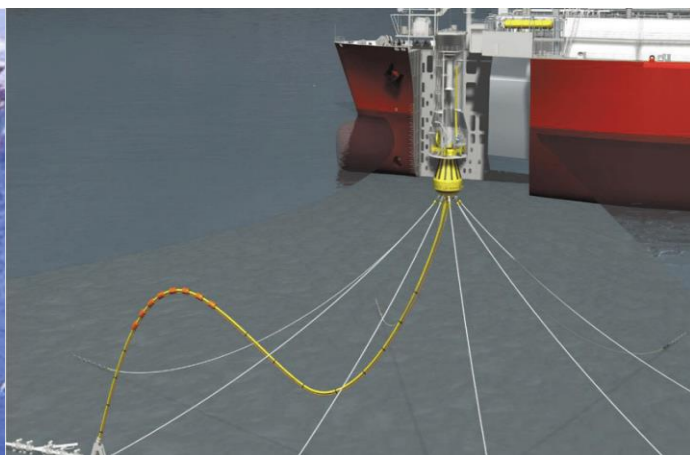


**Hình 1.15.** Neo tháp liên kết ngoài

- Neo tháp liên kết trong (Turret trong): Tháp neo được đỡ trong kho nổi bởi một hệ thống gối trục đỡ được đặt gần mặt boong hoặc gần ki kho nổi (hình 1.16). Ưu điểm: khả năng truyền lực tốt hơn, dễ bảo dưỡng, đầu xoay được bảo vệ tốt hơn, phù hợp mọi độ sâu nước và địa chất đáy biển. Nhược điểm: khó thao tác lắp liên kết giữa kho nổi và hệ neo, hệ đường ống.



*Neo Turret trong phía mũi trên boong tàu*



*Neo Turret trong phía mũi dưới đáy tàu*

**Hình 1.16.** Neo tháp liên kết trong

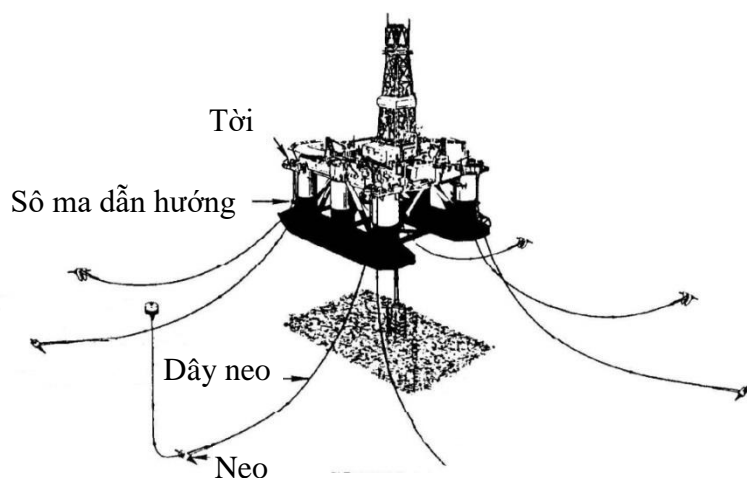
- Neo Riser Turret: Dạng neo tổ hợp giữa neo Turret ngoài và neo SALM, có gắn thêm một hệ thống ống đỡ mềm khá phức tạp (hình 1.17). Phạm vi sử dụng: ở mọi độ sâu nước, địa chất đáy biển là dạng đất dính.



**Hình 1.17. Neo Riser Turret**

### 1.2.2. Dạng neo chòm [13,21]

Kho nổi được neo giữ từ nhiều điểm bởi các dây neo vũng liên kết với các cọc hoặc neo cắm ở đáy biển (hình 1.18). Đầu dây neo được gắn vào tời hoặc chi tiết chặn trên kho nổi. Hệ neo này có tác dụng cố định hướng của công trình. Ưu điểm: do không có bàn xoay nên không giới hạn số lượng ống mềm. Nhược điểm: nhạy cảm với sự thay đổi hướng của sóng, gió, dòng chảy. Phạm vi sử dụng: trong điều kiện thời tiết ôn hòa, vùng nước nông.



**Hình 1.18. Hệ dây neo chòm**

### 1.2.3. Dạng neo đầu cuối [13]

CTBN được liên kết cố định lại bằng hai hệ neo đầu và cuối. Dạng neo này giữ cho công trình được giữ theo một hướng cố định. Dùng cho công trình mang tính tạm thời, gần bờ, ví dụ tàu chứa trung chuyển của các nhà máy lọc dầu (hình 1.19).



*Hình 1.19. Neo đầu cuối*

### 1.2.4. Nhận xét về các công trình biển nổi ở Việt Nam

Hiện nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của ngành công nghiệp dầu khí ở Việt Nam, số lượng các CTBN có dây neo được sử dụng trên thêm lục địa của Việt Nam ngày càng nhiều, chủ yếu là dạng kho nổi sử dụng dạng neo CALM và neo tháp Turret. Trong đó neo dạng tháp được sử dụng rộng rãi không chỉ ở Việt Nam mà cả trên thế giới do những ưu điểm nổi bật. Đó là hệ neo kết nối trực tiếp với kho nổi tại tháp neo, sẽ làm giảm tải trọng của môi trường tác dụng lên kho nổi nhờ khả năng tự thay đổi hướng thông qua cơ cấu xoay quanh trục đứng của trụ, linh động và đơn giản hơn khi đưa công trình vào sửa chữa trong ụ khô làm giảm chi phí bảo trì bảo dưỡng. Hệ neo này đang dần được thay thế cho dạng neo CALM hiện đang sử dụng tại Việt Nam. Vì vậy trong đề tài này sẽ tập trung nghiên cứu tính toán hệ dây neo vĩnh cho dạng neo tháp và đưa ra lời giải số cụ thể cho công trình thực tế.

### **1.3. Tổng quan về tính toán hệ dây neo công trình biển nổi**

#### **1.3.1. Các nghiên cứu tính toán dây neo công trình biển nổi của nước ngoài**

Trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu tính toán thiết kế hệ dây neo các CTBN [65], trong đó có tính toán hệ dây neo tại vùng biển Bắc và Trung cận đông,... là nơi có nhiều CTBN tiêu biểu như:

- Kizomba FPSO lớn nhất thế giới, dung tích 2,2 triệu thùng, dài 285 m, rộng 63 m, cao 32 m. Được đặt tại vị trí cách bờ 118 dặm, ngoài khơi Aberdeen (Anh), hoạt động ở vùng nước sâu 1200 m [66];

- FPSO Skarv là một trong những FPSO tiên tiến thiết kế bởi Aker Solutions, khai thác ở Biển Na Uy, dùng hệ neo tháp ngoài 15 dây neo [68];

- Girasso FPSO là FPSO có trị giá cao nổi tiếng 756 triệu USD, hiện đang hoạt động ngoài khơi Angola, sử dụng hệ neo tháp ngoài [70];

- FSO Ta'Kuntah: FSO đầu tiên ở Vịnh Mexico hoạt động từ năm 1998 là một tàu chở dầu đã được hoán cải với hệ thống neo tháp ngoài [71];

- FPSO Turritella đặt tại độ sâu lớn 2900 m hoạt động từ năm 2016 tại vùng biển của Mỹ, sử dụng hệ neo tháp trong [65].

Các công trình này do các công ty nước ngoài như Modec, NobleDenton, BW Offshore,... thiết kế có bản quyền, hoạt động chủ yếu ở vùng nước sâu.

#### ***Một số tài liệu có nghiên cứu về dây neo CTBN:***

- Công trình nghiên cứu về hệ thống neo vật nổi [63] của Nga nêu các đặc điểm neo hệ thống vật nổi, xét chuyển vị của vật nổi khi neo trong bài toán phẳng dây neo.

- Công trình nghiên cứu về độ tin cậy của hệ thống neo FSO/FPSO ở Việt Nam [64]. Công trình đã đưa ra một phương pháp mới để ước tính tổng độ tin cậy của hệ thống neo CTBN tính đến sự tích lũy mỏi trong điều kiện

biển cực trị. Ngoài ra trong công trình còn nghiên cứu xem xét đến phản ứng động lực học ngẫu nhiên của hệ thống neo.

- Tính toán dây neo đơn [30] có xét đến ảnh hưởng của độ đàn hồi của xích, đặc điểm dây neo thép và vật liệu polyeste, đặc điểm thiết kế dây neo chùm, các hệ số sử dụng trong thiết kế tĩnh, thiết kế tựa tĩnh và động lực học dây neo, ảnh hưởng của độ sâu nước đến dây neo.

- Tính toán tải trọng lên CTBN dạng giàn khoan [46], ngoài ra có nêu tính toán tải trọng tác dụng lên đường dây neo với các công thức chung.

- Công trình nghiên cứu về cơ học chất lỏng công trình biển [40,48,60]. Cung cấp các kiến thức về động lực học chất lỏng vùng biển sâu, xác định tải trọng tác dụng lên CTBN. Thiết lập phương trình tính toán dây cáp, xích của hệ thống dây neo khi chịu tải trọng bản thân, phương pháp tính toán đường dây neo đơn, xét hệ số đàn hồi của dây từ đó cho phép xác định đoạn dây neo dự trữ. Xác định chuyển vị của CTBN trong bài toán dây neo phẳng.

- Công trình đưa ra phương pháp tính bài toán động lực học của dây neo ở vùng nước sâu, xét 2 trường hợp dây neo có 1 đến 2 vật treo [43,57], xét ảnh hưởng của dao động tần số thấp dây neo phao.

- Công trình [56] đưa ra mô hình tính toán dây neo vùng nước sâu có xét đến ảnh hưởng của yếu tố phi tuyến và đoạn dây dự trữ tiếp đất, công trình hoàn thiện các công thức tính toán lực căng ngang trong bài toán phẳng dây neo.

- Tính toán thực hành dây neo, cách bố trí dây neo, tiêu chuẩn và khuyến nghị chung được đưa ra trong các khuyến nghị của Hội các công ty dầu khí hàng hải quốc tế OCIMF [53], NFEC [42], hướng dẫn thực hành neo đậu cho tàu [52], Tiêu chuẩn thiết kế neo do Hải quân Mỹ xây dựng (UFC) [36] bao gồm thông tin chung về hệ thống neo đậu, hoạt động và bố trí hệ thống,



hướng dẫn neo trong các thời tiết khắc nghiệt, chi tiết về thiết bị neo cụ thể và thông tin về bảo trì, kiểm tra và thử nghiệm liên quan đến hệ thống neo đậu. Trong các tiêu chuẩn này có đề cập đến phần thiết kế neo với các số liệu thực hành cụ thể đối với từng vùng nước và loại tàu.

- Các hướng dẫn chung tính toán tựa tĩnh và động lực học dây neo, tính toán mỗi dây neo, hệ số an toàn dây neo khi thiết kế [32].

- Các tiêu chuẩn đang hiện hành được sử dụng nhiều trong thiết kế neo như Tiêu chuẩn do Viện dầu khí Hoa Kỳ xây dựng API 2SK [23,24], Tiêu chuẩn của Bureau Veritas [26], Tiêu chuẩn DNV-GL [37,38,39] đưa ra các quy trình phân tích tải trọng, quy trình phân tích neo đậu, các tiêu chuẩn xích neo và các tiêu chuẩn tính toán lực căng dây neo trong điều kiện môi trường với chu kỳ lặp 100 năm, nêu những đặc điểm chung loại vật liệu dây neo như Polyeste, Nylon, Polypropylene & Polyethylene, HMPE, Aramid, cung cấp tiêu chuẩn thiết kế với dạng neo ở độ sâu nước 70 đến 2000 m.

#### ***Một số bài báo khoa học đăng trên các tạp chí trong và ngoài nước:***

- Công trình [31] báo cáo về tính toán dây neo nước sâu có sự so sánh giữa ba phương pháp: Phương pháp giải tích, phương pháp số và phương pháp mô hình vật lý. Trong đó khẳng định kết quả từ phương pháp số chứng minh bằng mô hình vật lý trong cả 2 trường hợp có xét đến độ đàn hồi và không xét đến độ đàn hồi. Đó cũng là cơ sở để thiết lập phần mềm Ocarflex và Cable3D. Công trình nghiên cứu phép đo dao động cưỡng bức của hai mô hình dây neo sử dụng để đánh giá kết quả của phương pháp số ban đầu, sửa đổi Cable3D và Ocarflex. Dựa trên việc so sánh giữa các phép đo và tương ứng mô phỏng, có ý nghĩa quan trọng đối với việc thiết kế một đường dây neo, đặc biệt là cho các thử nghiệm mô hình của một hệ thống neo đậu ngoài khơi trong vùng nước sâu.

- Công trình [51] công bố các kết quả thử nghiệm động lực học dây neo nước sâu với mô hình số tính toán động lực học dây neo theo miền tần số và miền thời gian. Các yếu tố về kích thước, số lượng và vị trí của chúng để giảm sức căng của dây neo. Điều này dẫn đến sửa đổi một số quy tắc thiết kế và hướng dẫn khi thiết kế tựa tĩnh dây neo nước sâu.

- Kết quả nghiên cứu về dây neo Polyester [29,34], tính toán, thiết kế và lắp đặt hệ thống dây neo Polyester vùng nước sâu. Đưa ra mô hình độ cứng của các dây neo bằng Polyester phân tích động lực học của công trình và hệ thống neo nước sâu với xích neo bằng Polyester.

- Báo cáo về những vấn đề trong mô phỏng khí động học, thủy động học và động lực học dây neo của tuabin gió ngoài khơi [50] đưa ra mô hình cấu trúc liên kết của dây neo bằng mô hình vật lý có lò xo.

- Công trình áp dụng mô hình số và phương pháp khối lượng điểm để nghiên cứu ứng xử động lực học dây neo [28,44].

- Phương pháp khối lượng điểm cũng được áp dụng để phân tích động lực học đường dây neo, trong đó tải trọng được coi là trọng lượng chìm của neo có xét đến lực quán tính, điều kiện nền đất [49].

- Công trình nghiên cứu của Nicolas Berner Wolf [62] nghiên cứu dây neo bằng mô hình vật lý với một ống dài 48 m, đường kính 0,5 m phải được thực hiện bằng cách sử dụng mô hình dây neo có vật nổi treo, kết cấu neo phải được thiết kế để chịu được lực động 50 kN.

- Công trình [45] so sánh phương pháp lò xo tuyến tính trong đó có sử dụng phương pháp phân tử biên với phương pháp PTHH trong ứng xử động lực học kết cấu nổi và hệ dây neo.

- Một số công trình nghiên cứu sử dụng các phần mềm MIMOSA, phân

tích tựa động và động lực học ngẫu nhiên của hệ thống dây neo sử dụng các phần mềm Hydrostar và Arian7 [7].

- Sử dụng phần mềm ANSYS [10] kiểm tra bền hệ thống dây neo công trình biển bán chìm tại vùng biển Việt Nam.

- Công trình [9] trình bày phương pháp tính toán tĩnh lực học đường dây neo có vật cản và so sánh trường hợp dây neo không có vật cản bằng phương pháp giải tích.

Qua một số tài liệu và công trình nghiên cứu về dây neo CTBN trên thế giới và Việt Nam được đề cập ở trên, 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 cho nhiều kiểu loại dây neo khác nhau, thường sử dụng mô hình lò xo cho phép điều chỉnh được độ cứng của dây neo. Mô hình thực nghiệm kiểu lò xo này có mô đun đàn hồi có thể tương tự như dây neo tiêu chuẩn dựa trên hệ số đồng dạng Froude. Tuy nhiên khi sử dụng mô hình thực nghiệm, mô hình lò xo làm thay đổi độ dài và ảnh hưởng đến động học dây neo và 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 [31,45,50,62].

- Mô hình lý thuyết 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. Trước kia việc sử dụng phương pháp giải tích chỉ dừng lại ở việc giải quyết mô hình bài toán phẳng [30,40,43,46,48,56,57,60]. Hiện nay việc sử dụng mô hình số bằng

phương pháp sai phân hữu hạn và phương pháp PTHH đã mô phỏng được lực căng cũng như quỹ đạo của dây neo [28,44,49,51].

Về công cụ hỗ trợ tính toán hệ neo giữ CTBN, trên thế giới hiện nay sử dụng một số phần mềm tính toán như Gmoor là một phần mềm phân tích tựa tĩnh dây neo, chủ yếu phát triển cho tàu khoan và các công trình phục vụ ngoài biển; Ariane 7 của Bureau Veritas (Pháp), Mimosa 6.3 của DNV-GL, Moses là các phần mềm phân tích động lực học công trình ngoài khơi; version mới gần đây là Cable 3D, Ocarflex là phần mềm được phát triển bởi Orcina 2000. Những phần mềm này chủ yếu được dùng để giải bài toán hệ neo giữ CTBN hoạt động vùng nước sâu, có khả năng tính toán động lực học dây neo với bước thời gian 0,001 s, được sử dụng như công cụ thiết kế trong công nghiệp thiết kế công trình biển. Các phần mềm này đều là phần mềm thương mại cần phải có bản quyền và không công bố học thuật.

### **1.3.2. Tính toán dây neo công trình biển nổi đang áp dụng ở Việt Nam**

Nhìn chung xu hướng hiện nay là phát triển các CTBN có neo giữ với ưu điểm như được nêu trên.

Một số Quy chuẩn và Tiêu chuẩn hiện hành ở Việt Nam

- QCVN 48-2012/BGTVT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và giám sát kỹ thuật giàn di động trên biển [14];
- QCVN 70-2014/BGTVT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và giám sát kỹ thuật kho chứa nổi [15];
- QCVN 72-2014/BGTVT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và chế tạo phao neo, phao tín hiệu [16];
- Bộ tiêu chuẩn TCVN 6474-1:2017 đến TCVN 6474-9:2017 về kho chứa nổi – Phân cấp và giám sát kỹ thuật [17];

- Bộ tiêu chuẩn TCVN 5309:2016 đến TCVN 5319: 2016 Quy phạm phân cấp và chế tạo công trình biển di động [18].

Tuy nhiên, hiện nay việc thiết kế hệ thống neo cho những CTBN có kích thước lớn và hoạt động ở ngoài khơi chưa được đề cập cụ thể trong hệ thống các Tiêu chuẩn hoặc Quy phạm liên quan do Việt Nam ban hành. Tính toán thiết kế các kết cấu trong CTBN cũng đã được áp dụng ở nước ta, nhưng chưa được tự chủ toàn phần vì một trong những lý do sau:

- Việc thu thập các số liệu khí tượng thủy văn được các cơ quan khí tượng thủy văn nước ta thu thập được từ những quan trắc trong nhiều năm, chủ yếu được sử dụng phục vụ cho các ngành kinh tế khác nhau như thủy lợi, xây dựng cảng, luồng lạch, thủy văn, du lịch nhưng chưa đáp ứng được các yêu cầu về tính toán, thiết kế và chế tạo công trình biển ngoài khơi.

- Các sản phẩm tính theo lý thuyết của chúng ta ít được áp dụng trong thực tế hoặc áp dụng hạn chế, nên chưa tạo được niềm tin cho người sử dụng.

Hiện nay, các CTBN ở nước ta chủ yếu do các công ty thiết kế của nước ngoài thiết kế [22] (Bảng 1.1. Phụ lục).

Trong các CTBN đó có sử dụng các hệ dây neo phao, dây neo giàn khoan, dây neo kho nổi. Tuy nhiên việc tiếp cận và nắm bắt các tính toán thiết kế các công trình này, trong đó có phần tính toán hệ dây neo đối với các đơn vị thiết kế chuyên ngành ở nước ta còn mới mẻ.

Để phát triển công nghệ thiết kế công trình biển phục vụ đất nước, những năm qua Việt Nam cũng đã có sự phát triển đáng ghi nhận: Một số công ty hoạt động trong lĩnh vực công trình biển được thành lập như Tổng công ty dịch vụ kỹ thuật thuộc Tập đoàn Dầu khí Việt Nam, các công ty cổ phần Công nghệ Công trình biển,... Trong lĩnh vực giáo dục: Đã thành lập Viện Xây dựng Công trình biển trực thuộc trường Đại học Xây dựng đào tạo hàng

nghìn kỹ sư; Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đào tạo các kỹ sư chuyên ngành Kỹ thuật tàu thủy và công trình ngoài khơi,... tuy nhiên vẫn còn khá non trẻ so với các lĩnh vực khác trong khi nhu cầu và tiềm năng để phát triển xây dựng công trình biển, đảo và ngoài khơi là rất lớn.

***Hiện nay, việc tính toán hệ dây neo cho tàu và công trình nổi có thể được chia thành hai cách cơ bản như sau:***

Thứ nhất, tính toán theo Quy phạm: Trong việc thiết kế neo chia thành 2 loại. Với những tàu theo tiêu chuẩn của Quy phạm thì thiết kế neo được lựa chọn và xác định theo Quy phạm dựa vào đặc trưng cung cấp của thiết bị EN qua đó tìm loại neo, xích neo phù hợp [58]. Bản chất của phương pháp này là giải bài toán lý thuyết tính tải trọng tác dụng lên các tàu có cùng công năng hoạt động trong các điều kiện tương đối giống nhau ở một cấp sóng, gió được quy định trước, qua đó thống kê lại và tạo thành công thức chung cho mỗi loại tàu. Phương pháp này có ưu điểm là dễ áp dụng, dễ thực hiện, kết quả tin cậy trong điều kiện khai thác bình thường. Tuy nhiên, nhược điểm là sử dụng công thức chung cho cùng một loại tàu nên mức độ chính xác cho một con tàu cụ thể là không cao.

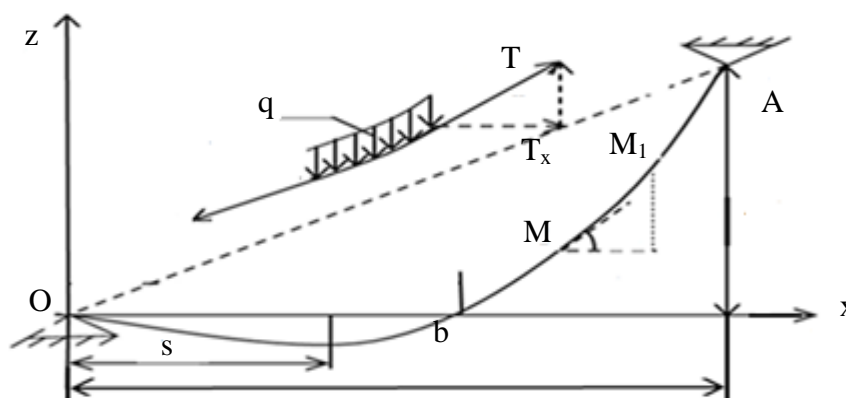
Thứ hai là tính toán dây neo theo mô hình lý thuyết: thường được áp dụng cho những loại tàu chiến, tàu dịch vụ, CTBN,... hoạt động trong những điều kiện khắc nghiệt. Ở bài toán này phải tính toán tải trọng tác dụng lên công trình trong vùng hoạt động, sau đó giải bài toán dây neo để qua đó chọn loại neo, dây neo phù hợp nhất.

Thực tế là với tính toán hệ thống neo cho tàu biển, chúng ta đang chọn neo 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.

Dưới đây trình bày tóm tắt các phương pháp tính toán dây neo đang lưu hành tại Việt Nam:

### 1.3.2.1. Tính toán dây neo theo quy trình hướng dẫn thiết kế của Nga (dẫn theo 11)

Sơ đồ tổng quát của dây neo có chiều dài là  $L$ , các điểm treo cố định 0 và A [dẫn theo 11]. Phần tử dây neo có chiều dài  $dl$ , xét tại điểm M (hình 1.20).



Hình 1.20. Sơ đồ cân bằng của phần tử dây neo

Phương trình cân bằng dây neo có dạng:

$$\frac{T_x}{q} \frac{d^2z}{dx^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2}, \quad (1.1)$$

$T_x$  - thành phần lực ngang của lực căng, kN;

$q$  - trọng lượng trên một đơn vị chiều dài dây neo, kN/m;

$d$  - chiều sâu nước, m.

Tích phân phương trình này cho dạng đường cong dây neo:

$$z = e \left( \cosh \frac{x-s}{e} - \cosh \frac{s}{e} \right). \quad (1.2)$$

Lực căng xích toàn phần tại điểm đang xét:

$$T = T_x \cdot \cosh \frac{x-s}{e}, \quad (1.3)$$

$s$  - hoành độ đỉnh võng đường dây neo, m;

$e$  - tham số đường dây neo;

$b$  - hình chiếu lên phương ngang của dây neo, m.

$$e = \frac{bd}{l}. \quad (1.4)$$

$$s = \frac{1}{2} \left( L - e \cdot \ln \frac{l+d}{l-d} \right). \quad (1.5)$$

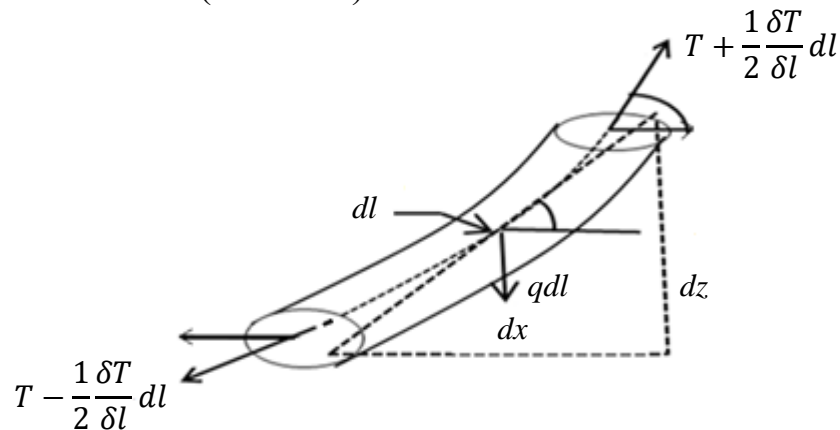
$$b = \sqrt{l^2 - d^2}. \quad (1.6)$$

Trong trường hợp chiều dài dây neo bất kỳ có điểm treo trên cổ định nằm ngang dưới tác dụng của ngoại lực tham số đường cong sẽ biết, xác định được chiều dài dây neo:

$$L = 2e \cdot \ln \left( \frac{b}{2e} + \sqrt{1 + \left( \frac{bd}{2e} \right)^2} \right). \quad (1.7)$$

### 1.3.2.2. Tính toán đường dây neo có kể đến biến dạng đàn hồi của dây neo [dẫn theo 11,40,60]

Để tính toán đường dây neo, phương pháp này đã tách riêng một phần tử dây neo với sơ đồ như sau (hình 1.21):



**Hình 1.21. Cân bằng tĩnh học một phần tử dây neo**

Xét phương trình cân bằng tĩnh của phần tử:



$$\frac{d\theta}{dl} = \frac{dq}{T} \cos\theta, \quad (1.8)$$

$T$  - lực căng phát sinh trong dây neo, kN;

$l$  - chiều dài phần tử dây neo, m;

$q$  - trọng lượng trên một đơn vị chiều dài dây neo, kN/m;

$\theta$  - góc nghiêng của dây neo, rad.

Từ quan hệ giữa  $l$  và  $\theta$  với  $x$  và  $z$ , khi véc tơ lực kéo luôn tiếp tuyến với phần tử dây xích, có:

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{q}{T_x} \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2}. \quad (1.9)$$

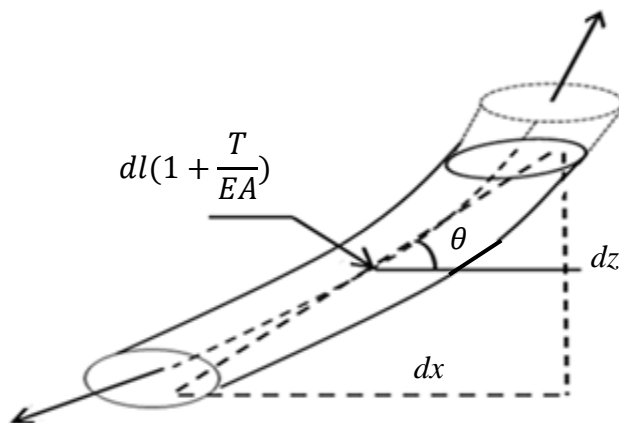
Thay điều kiện biên:  $x = 0; \frac{dz}{dx} = 0$

$$z = \frac{T_x}{q} \left[ \cosh\left(\frac{q}{T_x}\right) - 1 \right]. \quad (1.10)$$

Từ đó có thể tính được chiều dài của dây neo:

$$L = d \sqrt{\frac{2T}{qT_x} - 1}. \quad (1.11)$$

Khi bổ sung thêm toán tử tương ứng với tính đàn hồi của dây neo (hình 1.22):



**Hình 1.22. Phần tử dây neo khi có biến dạng dọc trục**

Biến dạng dọc trục của một dây neo là  $dl \left(1 + \frac{T}{EA}\right)$ , trong đó  $EA$  là độ cứng trên một đơn vị chiều dài dây neo.

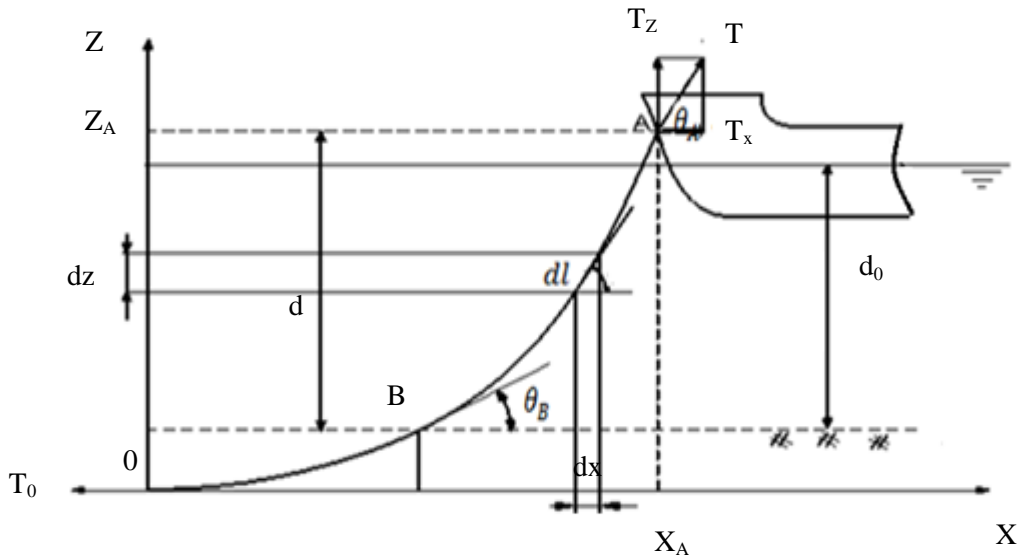
Kết quả thu được đối với bài toán dây neo có tính chất đàn hồi:

$$T_x = EA \sqrt{\left(\frac{T}{EA} + 1\right)^2 - \frac{2qd}{EA}} - EA. \quad (1.12)$$

Xác định chiều dài dây theo (1.11) có phần nằm ngang được tăng thêm thể hiện mức độ của việc xét đến tính đàn hồi trong quá trình tính dây neo.

### 1.3.2.3. Tính toán bài toán dây neo đơn

Bài toán xác định lực căng trong dây dựa trên dạng hình học và phương trình đường dây [3]. Sơ đồ tính toán đường dây neo đơn khi chịu tải trọng bản thân như sau (hình 1.23):



**Hình 1.23. Sơ đồ bài toán tính lực học đường dây neo đơn**

$L$  - chiều dài dây neo, m;

$q$  - trọng lượng trên một đơn vị chiều dài dây neo, kN/m;

Theo phương  $x$ :  $T_x = T_0$ .

Theo phương z:  $T_z = qL = P = T_x \sin \theta_A$ .

$\theta_A, \theta_B$ - góc xiên của dây tại A, B, rad.

Lực căng trong dây neo tại điểm A, kN:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_z^2}. \quad (1.13)$$

$$\text{Phương trình đường dây neo: } X_A = \frac{T_0}{q} \operatorname{arcosh} \left( \frac{q_0}{T} Z_A + 1 \right). \quad (1.14)$$

Từ đó xác định được chiều dài giữa 2 điểm A và B. Sau khi tìm được lực căng theo sơ đồ trên, có thể xây dựng được mối quan hệ giữa lực căng và chuyển vị của kết cấu nổi thông qua bài toán chuyển vị ngang của kết cấu nổi.

#### 1.3.2.4. Quy đổi tải trọng lên dây neo

Quy đổi tải trọng môi trường tác dụng lên công trình nổi thành tải trọng tác dụng lên từng cặp dây [dẫn theo 21]:  $F' = \frac{2F_T}{n_d}$ , (1.15)

$F'$ - lực quy đổi tác dụng lên một cặp dây, kN;

$F_T$  - tải trọng tổ hợp của môi trường tác dụng lên công trình, kN;

$n_d$  - số dây neo.

Lực căng ngang trong 1 dây neo đơn, kN:

$$T_x = SF \cdot F' \cdot (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) / 2, \quad (1.16)$$

$T_x$  - lực căng ngang trong 1 dây neo đơn, kN;

$\alpha_1, \alpha_2$ - góc hợp bởi cặp dây neo với mặt phẳng dọc tâm công trình, độ.

$$\text{Lực căng trong 1 dây neo, kN [42]: } T = SF \cdot T_x, \quad (1.17)$$

$SF$  - hệ số an toàn lấy theo quy phạm.

### 1.3.2.5. Tính toán hệ dây neo theo tiêu chuẩn thực hành ARGEMA

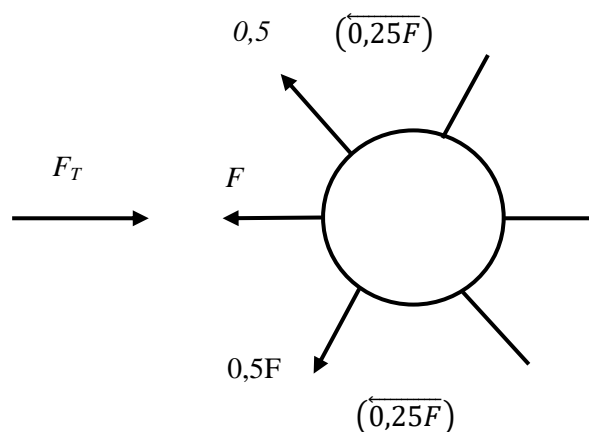
Cách tính thực hành xác định sự phân phối lực căng lên các cặp dây neo dựa trên các giả thiết [dẫn theo 3] (hình 1.24 đến hình 1.26).

- Số dây neo là chẵn;
- Lực môi trường tác dụng lên CTBN có phương trùng với một cặp dây;

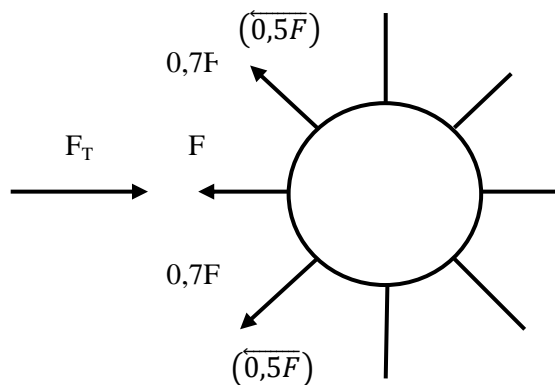
$F_T$  - tải trọng tổ hợp của môi trường tác dụng lên công trình, kN;

$F$  - phản lực của 1 cặp dây neo trùng với phương của  $F_T$ , kN;

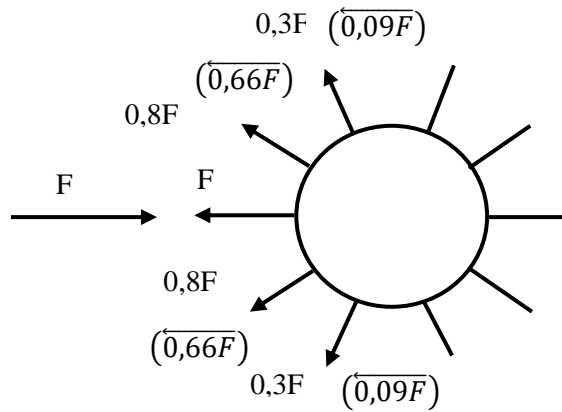
Các giá trị trong ngoặc thể hiện phản lực của dây neo theo phương của  $F_T$ .



**Hình 1.24. Trường hợp 6 đường neo ( $F_T = 1,5F$ )**



**Hình 1.25. Trường hợp 8 đường neo ( $F_T = 2F$ )**



**Hình 1.26. Trường hợp 10 đường neo ( $F_T = 2,5F$ )**

### 1.3.3. Đánh giá về tính toán hệ dây neo ở Việt Nam

Nhận xét về mô hình toán học trong tính toán dây neo hiện nay đang sử dụng phương pháp giải tích để tính toán dây neo trong mô hình bài toán dây neo phẳng, thực hiện theo nguyên tắc:

- 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 phương pháp giải tích giải bài toán tĩnh học dây neo của các quan điểm trên đều có cùng cơ sở lý thuyết và cách xây dựng mô hình tính nên khi xét trên một điều kiện biên sẽ cho các kết quả tương đồng với trường hợp giả thiết:

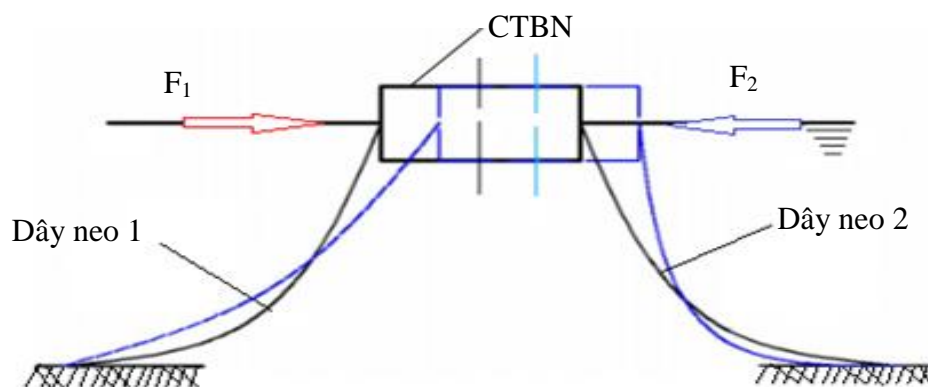
- Công trình được neo với số lượng dây neo: chẵn, đối xứng qua mặt phẳng vuông góc với hướng tác dụng của môi trường;
- Tải trọng tổ hợp của môi trường biến tác dụng lên công trình có phương không đổi và trùng với mặt phẳng 1 cặp dây;

- Chuyển vị của CTBN là nhỏ cho phép giả thiết phương của dây neo là không đổi;
- Bỏ qua tác động trực tiếp của các yếu tố môi trường (sóng, dòng chảy) tác dụng lên dây neo;
- Một số công thức bỏ qua biến dạng đàn hồi của dây khi chịu lực.

Phương pháp tính toán có xét đến biến dạng đàn hồi của dây neo, phù hợp với hệ dây neo các công trình khai thác ngoài nước sâu, chiều dài và kích thước dây neo lớn, địa chất đáy tương đối cứng. Với bài toán tính hệ neo cho các công trình nổi ở những nơi nước nông, gần bờ, được che chắn tốt, đảm bảo số ngày khai thác trong năm lớn thì việc giải bài toán dây neo theo chỉ dẫn của Nga phù hợp hơn [11].

Như vậy với phương pháp tính toán dây neo bằng phương pháp giải tích chỉ có thể giải quyết mô hình bài toán phẳng tĩnh lực học dây neo và còn tồn tại một số hạn chế:

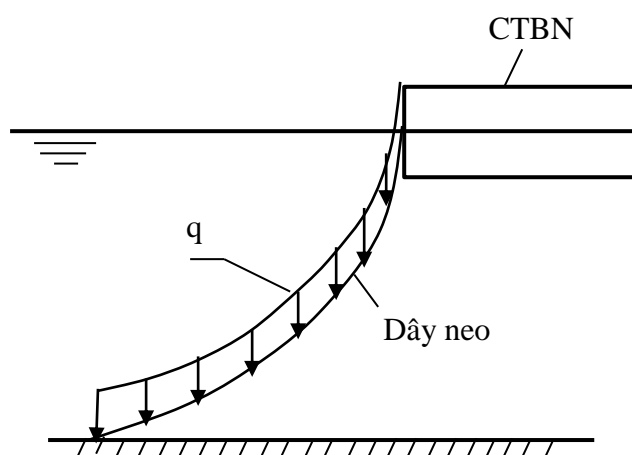
- Thứ nhất: Bài toán tính toán hệ dây neo đã đơn giản hóa bài toán bằng cách đưa về tính toán cho đường dây neo đơn tức là đưa về mô hình bài toán phẳng. Khi đó coi kết cấu gồm nhiều cặp dây neo, mỗi cặp gồm hai dây đối diện qua CTBN và cùng nằm trong một mặt phẳng (hình 1.27);



**Hình 1.27. Sơ đồ bài toán phẳng tính hệ dây neo**

Nếu CTBN chịu tải từ phía  $F_1$ , dây neo 1 bị căng, dây neo 2 bị chùng. Ngược lại nếu CTBN chịu tải từ phía  $F_2$ , dây neo 2 bị căng, dây neo 1 bị chùng. Khi đó tính toán lực căng trong dây đưa về bài toán đường dây neo đơn, khi tính chuyển vị của công trình nổi đưa về bài toán dây neo hai phía.

- Thứ hai: Chỉ xét dây neo chịu tải trọng từ kết cấu nổi và tải trọng trọng lượng bản thân của dây neo (hình 1.28), bỏ qua tải trọng sóng và dòng chảy tác dụng trực tiếp lên dây neo, từ đó xác định được giá trị lực căng xuất hiện trong dây neo và chuyển vị của dây neo bằng lời giải giải tích;



**Hình 1.28. Độ võng của dây neo khi xét đến trọng lượng bản thân**

- Thứ ba: Trong bài toán tính toán đường dây neo đơn, xác định lực căng trong dây neo khi dây neo chùng, với trường hợp dây neo bị căng mới xây dựng được mối quan hệ giữa lực căng ngang trong dây và chuyển vị của CTBN;

- Thứ tư: Một số các công thức tính toán dây neo bỏ qua tham số thể hiện tác động của độ đàn hồi. Điều này có thể dẫn đến hiện tượng lực kéo lớn hơn dự tính một cách đáng kể;

- Thứ năm: Với cách 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.

Với các cách tính toán như trên 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.

Để giải quyết những tồn tại này đề tài sẽ sử dụng phương pháp PTHH để xây dựng mô hình hóa hệ dây neo CTBN sát với điều kiện làm việc thực tế của hệ dây neo. Phương pháp này không chỉ cho ta cách giải tổng quát nhất có thể mà còn thể hiện những ưu điểm lớn trong khả năng ứng dụng máy tính so với phương pháp khối lượng điểm [28,44,49]. Phương pháp này hiện đang được các nước có ngành công trình biển phát triển sử dụng [31]. Tuy nhiên học thuật cụ thể không được công bố vì đây chính là cơ sở để thiết lập các phần mềm thương mại tính toán hệ dây neo không gian.

## **KẾT LUẬN CHƯƠNG**

Qua việc tổng quan về các CTBN có dây neo trong nước, các hệ neo công trình nổi, tác giả nhận thấy việc sử dụng loại CTBN có dây neo được sử dụng rộng rãi nhờ tính năng linh hoạt của công trình, tránh được gió, bão khi cần thiết và trong đó loại neo tháp mũi đang được sử dụng phổ biến hơn, do không có phao liên kết với tàu nên giảm được tải trọng môi trường tác dụng lên công trình nổi. Tác giả cũng phân tích các phương pháp tính toán dây neo CTBN hiện đang sử dụng trong nước và ngoài nước. Qua đó nhận thấy việc tính toán dây neo CTBN ở trong nước mới chỉ dừng lại ở việc giải quyết bài toán phẳng vì vậy chưa phản ánh đúng sự làm việc của hệ dây neo. Công nghệ thiết kế dây neo cho các CTBN trong nước còn phụ thuộc nhiều vào các phần mềm của nước ngoài. Để góp một phần nhỏ cho sự phát triển lĩnh vực thiết kế CTBN, trong những chương sau của luận án, tác giả tiếp tục nghiên cứu cơ sở lý thuyết để tiến tới giải quyết bài toán động lực học hệ dây neo CTBN theo mô hình không gian.

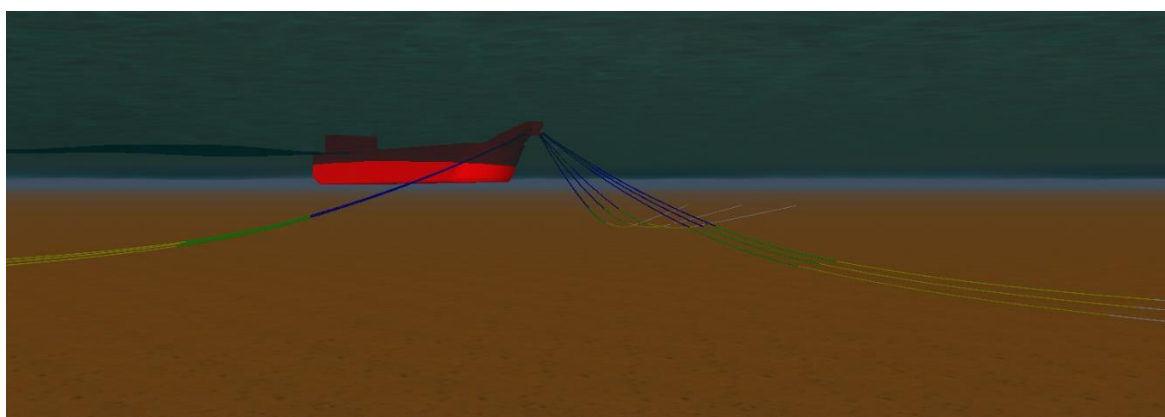


## CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Chương này trình bày mô hình bài toán, từ đó phân tích các cơ sở lý thuyết sẽ áp dụng trong luận án, bao gồm phân tích dây neo khi dây neo chỉ chịu tải trọng bản thân, phân tích lý thuyết sóng tuyến tính, lý thuyết sóng thực, lý thuyết dòng chảy. Để tính toán được dây neo theo mô hình không gian cần phân tích cơ sở lý thuyết của phương pháp PTHH và phương pháp Newmark.

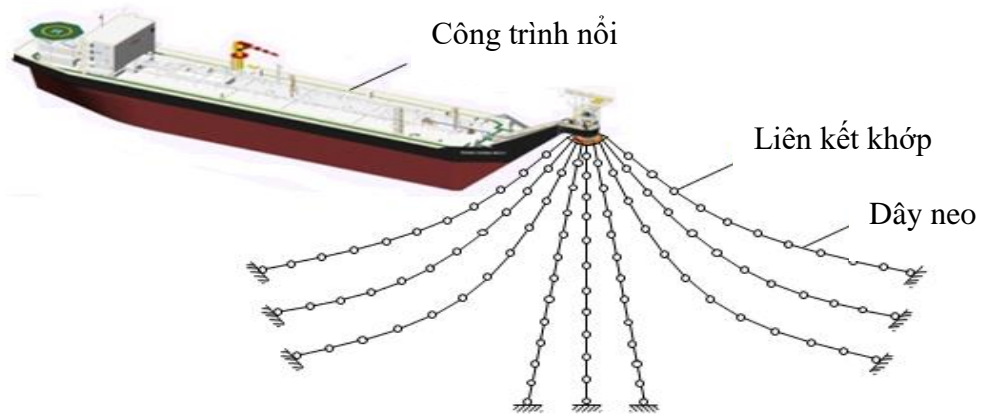
### 2.1. Mô hình hóa bài toán tính hệ dây neo mô hình không gian

Xét một CTBN dạng neo một điểm bằng các dây neo vũng (hình 2.1)



**Hình 2.1.** CTBN được neo bởi hệ dây neo dạng neo một điểm

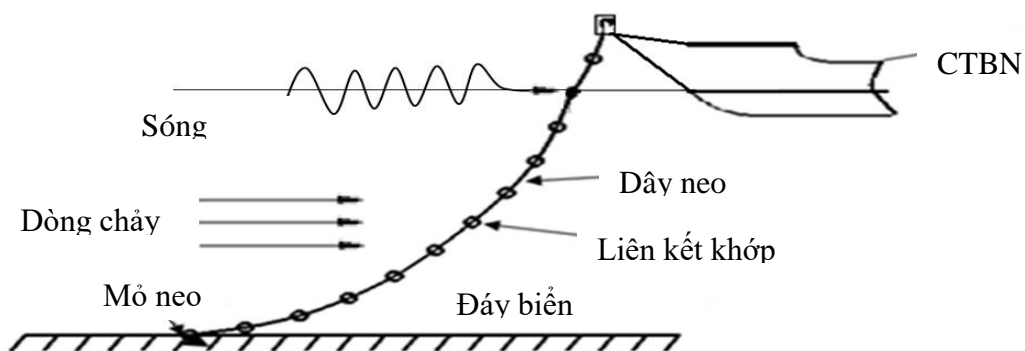
Để xây dựng mô hình tính hệ dây neo không gian tác giả dựa trên cơ sở phân tích hệ dây neo, dây neo và phần tử dây neo trong điều kiện làm việc của kết cấu dây neo. Dưới tác dụng của tải trọng từ CTBN, mỗi dây neo trong hệ dây neo CTBN ở những vị trí tọa độ khác nhau sẽ chịu tải trọng khác nhau. Để xác định được lực căng xuất hiện trong mỗi dây neo, đề tài sử dụng sơ đồ hệ dây neo không gian, áp dụng phương pháp PTHH sẽ mô hình hóa hệ dây neo thành một hệ không gian gồm các phần tử liên kết với nhau thông qua các khớp, được gọi là mô hình hệ thanh giàn không gian (hình 2.2).



**Hình 2.2. Mô hình hóa hệ dây neo theo mô hình không gian**

### 2.1.1. Phân tích dây neo trong hệ

Trong nghiên cứu tính toán động lực học dây neo, cần tìm lời giải số cho các ẩn số là chuyển vị, ứng suất tại mỗi điểm trong kết cấu. Với bài toán hệ dây neo không gian cần xác định được phương trình dao động kết cấu hệ dây neo và giải hệ phương trình này. Với mô hình toán học áp dụng phương pháp PTHH [19,20] có thể thực hiện tính toán được nội lực cũng như xác định chuyển vị của dây neo. Phân tích sự làm việc một dây neo trong hệ, 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 lên dây neo (hình 2.3).



**Hình 2.3. Mô hình hóa một dây neo thành các phần tử thanh liên kết khớp**

### 2.1.2. Phân tích phần tử dây neo

Theo phương pháp PTHH, hệ thanh không gian gồm 2 loại là hệ thanh khung không gian và hệ thanh giàn không gian [19,20].

Phân tích hệ khung không gian: Phần tử thanh khung có liên kết cứng, như vậy một phần tử thanh khung không gian gồm 2 nút, tại mỗi nút sẽ có 6 chuyển vị: 3 chuyển vị thẳng, 3 chuyển vị xoay. Như vậy một phần tử khung không gian có 12 bậc tự do, có biến dạng dọc trục và biến dạng xoắn.

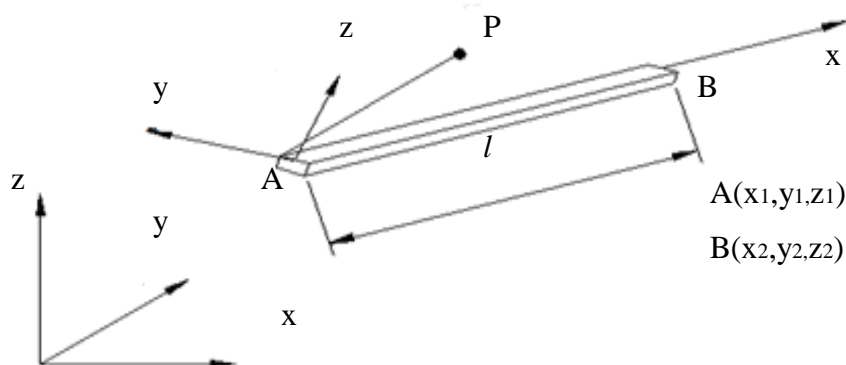
Tuy nhiên hệ dây neo là hệ mềm, ta mô hình hóa sự liên kết giữa các phần tử là các liên kết khớp, vì vậy các phần tử thanh của dây neo sẽ được đặt vào hệ không gian gọi là hệ giàn không gian, là một hệ gồm các thanh chịu kéo nén dọc trục (đúng tâm) hay nói cách khác là chịu biến dạng dọc trục [47]. Theo phương pháp PTHH, phần tử chịu kéo nén dọc trục, không chịu uốn là những phần tử được liên kết với nhau bởi liên kết khớp. Do vậy khác với phần tử thanh khung, một phần tử thanh giàn không gian có liên kết khớp ở 2 đầu chỉ có biến dạng dọc trục, nghĩa là một phần tử thanh giàn không gian có 6 bậc tự do, tại mỗi nút sẽ có 3 chuyển vị thẳng theo 3 trục. Hình 2.4 xét một phần tử thanh giàn không gian, trên phần tử này có gắn một hệ tọa độ địa phương xyz. Trục x nằm dọc theo phần tử, gốc của hệ tọa độ đặt tại nút đầu của phần tử.



**Hình 2.4. Phần tử thanh giàn không gian trong hệ tọa độ địa phương**

- $u_1$  - chuyển vị thẳng theo trục x của nút đầu;
- $u_2$  - chuyển vị thẳng theo trục y của nút đầu;
- $u_3$  - chuyển vị thẳng theo trục z của nút đầu;
- $u_4$  - chuyển vị thẳng theo trục x của nút cuối;
- $u_5$  - chuyển vị thẳng theo trục y của nút cuối;
- $u_6$  - chuyển vị thẳng theo trục z của nút cuối.

Nếu đặt phần tử giàn không gian trong hệ tọa độ tổng thể, trong đó trục x luôn hướng theo trục phần tử, thì trục y, z tạo với trục x thành một tam diện thuận (hình 2.5).



**Hình 2.5. Phần tử giàn không gian trong hệ tọa độ tổng thể**

Dựa vào tọa độ của nút đầu và nút cuối phương trục x luôn xác định.

Trục z được xác định bằng cách khai báo thêm điểm P là điểm nằm trong mặt xy, do z vuông góc với mặt phẳng xpy nên:  $\vec{z}_P = \vec{x}_P \times \vec{y}_P$ .

Hướng của y được xác định theo x và z:  $\vec{y}_P = \vec{z}_P \times \vec{x}_P$ .

Tích có hướng của 2 véc tơ được định nghĩa như sau:  $\vec{c}_P = \vec{a}_P \times \vec{b}_P$ .

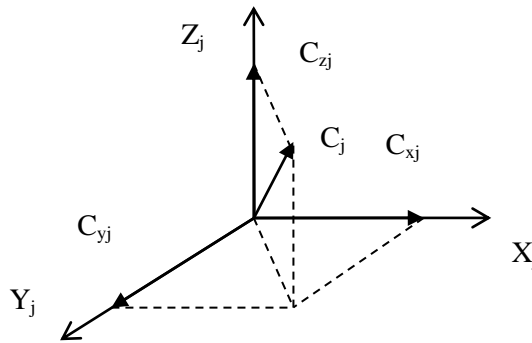
Về mặt hình học véc tơ  $\vec{c}_P$  có phương vuông góc với mặt phẳng được tạo bởi hai véc tơ  $\vec{a}_P$  và  $\vec{b}_P$ , độ lớn của  $\vec{c}_P$  bằng diện tích của hình bình hành do  $\vec{a}_P$  và  $\vec{b}_P$  tạo ra.

Về mặt giải tích nếu:  $\vec{a}_P = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$ ;  $\vec{b}_P = \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix}$  thì véc tơ  $\vec{c}_P$  được xác định:

$$\vec{c}_P = \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{pmatrix} = \det \begin{bmatrix} i_P & j_P & k_P \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ -(a_x b_z - a_z b_x) \\ a_x b_y - a_y b_x \end{bmatrix}.$$

Phương của một phần tử dây neo bất kỳ được xác định bởi các cosin chỉ phương.

Xét phần tử nằm xiên trong không gian, phần tử thứ  $j$  được đặc trưng bởi véc tơ đơn vị  $c_j$  dọc theo trục thanh và các véc tơ chỉ phương tương ứng:  $c_{xj}$ ,  $c_{yj}$ ,  $c_{zj}$  (hình 2.6).



**Hình 2.6. Cosin chỉ phương**

Cosin chỉ phương của véc tơ  $C_j$  là cos của các góc giữa vectơ đó và ba trục tọa độ được xác định:

$$\begin{cases} \cos(c_j, x_j) = \frac{c_{xj}}{\sqrt{c_{xj}^2 + c_{yj}^2 + c_{zj}^2}} \\ \cos(c_j, y_j) = \frac{c_{yj}}{\sqrt{c_{xj}^2 + c_{yj}^2 + c_{zj}^2}} \\ \cos(c_j, z_j) = \frac{c_{zj}}{\sqrt{c_{xj}^2 + c_{yj}^2 + c_{zj}^2}} \end{cases} \quad (2.1)$$

### 2.1.3. Điều kiện biên của hệ

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

## 2.2. Cơ sở lý thuyết

Để giải quyết mô hình tính toán động lực học hệ dây neo không gian, cần phân tích cơ sở lý thuyết sau:

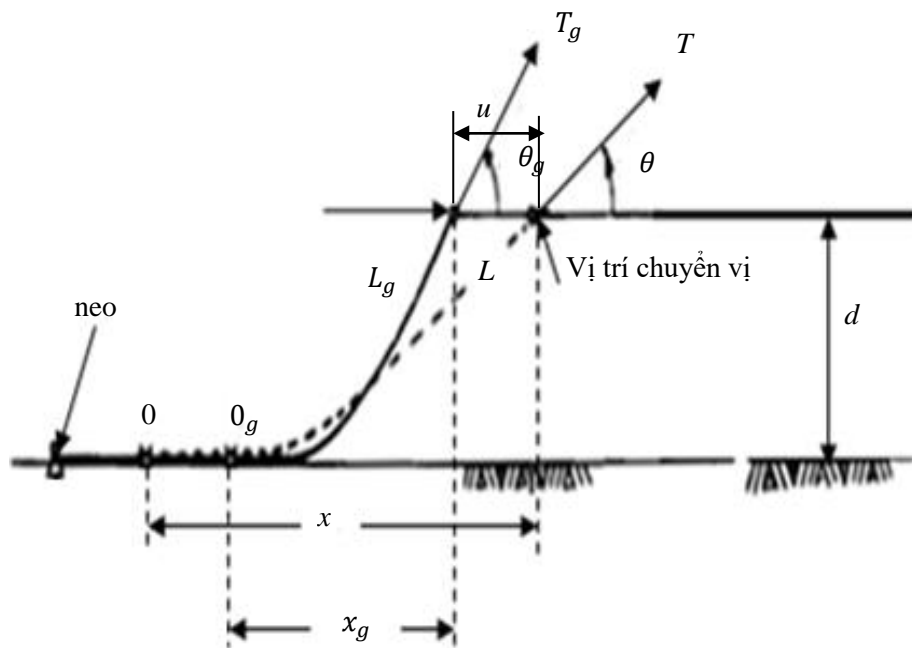
- Phân tích dây neo khi dây neo chịu tải trọng bản thân;
- Lý thuyết sóng trong tính toán động học thông số sóng ngẫu nhiên, từ đó xác định tải trọng sóng tác dụng lên dây neo;
- Lý thuyết dòng chảy dùng để xác định tải trọng dòng chảy tác dụng lên dây neo;
- Công thức Morrison trong tính toán các tải trọng tác dụng lên các phần tử dây neo;
- Áp dụng phương pháp PTHH thiết lập hệ số hệ phương trình vi phân dao động;
- Áp dụng phương pháp phân tích động lực học kết cấu phi tuyến theo miền thời gian cụ thể là phương pháp Newmark.

### 2.2.1. Phân tích dây neo khi chịu tải trọng bản thân

Xét một công trình nổi được neo bởi dây neo (hình 2.7)

$L$  - chiều dài đường dây neo, m;

$d$  - độ sâu nước, m.



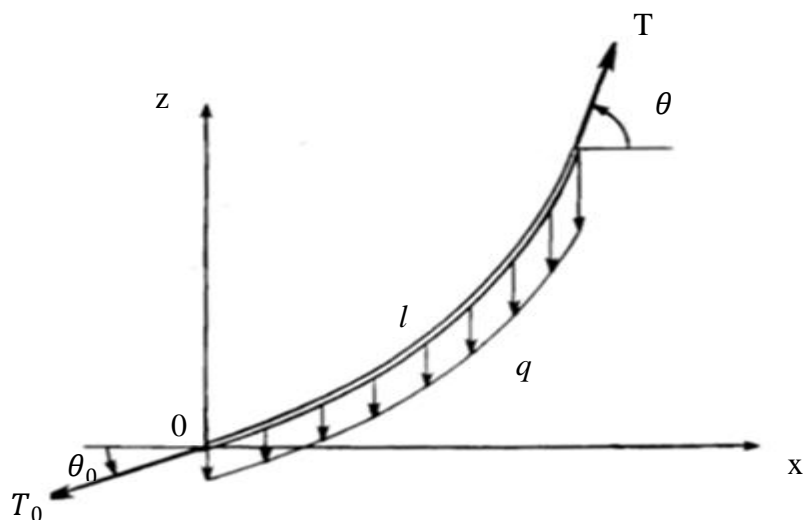
**Hình 2.7. Sơ đồ hệ thống neo vật nổi**

Xét một đoạn dây neo (hình 2.8)

$l$  - chiều dài đoạn dây neo, m;

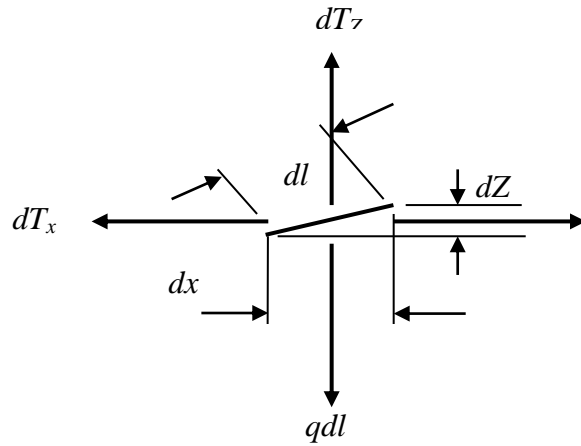
$q$  - trọng lượng trên một đơn vị chiều dài, kN/m;

$T$  - lực căng trong dây neo, kN.



**Hình 2.8. Sơ đồ đoạn dây neo chịu tải trọng bản thân**

Xét cân bằng phân tố dây neo (hình 2.9).



**Hình 2.9. Sơ đồ cân bằng phân tố dây neo**

Theo phương thẳng đứng, để phân tố dây neo cân bằng, ta có:

$$dT_z = qdl, \text{ với } dl = \sqrt{dx^2 + dz^2}$$

Biên đổi ta được:  $dT_z = q \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2} dx$  (2.1)

Do dây không chịu uốn nên ta có cân bằng mô men [40,60]:

$$dT_z = dT_x dz$$

Thay (2.1) vào có:  $dT_x \frac{dz}{dx} = q \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2}$  (2.2)

Đạo hàm theo x có phương trình cân bằng cho phân đoạn dây neo:

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{q}{T_x} \left[ 1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

Phương trình cân bằng đoạn dây neo theo phương ngang và đứng:

$$\begin{cases} T_x = T_0 \cos(\theta_0) = T \cos(\theta) \\ T_z \sin(\theta) - T_0 \sin(\theta_0) = ql \end{cases} \quad (2.4)$$

Chiều dài đoạn dây neo được xác định [40,60]:

$$l = \int_0^x \left[ 1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2 \right]^{1/2} . \quad (2.5)$$



Nếu đặt 
$$c = \frac{T_x}{q}. \quad (2.6)$$

Từ đó xác định giá trị nghiệm của phương trình cân bằng đoạn dây neo như sau:

$$\begin{cases} x(l) = c \cdot \operatorname{arcsinh} \left[ \frac{l}{c} + \tan(\theta_0) \right] - c \cdot \operatorname{arcsin}[\tan(\theta_0)]. \\ z(x) = c \cdot \operatorname{cosh} \left[ \frac{x}{c} + \operatorname{arcsin}(\tan(\theta_0)) \right] - c \cdot \operatorname{cosh}[\operatorname{arcsin}(\tan(\theta_0))] \end{cases} \quad (2.7)$$

Thay  $x(l)$  vào  $z(x)$  ta được tọa độ  $z$  theo chiều dài  $l$  của dây neo:

$$z(l) = c \cdot \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{l}{c} + \tan(\theta_0) \right)^2 \right]^{1/2} - \sec(\theta_0) \right\}. \quad (2.8)$$

Chiều dài dây neo tính theo tọa độ  $x$ :

$$l(x) = c \cdot \left\{ \sinh \left[ \frac{x}{c} + \operatorname{arcsin}(\tan(\theta_0)) \right] - \tan(\theta_0) \right\}. \quad (2.9)$$

Ta có: 
$$T = \sqrt{T_x^2 + T_z^2}.$$

Thay  $T_z$  theo phương trình cân bằng phương đứng:  $T_z = ql + T_x \tan(\theta_0)$

Ta được lực căng dọc theo dây neo:

$$T(l) = T_x \sqrt{1 + \left( \frac{l}{c} + \tan(\theta_0) \right)^2}. \quad (2.10)$$

Lực căng tại vị trí đầu dây neo có chiều dài là  $L$ :

$$T(l) = T_x \sqrt{1 + \left( \frac{L}{c} + \tan(\theta_0) \right)^2}. \quad (2.11)$$

Lực căng tại chân dây neo:

$$T_0 = T_x \sqrt{1 + (\tan(\theta_0))^2}. \quad (2.12)$$

Từ (2.4) ta xác định được góc  $\theta$ :  $\theta = \arccos\left(\frac{T_x}{T}\right)$ . (2.13)

Từ đó xác định:  $T_z = T \cdot \sin\theta$ . (2.14)

Trường hợp chiều dài dây neo thỏa mãn:

- Góc hợp bởi dây neo tại điểm đầu  $\theta_0 = 0$  với độ sâu nước  $z = z_0 = d$

- Vừa đủ để không có đoạn nào nằm trên đất thì chiều dài dây neo là chiều dài giới hạn của đường dây neo, ký hiệu  $L_g$  (hình 2.7).

Ta có thể xác định chiều dài dây neo giới hạn như sau:

$$x_g = c \cdot \operatorname{arccosh}\left(\frac{d+c}{c}\right). \quad (2.15)$$

$$L_g = c \cdot \sinh\left(\frac{x_g}{c}\right). \quad (2.16)$$

Xác định được tọa độ  $x$  và  $z$  tương ứng:

$$x = c \cdot \arcsin\left(\frac{l}{c}\right); z = c \cdot \left[\cosh\left(\frac{x}{c}\right) - 1\right]. \quad (2.17)$$

Khi lực ngang tác dụng vào đầu dây neo thay đổi, đầu dây neo sẽ dịch chuyển. Ký hiệu  $u$  là chuyển vị đầu dây neo, ta có công thức:

$$u = L_g - L + x - x_g. \quad (2.18)$$

## 2.2.2. Công thức Morrison

### 2.2.2.1. Tải trọng tác dụng lên thanh đặt thẳng đứng

Xét 1 thanh hình trụ nằm thẳng đứng trong chất lỏng, chất lỏng chuyển động với vận tốc, gia tốc theo phương nằm ngang là  $v$ ,  $a$  thanh hình trụ cũng chuyển động theo phương nằm ngang với vận tốc, gia tốc tương ứng là  $u$ ,  $\ddot{u}$ .

Theo Morrison, lực do chất lỏng tác dụng lên 1 đơn vị chiều dài phần tử hình trụ [8]:

$$q = q_M + q_D, \quad (2.19)$$

$q_M$ - lực quán tính do các phần tử chất lỏng chuyển động có gia tốc tác dụng lên thanh hình trụ, kN.

$$q_M = \rho_n \cdot A \cdot a + C_a \cdot \rho_n \cdot A(a - \ddot{u}), \quad (2.20)$$

$\rho_n$ - khối lượng riêng của nước, kg/m<sup>3</sup>;

$A$  - diện tích tiết diện ngang của thanh, m<sup>2</sup>;

$C_a$ - hệ số khối lượng phụ thuộc vào hình dạng tiết diện trụ [8,37,59];

$q_D$  - lực cản ma sát gây nên do ma sát giữa dòng chảy và mặt trụ, kN.

$$q_D = \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v - \dot{u}|(v - \dot{u}), \quad (2.21)$$

$D$  - kích thước ngang lớn nhất của tiết diện thanh hình trụ thẳng góc với phương của dòng chảy, m;

$C_D$  - hệ số lực cản, phụ thuộc vào hình dạng tiết diện, số Reynolds của dòng chảy và độ nhám bề mặt của hình trụ [8,37,59].

Như vậy lực tác dụng của chất lỏng lên 1 phần tử chiều dài hình trụ:

$$q = \rho_n \cdot A \cdot a + C_a \cdot \rho_n \cdot A \cdot (a - \ddot{u}) + \frac{1}{2} C_D \cdot \rho_n \cdot D |v - \dot{u}|(v - \dot{u}), \quad (2.22)$$

Đối với thanh cố định thì  $\dot{u} = 0$  và  $\ddot{u} = 0$ .

Công thức Morrison được viết lại:

$$q = q_M + q_D = C_M \cdot \rho_n \cdot A \cdot a + \frac{1}{2} C_D \cdot \rho_n \cdot D |v|v, \quad (2.23)$$

$C_M$  - hệ số lực quán tính,  $C_M = 1 + C_a$ .

#### **2.2.2.2. Tải trọng tác dụng lên thanh đặt xiên trong không gian**

Trong thực tế, dây neo có vị trí bất kỳ khi được chia thành nhiều phần tử thì các phần tử này không nằm thẳng đứng mà xiên trong không gian, một

phần tử thứ  $j$  đặc trưng bởi vectơ đơn vị  $c_j$ , các cosin chỉ phương tương ứng là  $c_{xj}$ ,  $c_{yj}$ ,  $c_{zj}$  (hình 2.6).

Chiếu thành phần véc tơ vận tốc và gia tốc lên 2 phương vuông góc và dọc trục của thanh ta có [8]:

Thành phần vận tốc theo phương dọc trục phần tử:

$$\begin{cases} v_{tx} = (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{xj} \\ v_{ty} = (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{yj} \\ v_{tz} = (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{zj} \end{cases} \quad (2.24)$$

Thành phần vận tốc theo phương vuông góc với trục phần tử:

$$\begin{cases} v_{nx} = v_x - (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{xj} \\ v_{ny} = v_y - (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{yj} \\ v_{nz} = v_z - (v_x c_{xj} + v_y c_{yj} + v_z c_{zj}) c_{zj} \end{cases} \quad (2.25)$$

Tương tự thành phần gia tốc theo phương vuông góc với trục phần tử:

$$\begin{cases} a_{nx} = a_x - (a_x c_{xj} + a_y c_{yj} + a_z c_{zj}) c_{xj} \\ a_{ny} = a_y - (a_x c_{xj} + a_y c_{yj} + a_z c_{zj}) c_{yj} \\ a_{nz} = a_z - (a_x c_{xj} + a_y c_{yj} + a_z c_{zj}) c_{zj} \end{cases} \quad (2.26)$$

Từ công thức (2.23), thay  $a$  và  $v$  bằng  $a_n$  và  $v_n$  tải trọng phân bố vuông góc với trục phần tử:

$$\begin{cases} q_{nx} = C_M \rho_n A a_{nx} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{nx}| v_{nx} \\ q_{ny} = C_M \tilde{n}_n A a_{ny} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{ny}| v_{ny} \\ q_{nz} = C_M \rho_n A a_{nz} + \frac{1}{2} C_D \rho_n D |v_{nz}| v_{nz} \end{cases} \quad (2.27)$$

Thay thế  $v$  bằng  $v_t$ , xác định tải trọng phân bố dọc trục phần tử:

$$\begin{cases} q_{tx} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{tx}| v_{tx} \\ q_{ty} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{ty}| v_{ty} \\ q_{tz} = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho_n D |v_{tz}| v_{tz} \end{cases} \quad (2.28)$$

Theo DNV- GL [37]:  $C_D = C_{DS}(\Delta) \cdot \psi(K_C)$ , (2.29)

$C_{DS}$  - hệ số lực cản phụ thuộc vào độ nhám;

$\Delta$  - độ nhám của phần tử, m;

$K_c$  - số Keulegan - Carpenter;  $K_c = \frac{v_m T_m}{D}$ ;

$\psi$  - hệ số dòng theo, tra theo đồ thị (hình 2.10. Phụ lục);

$T_m$  - chu kỳ sóng, s;

$v_m$  - Vận tốc lớn nhất của phần tử nước, m/s.

$C_{DS}$  xác định theo công thức [37]:

$$\text{Nếu} \begin{cases} \Delta < 10^{-4} \text{ thì } C_{DS}(\Delta) = 0,65; \\ 10^{-4} < \Delta < 10^{-2} \text{ thì } C_{DS}(\Delta) = (29 + 4 \cdot \log_{10}(\Delta))/20; \\ \Delta > 10^{-2} \text{ thì } C_{DS} = 1,05. \end{cases} \quad (2.30)$$

$C_a$  - hệ số khối lượng, được xác định [37]:

$$\begin{cases} K_c < 3 \text{ khi đó } C_a = 1; \\ K_c > 3 \text{ khi đó } C_a \text{ được xác định: } C_a = \max \begin{cases} 1 - 0,044(K_c - 3) \\ 0,6 - (C_{DS} - 0,65) \end{cases} \end{cases} \quad (2.31)$$

$$C_{Dt} - \text{hệ số lực cản tiếp tuyến, } C_{Dt} = C_{Dn}(m + n \cdot \sin \zeta) \cos \zeta, \quad (2.32)$$

$C_{Dn}$  - hệ số lực cản pháp tuyến, theo DNV- GL:  $C_{Dn} = C_D$ .

$m, n$  - hệ số xác định theo bảng [37], đối với dạng thanh tiết diện trụ mảnh  $m = 0,02 \div 0,03$ ;  $n = 0,04 \div 0,05$ ;

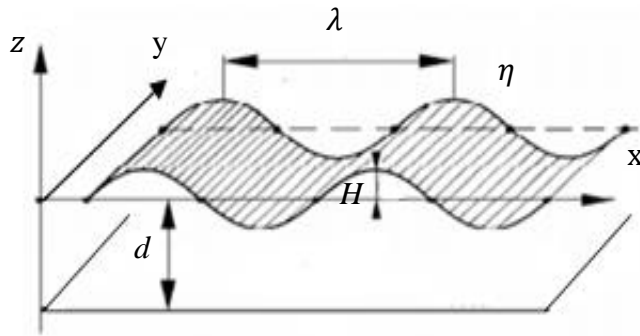
$\zeta$  - góc hợp giữa trục phần tử và véc tơ vận tốc phần tử nước.

Hoặc tra  $C_{Dt}$  theo đồ thị (hình 2.11. Phụ lục ).

### 2.2.3. Cơ sở lý thuyết sóng

Chuyển động sóng của chất lỏng là quá trình lan truyền dao động của mặt nước. Nguyên nhân gây ra sóng có thể là do các yếu tố chủ yếu sau [5]:

Sóng do tàu chuyển động; sóng do gió; sóng do dao động của nền; sóng thuỷ triều. Ta xét sóng do gió là chủ yếu. Sóng do gió gọi là sóng trọng lực (sóng dao động do trọng lượng bản thân). Trong lý thuyết sóng, chất lỏng coi như là chất lỏng lý tưởng, dòng chảy coi là dòng chảy thế (dòng chảy không có xoáy). Các đặc trưng chủ yếu của sóng được thể hiện trên hình 2.12.



**Hình 2.12. Sơ đồ biểu diễn các đặc trưng của sóng**

$d$  - độ sâu nước, m;

$\eta$  - độ lệch của profil sóng so với mặt nước lặng, m;

$H$  - chiều cao sóng, m;

$\lambda$  - chiều dài sóng, m.

### **2.2.3.1. Các phương trình chuyển động của sóng**

Để biểu diễn chuyển động của sóng cần hệ gồm 3 phương trình: phương trình Laplace, phương trình động học và phương trình động lực [35].

#### **- Phương trình Laplace**

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (2.33)$$

$\varphi$  - hàm thế vận tốc.

Các điều kiện ban đầu:

$$\varphi_0 = \varphi_0(x, y, z, 0); \quad \eta_0 = \eta_0(x, y, z, 0). \quad (2.34)$$

#### **- Phương trình biểu diễn điều kiện động học trên mặt nước**

Lấy vi phân toàn phần của  $\eta$  theo t:

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{dy}{dt}, \quad (2.35)$$

Trong đó:  $\frac{dz}{dt} = v_z; \frac{dx}{dt} = v_x; \frac{dy}{dt} = v_y.$

Phương trình điều kiện động học khi  $z = \eta$ :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (2.36)$$

**- Phương trình phương trình Lagrange**

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 + g\eta = 0 \right]. \quad (2.37)$$

### 2.2.3.2. Lý thuyết sóng tuyến tính [5,25,35,61]

Xét mô hình phẳng (không có thành phần tọa độ y), biên độ nhỏ và bỏ qua thành phần phi tuyến trong phương trình động học ta có hệ phương trình:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + g\eta = 0 \end{cases} \quad (2.38)$$

Các thông số của lời giải lý thuyết sóng tuyến tính được xác định theo các công thức:

$$\text{Hàm thế vận tốc: } \varphi = \frac{a_s g}{\omega \cdot \cosh(kd)} \cosh[k(z+d) \sin(kx - \omega t)]. \quad (2.39)$$

Phương trình dao động mặt nước viết dưới dạng thực có dạng:

$$\eta = \frac{a_s}{\cosh(kd)} \cosh k(z+d) \cos(kx - \omega t), \quad (2.40)$$

Khi  $z = 0$  ta có:

$$\varphi = \frac{a_s g}{\omega} \sin(kx - \omega t), \quad (2.41)$$

$$\eta = a_s \cdot \cos(kx - \omega t), \quad (2.42)$$

g - gia tốc trọng trường,  $m/s^2$ ;

$$k - \text{số sóng trong phạm vi chiều dài } 2\pi: \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (2.43)$$

$a_s$  - biên độ sóng, m;

$\omega$  - tần số góc của sóng, rad/s;

$$\omega = \sqrt{k \cdot g \cdot \tanh[k(z+d)]}. \quad (2.44)$$

$$\text{Khi } z = 0 \text{ và } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ thì: } \omega = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot g \cdot \tanh(kd)}. \quad (2.45)$$

$c_s$  - vận tốc lan truyền sóng, m/s, được tính:

$$c_s = \frac{\omega}{k}. \quad (2.46)$$

$T_m$  - chu kỳ sóng, s, được tính:

$$T_m = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (2.47)$$

Mối liên quan giữa các đại lượng đặc trưng của sóng phụ thuộc vào vùng nước như sau:

$0 < d/\lambda < 0,05$ : Vùng nước nông ( $\frac{d}{\lambda} \ll 1$ )

$$\text{Do} \quad \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \approx \frac{2\pi d}{\lambda}.$$

$$\text{Nên} \quad c_s = \sqrt{gd}; \quad \lambda = T_m \sqrt{gd}; \quad \omega = c_s \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (2.48)$$

$0,05 < d/\lambda < 0,5$ : Vùng nước trung gian

$$c_s = \frac{gT_m}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right); \quad \lambda = \frac{gT_m^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right); \quad \omega = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot g \cdot \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} \quad (2.49)$$

$0,5 < d/\lambda < \infty$ : Vùng nước sâu ( $d = \infty$ )

$$c_s = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \frac{gT_m}{2\pi}; \quad \lambda = \frac{gT_m^2}{2\pi}; \quad \omega = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda}} g. \quad (2.50)$$

Lấy đạo hàm hàm thế ta được vận tốc và gia tốc phần tử nước tại  $(x; z)$



$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}; a_x = \frac{\partial v_x}{\partial t}; a_z = \frac{\partial v_z}{\partial t}. \quad (2.51)$$

Thành phần vận tốc phân tử nước do sóng:

$$\text{Theo phương ngang: } v_x = \frac{a_s \cdot g \cdot k}{\omega \cdot \cosh(kd)} \cosh[k(z+d)] \cos(kx - \omega t) \quad (2.52)$$

$$\text{Theo phương đứng: } v_z = \frac{a_s \cdot g \cdot k}{\omega \cdot \cosh(kd)} \sinh[k(z+d)] \sin(kx - \omega t) \quad (2.53)$$

Thành phần gia tốc phân tử nước:

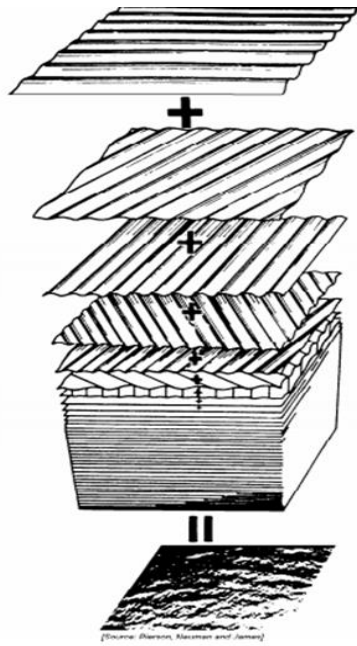
$$\text{Theo phương ngang: } a_x = \frac{a_s \cdot g \cdot k}{\cosh(kd)} \cosh[k(z+d)] \sin(kx - \omega t) \quad (2.54)$$

$$\text{Theo phương đứng: } a_z = -\frac{a_s \cdot g \cdot k}{\cosh(kd)} \sinh[k(z+d)] \cos(kx - \omega t) \quad (2.55)$$

### 2.2.3.3. Lý thuyết sóng thực

Trong thực tế, do các yếu tố về không gian, thời gian, các yếu tố của môi trường như đà gió, vận tốc gió, thời gian gió thịnh hành, áp suất không khí, chiều sâu mực nước ảnh hưởng đến sóng biển làm cho nó không có dạng điều hòa mà sóng biển có tính chất là một hàm ngẫu nhiên nên sóng, gió có tính chất rất bất thường phụ thuộc nhiều yếu tố của vùng biển đang xét, vì vậy sóng ở biển thể hiện tính địa phương rõ rệt [5,25,35,61]. Mặc dù vậy, chúng có thể được xem như sự chồng của nhiều sóng điều hòa thành phần thông thường, mỗi thành phần có biên độ, chiều dài, thời gian hoặc tần số và hướng truyền riêng được minh họa trong hình 2.13. Sóng thường được chia thành:

- Sóng nước sâu, đôi khi còn được gọi là sóng ngắn: Sóng không chịu ảnh hưởng của yếu tố đáy biển.
- Sóng nước nông: Sóng chịu ảnh hưởng nhiều bởi yếu tố đáy biển.



**Hình 2.13. Mô hình sóng thực**

Như vậy cơ chế tạo thành sóng biển do phụ thuộc nhiều yếu tố rất phức tạp nên việc mô tả mặt sóng một cách đúng đắn và chính xác các thông số đặc trưng sóng rất phức tạp. Có thể mô tả sóng theo các cách như sau [5,25,61]:

- Coi mặt sóng biển là tổ hợp của nhiều sóng riêng biệt rời rạc, mỗi sóng riêng biệt ấy được đặc trưng bằng chiều cao sóng, chu kỳ sóng và pha sóng khác nhau. Như vậy có thể mô tả sóng ngẫu nhiên không điều hòa bằng tổ hợp tuyến tính một số lượng lớn các sóng điều hòa thành phần. Các sóng điều hòa thành phần này có biên độ, tần số, góc pha và hướng khác nhau.

- Mặt sóng biển được mô tả bằng các đặc trưng thống kê của chiều cao sóng. Số liệu quan trắc thực tế cho thấy tung độ của mặt sóng biển biến đổi ngẫu nhiên theo không gian và thời gian, ký hiệu  $\eta(x, y, z, t)$  và thường được mô tả bằng mô hình xác suất.

Phương pháp để mô tả sóng theo quá trình ngẫu nhiên, tùy thuộc vào xử lý thống kê các số liệu sóng.

- 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  $S_{\eta\eta}(\omega)$ .

- Phương pháp sóng thiết kế: Mô tả các thông số sóng theo tần suất đảm bảo, phù hợp quy định của quy phạm hay tiêu chuẩn thiết kế công trình biển.

#### 2.2.3.4. Phổ sóng

Năng lượng của sóng bao gồm động năng và thế năng của sóng. Có thể biểu diễn năng lượng  $E_S$  của sóng không điều hòa như sau [8,54]:

$$E_S = \rho g \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S_{\eta\eta}(\omega, \bar{\mu}) d\omega d\bar{\mu}, \quad (2.56)$$

Trong đó  $S_{\eta\eta}(\omega, \bar{\mu})$  gọi là phổ năng lượng theo hướng  $\bar{\mu}$  của sóng. Góc  $\bar{\mu}$  được tính từ hướng chính của gió gây ra sóng, có thể biểu diễn  $S_{\eta\eta(\omega, \bar{\mu})}$  gần đúng đơn giản hơn.

$$S_{\eta\eta(\omega, \bar{\mu})} = S_{\eta\eta}(\omega)M(\bar{\mu}), \quad (2.57)$$

$\bar{\mu}$  – góc phương vị;

$S_{\eta\eta(\omega, \bar{\mu})}$  - phổ năng lượng của sóng đỉnh dài đơn hướng;

$M(\bar{\mu})$  - hàm của góc  $\bar{\mu}$ , có giá trị cực đại lúc  $\bar{\mu} = 0$  và có giá trị cực tiểu lúc  $\bar{\mu} = \pm\pi/2$  và thỏa mãn điều kiện:

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} M(\bar{\mu}) = 1.$$

Theo Germany Lloyd có thể lấy:

$$M(\bar{\mu}) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \bar{\mu}. \quad (2.58)$$

Nếu biết chiều cao sóng đáng kể và chu kỳ sóng trung bình của một trạng thái biển ngắn hạn, có thể tính toán phổ sóng đơn hướng  $S_{\eta\eta}(\omega)$  theo các công thức kinh nghiệm.

Cũng giống như số liệu thống kê chiều cao sóng, người ta đã mô tả phổ tần số sóng theo một dạng chuẩn. Hai dạng phổ thông thường được tìm thấy trong các tài liệu là phổ Jonswap (Đề án phối hợp khảo sát sóng biển Bắc - Joint North Sea Wave Project) và phổ Pierson-Moskowitz. Các công thức toán học của các phổ năng lượng sóng đơn hướng chuẩn hóa này dựa trên hai tham số: chiều cao sóng đáng kể  $H_s$  và chu kỳ đỉnh phổ  $T_p$ .

- Phổ Pierson-Moskowitz (P-M) [59]:

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right), \quad (2.59)$$

$H_s$ - chiều cao sóng đáng kể, m;

$\omega_p$ - tần số đỉnh phổ, rad/s:  $\omega_p = 2\pi/T_p$ .

$T_p$ - chu kỳ đỉnh phổ, s:

$$T_p = 1,408 \cdot T_z, \quad (2.60)$$

$T_z$ - chu kỳ cắt không, s, xác định theo [8]:

$$T_z = T_m / 1,086. \quad (2.61)$$

Phổ sóng được lấy trong khoảng từ  $\omega_s$  đến  $\omega_f$  [59]:

$$\omega_s = 0,58 \cdot \frac{2\pi}{T_z}; \quad \omega_f = 5,1101 \cdot \frac{2\pi}{T_z}. \quad (2.62)$$

$$\text{Biên độ sóng tại thời điểm } i \text{ [5]: } a_{s_i} = \sqrt{2s(\omega_i)\Delta\omega}, \quad (2.63)$$

Trong đó:

$$\Delta\omega \text{ được tính: } \Delta\omega = \frac{\omega_f - \omega_s}{N}. \quad (2.64)$$

$s(\omega_i)$  - phổ sóng;

$N$  - số con sóng.

- Phổ Jonswap:

$S_{JS}(\omega)$  xác định tương tự như phổ P-M trong trạng thái biển ngắn hạn.

Phổ Jonswap có dạng [5]:

$$S_{JS}(\omega) = wg^2 \omega^{-5} \exp \left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{\omega}{\omega_p} \right)^4 \right] \gamma^{\exp \left[ \frac{\left( \frac{\omega}{\omega_p} - 1 \right)^2}{2\sigma^2} \right]}, \quad (2.65)$$

$w$  - tham số của phổ, là tham số không thứ nguyên;

Theo DNV-GL[37] hoặc xác định theo [59]:

$$S_{JS}(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp \left[ -0,5 \left( \frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p} \right)^2 \right]}, \quad (2.66)$$

$S_{PM}(\omega)$  - công thức của phổ P-M;

$\gamma$  - thông số hình dáng đỉnh phổ;

$\sigma$  - thông số độ rộng đỉnh phổ;

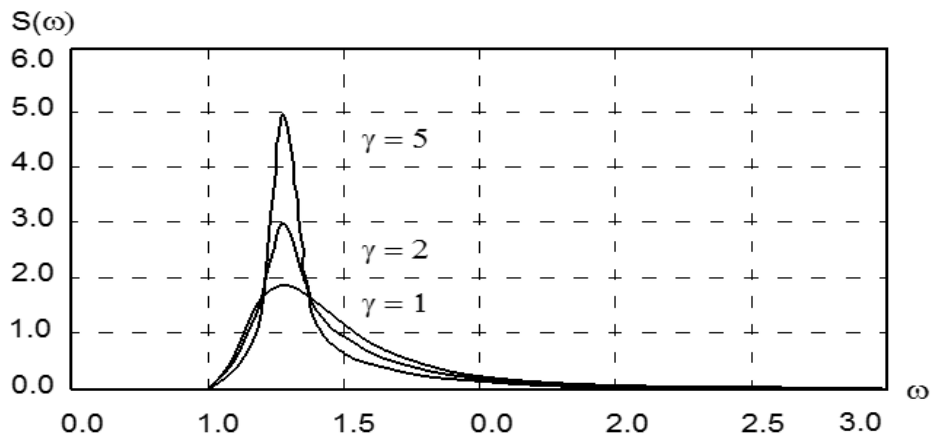
$$A_\gamma - \text{chỉ số chuẩn của phổ: } A_\gamma = 1 - 0,287 \ln(\gamma). \quad (2.67)$$

Nếu không cho các giá trị riêng,  $\gamma$  được lấy như sau (hình 2.14):

$$\gamma = 5 \text{ đối với } \frac{T_p}{\sqrt{H_S}} \leq 3,6; \quad (2.68)$$

$$\gamma = \exp \left( 5,75 - 1,15 \frac{T_p}{\sqrt{H_S}} \right) \text{ đối với } 3,6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_S}} < 5; \quad (2.69)$$

$$\gamma = 1 \text{ đối với } 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_S}} : \text{ Phổ Jonswap trùng với Phổ P-M.} \quad (2.70)$$



**Hình 2.14. Phổ Jonswap khi  $H_S = 4.0$  m,  $T_p = 8.0$  s trong các trường hợp  $\gamma = 1$  (phổ P-M),  $\gamma = 2$ ,  $\gamma = 5$**

Dải tần số tính toán của phổ được lấy:

$$\omega_s = \omega_p \left( 0.58 + 0.05 \frac{\gamma - 1}{19} \right); \quad \omega_f = \omega_p F(\gamma). \quad (2.71)$$

$F(\gamma)$  - phụ thuộc  $\gamma$  được lấy theo bảng 2.1. (Phụ lục).

### 2.2.3.5. Mặt sóng ngẫu nhiên và các đại lượng động học của sóng

Các kích động của sóng truyền tới từ các vùng khác nhau là không đồng pha và là động lực gây ra sự biến đổi ngẫu nhiên của độ lệch mặt nước. Sự biến đổi này được mô tả như tổng vô hạn các sóng điều hòa với các độ lệch pha ngẫu nhiên. Phương trình mặt sóng ngẫu nhiên được xác định [5,59,61]:

$$\eta(x, t) = \sum_{i=1}^N \left( a_{s_i} \cdot \cos(k_i x - \omega_i \cdot t + \alpha_i) \right), \quad (2.72)$$

$a_{s_i}$  - biên độ sóng ngẫu nhiên;

$k_i$  - số sóng ngẫu nhiên;

$\omega_i$  - tần số sóng ngẫu nhiên;

$\alpha_i$  - góc lệch pha ngẫu nhiên.

Các góc pha ngẫu nhiên  $\alpha_i$  được giả thiết phân bố đều trong khoảng từ  $0 \div 2\pi$ , nghĩa là sao cho sự xuất hiện giá trị bất kỳ của nó là đồng xác suất.

Theo các công thức từ (2.52) đến (2.55), xác định được các thông số động học của sóng ngẫu nhiên như sau:

$$v_x(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{a_{si}}{\omega_i} \frac{gk_i}{\cosh(k_id)} \cosh[k_i(z+d)] \cos(k_ix - \omega_it + \alpha_i) \right]. \quad (2.73)$$

$$v_z(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{a_{si}}{\omega_i} \frac{gk_i}{\cosh(k_id)} \sinh[k_i(z+d)] \sin(k_ix - \omega_it + \alpha_i) \right]. \quad (2.74)$$

$$a_x(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ a_{si} \frac{gk_i}{\cosh(k_id)} \cosh[k_i(z+d)] \sin(k_ix - \omega_it + \alpha_i) \right]. \quad (2.75)$$

$$a_z(x, z, t) = \sum_{i=1}^N \left[ a_{si} \frac{gk_i}{\cosh(k_id)} \sinh[k_i(z+d)] \cos(k_ix - \omega_it + \alpha_i) \right]. \quad (2.76)$$

## 2.2.4. Lý thuyết dòng chảy

### 2.2.4.1. Các loại dòng chảy

Sự di chuyển của nước biển từ nơi này sang nơi khác trong biển hay đại dương gọi là dòng chảy biển [5]. Ở ngoài khơi đại dương dòng chảy biển di chuyển và lôi cuốn những khối nước lớn, sự chuyển động này diễn ra trên hàng nghìn km. Ở biển và các thềm lục địa, dòng chảy có quy mô nhỏ hơn.

Theo cách phân loại sẽ quyết định phương pháp tính dòng chảy, có nhiều cách phân loại dòng chảy, theo nguyên nhân hình thành dòng chảy gây ra do thủy triều, dòng chảy gây ra do gió, dòng chảy gây ra do động đất, núi lửa vv.... Khi nghiên cứu thủy văn biển, còn phân biệt dòng chảy cố định, dòng chảy tuần hoàn, dòng chảy tạm thời. Theo sự phân bố độ sâu, phân biệt dòng chảy mặt, dòng chảy sâu, dòng chảy sát đáy. Theo nhiệt độ, có dòng chảy nóng, dòng chảy lạnh. Theo tính chất chuyển động, chia dòng chảy thành dòng uốn khúc, dòng chảy thẳng, dòng chảy xoáy thuận, dòng chảy xoáy nghịch.

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

Nhìn chung chủ yếu xét 2 yếu tố chính xác định dòng chảy là triều và gió. Tại độ sâu  $z$  bất kỳ:

$$V_{dc}(z) = V_{dc}^{tr}(z) + V_{dc}^g(z), \quad (2.77)$$

$V_{dc}^{tr}(z)$  - vận tốc dòng chảy do triều, m/s;

$V_{dc}^g(z)$  - vận tốc dòng chảy do gió, m/s.

Theo DNV-GL[37]: Do ma sát ở đáy biển nên profil dòng chảy có dạng một lớp biên rôi, vận tốc của nó giảm từ mặt đến đáy theo luật:

$$V_{dc}^{tr}(z) = V_{dc}^0 \left( \frac{d+z}{d} \right)^{1/7}, \text{ với } z \leq 0 \quad (2.78)$$

Trong đó:  $V_{dc}^0$  - vận tốc dòng chảy triều vùng nước lặn, m/s.

Dòng chảy gây ra do gió là dòng chảy trên mặt biển được tạo ra do ma sát ở lớp biên rôi giữa nước và không khí. Khác với chuyển động của sóng trọng lực do gió gây ra, dòng chảy do gió gắn liền với sự di chuyển tịnh tiến một khối lượng nước từ nơi này sang nơi khác.

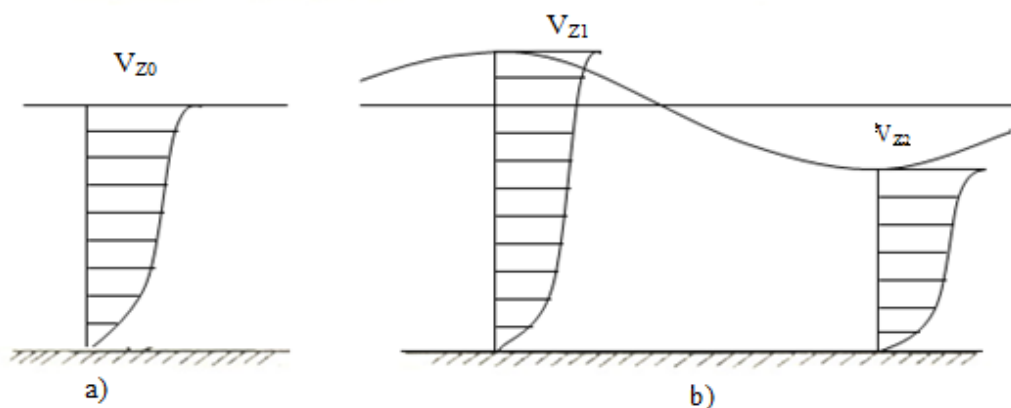
$$V_{dc}^g(z) = \begin{cases} V_{dc}^g \left( \frac{d_0+z}{d_0} \right) & \text{khi } 0 \geq z \geq -d_0 \\ 0 & \text{khi } z < -d_0 \end{cases}, \quad (2.79)$$

Trong đó:  $d_0$  - độ sâu nước chịu ảnh hưởng của vận tốc gió, m.

Vận tốc của dòng chảy cũng giảm dần theo độ sâu. Nếu không có các quan sát chính xác, có thể lấy vận tốc dòng chảy trên mặt bằng 1% vận tốc trung bình của gió trong một giờ ở độ cao 10 m.

Như vậy khi không kể đến tác dụng của sóng, vận tốc dòng chảy được xác định theo công thức (2.77) như hình 2.15a. Khi kể đến tác dụng của sóng thì mặt nước sẽ thay đổi thể hiện như hình 2.15b. sao cho  $V_{z0}=V_{z1}=V_{z2}$  [13].





**Hình 2.15. Phân bố vận tốc dòng chảy theo độ sâu**

Sự thay đổi profin dòng chảy theo độ sâu: Khi ta có số liệu dòng chảy mặt và dòng chảy đáy biển, có thể thiết lập quy luật thay đổi của vận tốc dòng chảy theo độ sâu sau đó áp dụng để tính nội suy vận tốc dòng chảy tại độ sâu  $z$  bất kỳ, từ đó xác định tải trọng dòng chảy tác dụng lên kết cấu. Đối với kết cấu dạng dây neo được coi là kết cấu có tiết diện mảnh, tải trọng dòng chảy cũng được tính theo công thức Morrison.

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

Trong tính toán dao động, hệ phương trình dao động có dạng [1,54,61]:

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = \{F_t\}, \quad (2.80)$$

$u$  - 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, là đại lượng thay đổi theo thời gian.

Để xác định các hệ số của hệ phương trình (2.80) cần xác định cho một phần tử trong hệ tọa độ địa phương sau đó chuyển về hệ tọa độ tổng thể của cả hệ.

Theo phương pháp PTHH đối với một phần tử giàn có chiều dài  $l$  ta có:

$$\{u(x)\} = \begin{Bmatrix} u(x) \\ v(x) \\ w(x) \end{Bmatrix} = [N]\{u\}_e,$$

Trong đó ma trận hàm dạng:

$$[N] = \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{l} & 0 & 0 & \frac{x}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{x}{l} & 0 & 0 & \frac{x}{l} & 0 \\ 0 & 0 & 1 - \frac{x}{l} & 0 & 0 & \frac{x}{l} \end{bmatrix}.$$

$$\{u\}_e = \{u_1 \quad v_1 \quad w_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad w_2\}.$$

Xác định ma trận khối lượng  $[m]_e$  của phần tử:

$$[m]_e = \int_V \rho [N]^T [N] dv.$$

Suy ra:

$$[m]_e = \frac{\rho Al}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad (2.81)$$

$\rho$  - khối lượng riêng của phần tử,  $\text{kg/m}^3$ ;

$A$  - tiết diện ngang của phần tử,  $\text{m}^2$ ;

$l$  - chiều dài của phần tử,  $\text{m}$ .

Để xác định ma trận độ cứng của phần tử  $[k]_e$ , cần lưu ý rằng kết cấu hệ neo là hệ mềm, khi chịu tải trọng sẽ có chuyển vị lớn, vì vậy ma trận độ cứng  $[k]_e$  sẽ bao gồm hai ma trận độ cứng là ma trận độ cứng đàn hồi và ma trận độ cứng hình học [61].

$$[k]_e = [ke]_e + [kg]_e, \quad (2.82)$$

$[ke]_e$  - ma trận độ cứng đàn hồi của phần tử:

$$[ke]_e = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2.83)$$

$E$  - mô đun đàn hồi của vật liệu, kN/m<sup>2</sup>;

$[kg]_e$  - ma trận độ cứng hình học của phần tử:

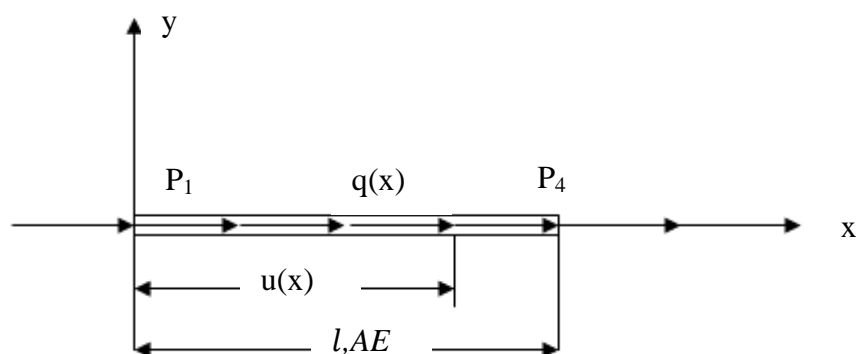
$$[kg]_e = \frac{T}{l} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.84)$$

$T = T(u)$  - lực căng của dây neo phụ thuộc vào chuyển vị, kN.

Chuyển về hệ trục tọa độ tổng thể để xác định  $[M]$  và  $[K]$ , từ đó xác định ma trận cản nhớt của hệ  $[C]$  là tổ hợp tuyến tính của  $[M]$  và  $[K]$ .

## 2.2.6. Xác định véc tơ tải trọng nút theo phương pháp PTHH

### 2.2.6.1. Xét tải trọng dọc trục (hình 2.16)



**Hình 2.16. Phần tử chịu biến dạng dọc trục**

Ma trận hàm dạng được xác định [19,20]:

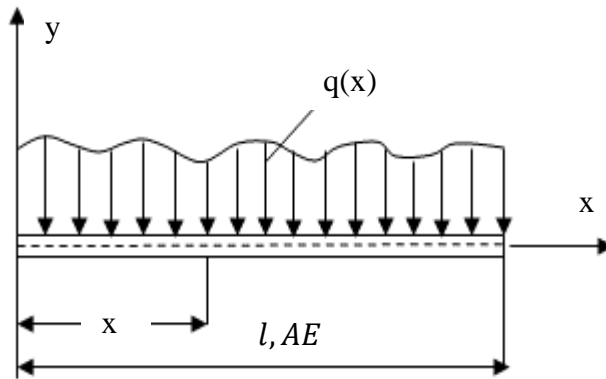
$$[N] = \left[ \left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{x}{l} \right] = [N_1(x)N_4(x)], \quad (2.85)$$

Trong đó:  $[N_1(x)] = 1 - \frac{x}{l}$ ;  $N_4(x) = \frac{x}{l}$ .

Với thanh chịu biến dạng dọc trục ta có véc tơ lực tại nút được xác định:

$$\{P\}_e = \int_0^l [N]^T q(x) dx = \int_0^l \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{l} \\ \frac{x}{l} \end{bmatrix} q(x) dx. \quad (2.86)$$

### 2.2.6.2. Xét tải trọng vuông góc với trục phần tử (hình 2.17)



**Hình 2.17. Tải trọng phân bố vuông góc với trục thanh**

Ma trận hàm dạng được xác định [19,20]:

$$[N] = [1 \quad x \quad x^2 \quad x^3] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-3}{l^2} & \frac{-2}{l} & \frac{3}{l^2} & \frac{-1}{l} \\ \frac{2}{l^3} & \frac{1}{l^2} & \frac{-2}{l^3} & \frac{1}{l^2} \end{bmatrix} = [N_2(x)N_3(x)N_5(x)N_6(x)] \quad (2.87)$$

Trong đó:  $N_2(x) = 1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}$ ;  $N_3(x) = x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}$ .

$$N_5(x) = 3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}; \quad N_6(x) = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}.$$

Tải trọng trên phần tử được quy về nút:

$$\{P\}_e = \int_0^l [N]^T q(x) dx = \int_0^l \begin{bmatrix} \left(1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}\right) \\ x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} \\ 3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3} \\ -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} \end{bmatrix} q(x) dx. \quad (2.88)$$

### 2.2.6.3. Xét phần tử khung phẳng có liên kết khớp

Ma trận độ cứng của phần tử thanh chịu lực vuông góc với trục thanh:

$$[K]_e = \frac{EJ}{l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & 6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix}, \quad (2.89)$$

Trong đó:  $J$  - mômen quán tính của mặt cắt ngang so với trục  $Z$ .

Từ phương trình cân bằng của phần tử khung phẳng theo phương pháp PTHH [19,20]:

$$[K]_e \cdot \{u\}_e = \{F\}_e. \quad (2.90)$$

Suy ra phương trình cân bằng của một phần tử khung phẳng độc lập không kéo nén dọc trục với liên kết bất kỳ ở nút đầu và nút cuối

$$\begin{bmatrix} \frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} & -\frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{4EJ}{l} & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} \\ -\frac{12EJ}{l^3} & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{12EJ}{l^3} & -\frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{4EJ}{l} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_i \\ \theta_i \\ u_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} Q_i \\ M_i \\ Q_j \\ M_j \end{Bmatrix}, \quad (2.91)$$

$P_2, P_3, P_5, P_6$  - các lực quy về nút trong trường hợp 2 đầu liên kết cứng;

$Q_i, M_i, Q_j, M_j$  - các nội lực hai đầu.

Trường hợp đầu nút  $i, j$  có khớp:  $u_i=0; M_i=0; u_j=0; M_j=0$ .

Thay vào hệ phương trình (2.91) ta tìm được:

$$\begin{Bmatrix} Q_i \\ \theta_i \\ Q_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_2 - \frac{P_3+P_6}{l} \\ -\frac{l(P_6-2P_3)}{6EJ} \\ P_5 + \frac{P_3+P_6}{l} \\ \frac{l(2P_6-P_3)}{6EJ} \end{Bmatrix}. \quad (2.92)$$

Tải trọng quy về nút của khung phẳng có khớp tại 2 đầu sẽ là:

$$\begin{Bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_i \\ M_i \\ Q_j \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_2 - \frac{P_3+P_6}{l} \\ 0 \\ P_5 + \frac{P_3+P_6}{l} \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (2.93)$$

Trường hợp phần tử chịu cả lực dọc trục ta có véc tơ tải trọng nút là:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 - \frac{P_3+P_6}{l} \\ 0 \\ P_4 \\ P_5 + \frac{P_3+P_6}{l} \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (2.94)$$

Trong đó  $\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}$  là véc tơ lực nút của phần tử khung phẳng khi có liên kết

cứng.

#### **2.2.6.4. Xác định véc tơ tải trọng nút phần tử giàn không gian có liên kết khớp**

Lấy tích phân ta được:

$$\left. \begin{aligned} P_{1x} &= \int_a^b N_1(x)q_{tx}(x)dx; P_{1y} = \int_a^b N_1(x)q_{ty}(x)dx; P_{1z} = \int_a^b N_1(x)q_{tz}(x)dx \\ P_{2x} &= \int_a^b N_2(x)q_{nx}(x)dx; P_{2y} = \int_a^b N_2(x)q_{ny}(x)dx; P_{2z} = \int_a^b N_2(x)q_{nz}(x)dx \\ P_{3x} &= \int_a^b N_3(x)q_{nx}(x)dx; P_{3y} = \int_a^b N_3(x)q_{ny}(x)dx; P_{3z} = \int_a^b N_3(x)q_{nz}(x)dx \\ P_{4x} &= \int_a^b N_4(x)q_{tx}(x)dx; P_{4y} = \int_a^b N_4(x)q_{ty}(x)dx; P_{4z} = \int_a^b N_4(x)q_{tz}(x)dx \\ P_{5x} &= \int_a^b N_5(x)q_{nx}(x)dx; P_{5y} = \int_a^b N_5(x)q_{ny}(x)dx; P_{5z} = \int_a^b N_5(x)q_{nz}(x)dx \\ P_{6x} &= \int_a^b N_6(x)q_{nx}(x)dx; P_{6y} = \int_a^b N_6(x)q_{ny}(x)dx; P_{6z} = \int_a^b N_6(x)q_{nz}(x)dx \end{aligned} \right\} (2.95)$$

Tổng hợp lực theo 3 phương x,y,z véc tơ tải trọng nút phần tử giàn không gian được xác định như sau:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1x} + \left( P_{2x} - \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{1y} + \left( P_{2y} - \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{1z} + \left( P_{2z} - \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \\ P_{4x} + \left( P_{5x} + \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{4y} + \left( P_{5y} + \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{4z} + \left( P_{5z} + \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \end{bmatrix}. \quad (2.96)$$

Véc tơ tải trọng nút của phần tử dây neo gồm véc tơ tải trọng nút do tải trọng sóng, tải trọng dòng chảy, tải trọng bản thân và tải trọng từ CTBN tác động lên hệ dây neo.

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

Khi giải quyết bài toán dao động dây neo sẽ dẫn đến một hệ phương trình vi phân dao động. Phương pháp luận để giải các phương trình dao động có thể theo ba cách: Phương pháp phân tích theo các dạng dao động riêng, phương pháp giải theo miền tần số, phương pháp giải theo miền thời gian. Tuy nhiên bài toán động lực học dây neo mang tính chất của một hệ thống phi tuyến, do đó khi giải quyết bài toán động lực học dây neo sẽ dẫn đến một hệ phương trình vi phân dao động phi tuyến. Để giải hệ phương trình vi phân phi

tuyến này phải áp dụng phương pháp tích phân trực tiếp theo miền thời gian. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc tích phân trực tiếp theo biến thời gian với phương trình vi phân của bài toán động trong đó biến thời gian  $t$  được phân tích thành từng bước  $\Delta t$  đều nhau, thuật giải tổng quát như sau:

- 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 sai phân theo phương pháp truy hồi: Phương pháp truy hồi phải giả thiết các điều kiện ban đầu về chuyển vị, vận tốc, gia tốc;

Ba dạng phương pháp tích phân theo miền thời gian là phổ biến nhất: phương pháp sơ đồ sai phân trung tâm; phương pháp Winson; phương pháp Newmark. Mỗi một phương pháp đều có những đặc điểm riêng [4]. Song không phải phương pháp nào cũng cho nghiệm hội tụ. Trong luận án sẽ dựa trên cơ sở lý thuyết của phương pháp Newmark để giải quyết bài toán [48].

Khi xấp xỉ đạo hàm theo Newmark ta có:

$$\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{u}\}_t + [(1 - \delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}]\Delta t, \quad (2.97)$$

$$\{u\}_{t+\Delta t} = \{u\}_t + \{\dot{u}\}_t\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha\right)\{\ddot{u}\}_t + \alpha\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t}\right]\Delta t^2, \quad (2.98)$$

$t$  - thời điểm  $t$ ;  $\Delta t$  - bước thời gian;  $\{u\}$  - chuyển vị nút của kết cấu;

$\{\dot{u}\}$  - véc tơ vận tốc nút của kết cấu;  $\{\ddot{u}\}$  - véc tơ gia tốc nút của kết cấu.

Các hệ số  $\delta$  và  $\alpha$  được lấy:  $\delta \geq 0,5$ ;  $\alpha \geq 0,25(0,5 + \delta)^2$ .

$$\begin{aligned} \text{Nếu đặt } a_0 &= \frac{1}{\alpha\Delta t^2}; a_1 = \frac{\delta}{\alpha\Delta t}; a_2 = \frac{1}{\alpha\Delta t}; a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1; a_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1; \\ a_5 &= \frac{\Delta t}{2}\left(\frac{\delta}{\alpha} - 2\right); a_6 = \Delta t(1 - \delta); a_7 = \delta\Delta t. \end{aligned} \quad (2.99)$$

Từ (2.97) và (2.98) rút đại lượng vận tốc, gia tốc ta được:



$$\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{u}\}_t + a_6\{\ddot{u}\}_t + a_7\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t}. \quad (2.100)$$

$$\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} = a_0(\{u\}_{t+\Delta t} - \{u\}_t) - a_2\{\dot{u}\}_t - a_3\{\ddot{u}\}_t. \quad (2.101)$$

Thay (2.101) vào công thức (2.100) ta có:

$$\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{u}\}_t + a_6\{\ddot{u}\}_t + a_7[a_0(\{u\}_{t+\Delta t} - \{u\}_t) - a_2\{\dot{u}\}_t - a_3\{\ddot{u}\}_t].$$

$$\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = a_7a_0\{u\}_{t+\Delta t} - a_7a_0\{u\}_t + (1 - a_7a_2)\{\dot{u}\}_t + (a_6 - a_7a_3)a_6\{\ddot{u}\}_t. \quad (2.102)$$

Thay (2.101) và (2.102) vào phương trình dao động (2.80) ta được:

$$[M]a_0(\{u\}_{t+\Delta t}) - a_2\{\dot{u}\}_t - a_3\{\ddot{u}\}_t + [C][a_7a_0\{u\}_{t+\Delta t} - a_7a_0\{u\}_t + (1 - a_7a_2)\{\dot{u}\}_t + (a_6 - a_7a_3)\{\ddot{u}\}_t] + [K]\{u\}_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t}.$$

Biên đổi ta được:

$$\{u\}_{t+\Delta t}([K] + a_0[M] + a_1[C]) = \{F\}_{t+\Delta t} + [M](a_0\{u\}_t + a_2\{\dot{u}\}_t + a_3\{\ddot{u}\}_t) + [C](a_1\{u\}_t + a_4\{\dot{u}\}_t + a_5\{\ddot{u}\}_t).$$

$$\text{Ta đặt:} \quad [\widehat{K}] = [K] + a_0[M] + a_1[C]. \quad (2.103)$$

$$\{\widehat{F}\}_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} + [M](a_0\{u\}_t + a_2\{\dot{u}\}_t + a_3\{\ddot{u}\}_t + [C](a_1\{u\}_t + a_4\{\dot{u}\}_t + a_5\{\ddot{u}\}_t). \quad (2.104)$$

Từ đó tìm được chuyển vị tại thời điểm  $t + \Delta t$ :

$$\{u\}_{t+\Delta t} = [\widehat{K}]^{-1}\{\widehat{F}\}_{t+\Delta t}. \quad (2.105)$$

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

$$\{\Delta u\}_{t+\Delta t} = [\widehat{K}]^{-1}\{\Delta \widehat{F}\}_{t+\Delta t}. \quad (2.106)$$

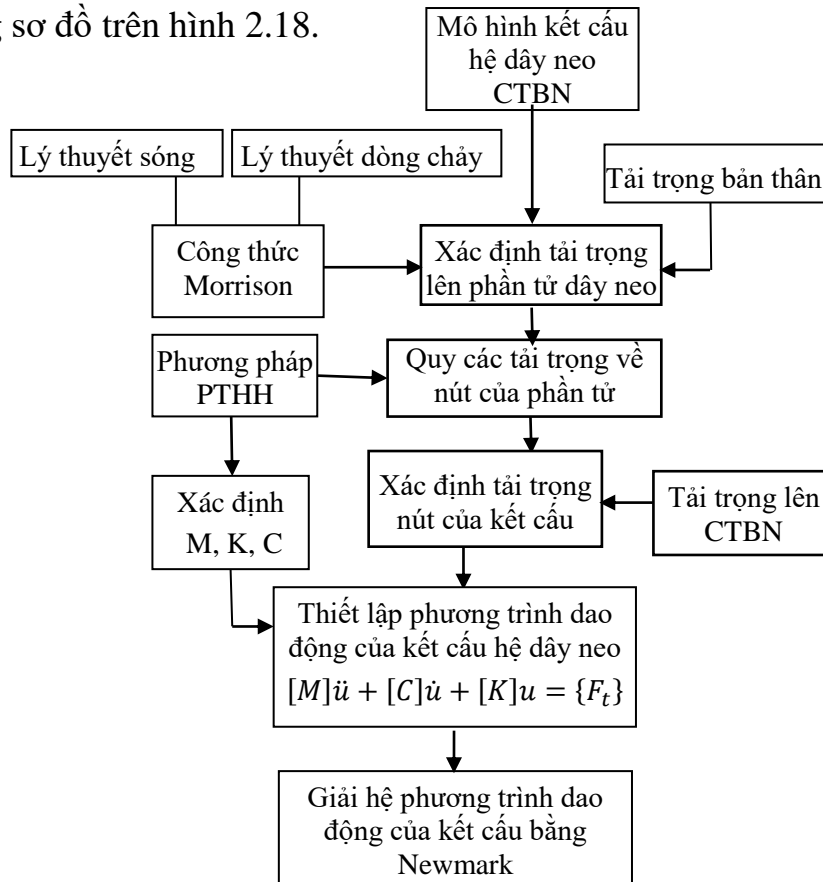
$$\text{Hiệu chỉnh số gia chuyển vị: } \{u\}_{t+\Delta t} = \{u\}_{t+\Delta t} + \{\Delta u\}_{t+\Delta t}. \quad (2.107)$$

Hiệu chỉnh số gia vận tốc, gia tốc:

$$\begin{cases} \{\dot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{u}\}_{t+\Delta t} + a_1\{\Delta u\}_{t+\Delta t} \\ \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} + a_0\{\Delta u\}_{t+\Delta t} \end{cases}. \quad (2.108)$$

### 2.2.8. Mối liên hệ giữa các lý thuyết

Các lý thuyết trên sẽ được áp dụng để thực hiện mục tiêu của luận án thể hiện trong sơ đồ trên hình 2.18.



Hình 2.18. Sơ đồ áp dụng các lý thuyết

### KẾT LUẬN CHƯƠNG

Kết quả 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 các loại tải trọng tác dụng lên phần tử dây neo;
- Phân tích cơ sở lý thuyết sóng ngẫu nhiên, dòng chảy, công thức Morrison để xác định tải trọng môi trường tác dụng trực tiếp lên dây neo;
- Áp dụng phương pháp PTHH xây dựng các ma trận phụ trợ, kỹ thuật quy tải trọng về nút kết cấu phần tử giàn không gian có liên kết khớp từ phần tử thanh có liên kết cứng, để thiết lập hệ số phương trình cân bằng hệ dây neo;
- 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 NỔI THEO MÔ HÌNH KHÔNG GIAN**

Để xây dựng được thuật toán tính toán hệ dây neo mô hình không gian chịu tải trọng sóng ngẫu nhiên trong môi trường biển Việt Nam, cần có những bước chuẩn bị sau:

- Phân tích đặc điểm vùng biển và sóng biển Việt Nam. Từ đó xác định dạng phổ sóng thích hợp với vùng biển Việt Nam;

- Thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên tạo tiền đề cho tính toán tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu dây neo của các CTBN tại Việt Nam;

- Xây dựng thuật toán tính đường dây neo đơn dưới tác dụng của tải trọng bản thân, sử dụng thuật toán này để xác định tọa độ nút của phần tử dây neo trong thuật toán tính toán dây neo mô hình không gian;

- Xây dựng thuật toán tĩnh lực học hệ dây neo, mục đích xác định được giá trị lực căng trong dây neo, được lấy là giá trị lực căng ban đầu trong thuật toán động lực học hệ dây neo;

- Với những bước chuẩn bị như trên, tiến hành xây dựng thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo mô hình không gian cho CTBN đặt tại vùng biển Việt Nam.

#### **3.1. Cơ sở và phương pháp xây dựng thuật toán**

##### ***Cơ sở xây dựng thuật toán:***

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.

##### ***Phương pháp xây dựng thuật toán:***

- Tính toán động học thông số sóng ngẫu nhiên;

- Tính toán tải trọng bản thân, tải trọng sóng, tải trọng dòng chảy 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;
- Áp dụng phương pháp PTHH 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.

### **3.2. Đặc điểm vùng biển và sóng biển Việt Nam**

#### **3.2.1. Vùng biển Việt Nam**

Theo [5] vùng biển Việt Nam nằm ở phía đông của Việt Nam, có diện tích khoảng 3.447.000 km<sup>2</sup>, độ sâu trung bình 1140 m, được bao bọc bởi đất liền và các đảo, quần đảo nhưng lại thông với các đại dương khác qua các eo biển: phía tây nam thông ra Ấn Độ Dương qua eo Malacca, phía nam qua eo Karimata và biển Indonesia đi ra Ấn Độ Dương, phía bắc và phía đông thông với Thái Bình Dương qua các eo biển sâu và các eo biển của quần đảo Philippine.

Vùng biển Việt Nam có thềm lục địa rộng, chiếm gần nửa diện tích biển, hai vùng thềm lục địa lớn nằm ở phía Bắc và phía Nam có độ sâu trung bình trên dưới 100m, hai vịnh này tiếp cận với vùng biển nước sâu. Như vậy vùng biển miền trung Việt Nam dài khoảng 1500 km, thuộc vùng nước sâu. Phần còn lại khoảng gần 1000 km ở bờ tây vịnh Bắc Bộ và khoảng 500 km ở phía đông và tây Nam Bộ là vùng biển nước vừa và nông.

## **3.2.2. Sóng biển Việt Nam**

### ***3.2.2.1. Sóng trong mùa đông***

Theo [5] sóng trong mùa đông thường xuất hiện từ tháng 10, 11 năm trước đến tháng 3 năm sau, hướng sóng chủ yếu trên biển khơi là hướng Đông Bắc, sau đó là hướng Bắc và hướng Đông, các hướng còn lại không đáng kể. Trong tháng 11 và tháng 12 sóng có hướng Đông Bắc chiếm ưu thế nhưng miền có độ cao sóng trên 3 mét chỉ xuất hiện tại một vùng không lớn ở phía bắc biển Đông. Tháng 1 và tháng 2 ở vùng giữa biển tồn tại một miền có chiều cao sóng lớn hơn theo hướng Đông Bắc. Do ảnh hưởng của địa hình nên sóng hướng Đông Bắc ở biển Đông có tần suất khoảng (70÷85)%. Còn ở phía Nam khoảng (60÷75)%. Sóng hướng Đông ở phía bắc cũng cao hơn so với phía nam, tần suất (7÷15)%, còn ở phía đông của biển hầu như không thấy. Nhìn chung, sóng theo hướng Đông Bắc khá ổn định và có cường độ mạnh. Trước và sau những đợt gió mùa Đông Bắc, gió chuyển hướng hoặc giảm tốc độ hình thành sóng lừng, về cơ bản cùng hướng với hướng sóng chính. Dọc bờ biển Việt Nam, chiều cao sóng có thể đạt giá trị trung bình khoảng (2÷3) m và chu kỳ khoảng (7÷10) s.

### ***3.2.2.2. Sóng trong mùa hè***

Theo [5] sóng trong mùa hè thường xảy ra từ tháng 5 đến tháng 8 hàng năm, hướng sóng trùng với hướng gió mùa Tây Nam. Cường độ và tần suất của sóng theo hướng Tây Nam yếu hơn sóng hướng Đông Bắc. Hướng sóng gió mùa Tây Nam ổn định trên vùng biển phía nam với tần suất (60÷70)%, còn ở vùng biển phía bắc là (50÷60)%. Ở vùng biển phía nam, sóng gió mùa Tây Nam mạnh hơn so với vùng biển phía bắc và ngoài hướng chính là Tây Nam còn xuất hiện sóng gió hướng Tây với tần suất nhỏ (5÷10)%.

Ngoài ra ở vùng biển phía bắc còn xuất hiện sóng gió hướng Nam.

Như vậy nếu không kể đến những ngày có bão, sóng gió và sóng lừng trong mùa hè thường có cường độ nhỏ hơn sóng mùa đông. Vào mùa đông chiều cao sóng trung bình từ (2÷3) m, chu kì (7÷10) s. Còn vào mùa hè chiều cao sóng trung bình khoảng 1,2 m, chu kì (5÷9,3) s.

Ở Việt Nam, Trung tâm khí tượng thủy văn đã thu thập và xây dựng các bảng tần suất của chiều cao và chu kỳ sóng cho ba vùng biển Bắc, Trung, Nam Việt Nam số liệu thống kê về chiều cao và chu kỳ sóng của các vùng biển trong các bảng ứng với tần suất đảm bảo 3% [Dẫn theo 8]. Số liệu phân bố sóng vùng biển miền Bắc, Trung, Nam Việt Nam được cho ở bảng 3.1 đến bảng 3.3 (Phụ lục). Số liệu sau khi xử lý cho trong bảng 3.4 tổng kết điều kiện môi trường biển với chu kỳ lặp 100 năm tại các mỏ khai thác dầu khí của Việt Nam dùng cho thiết kế.

### **3.3. Dạng phổ thích hợp để mô tả sóng ở vùng biển Việt Nam**

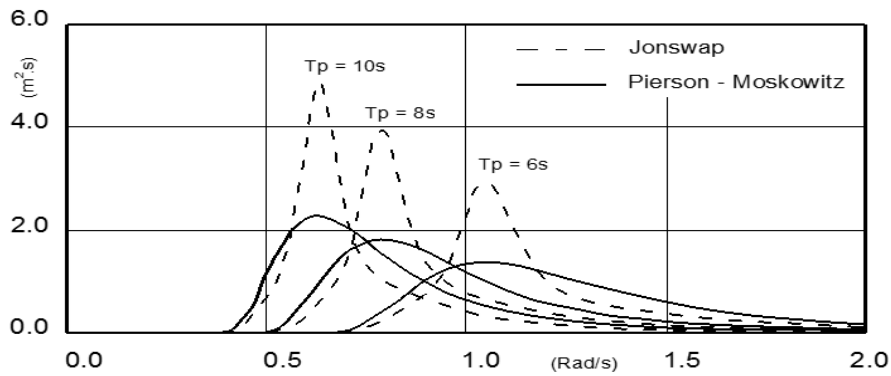
Trong tính toán công trình biển, thường giả thuyết tất cả các sóng lan truyền theo một hướng chính được đặc trưng bởi phổ theo hướng.

Phổ sóng có thể thu được bằng cách phân tích các biểu ghi quan trắc được thực hiện theo thời gian. Đối với mục đích thiết kế các mô hình phổ sóng thường được sử dụng, đó là những biểu diễn mô tả hình dạng phổ. Phổ sau đó được mô tả bởi các tham số thống kê như  $H_s$  và  $T_p$ .

Các phổ sóng thường sử dụng: Phổ Pierson-Moskowitz, Phổ Jonswap.

Phân tích phạm vi sử dụng hai dạng phổ sóng [25]:

Thứ nhất, về hình dạng phổ: hình 3.1. cho thấy sự so sánh phổ P-M và phổ sóng Jonswap trung bình cho ba trạng thái biển với chiều cao sóng đáng kể  $H_s = 4$  m và các chu kỳ đỉnh phổ  $T_p$  lần lượt là 6, 8 và 10 s, tương ứng.



**Hình 3.1. So sánh hai phổ sóng**

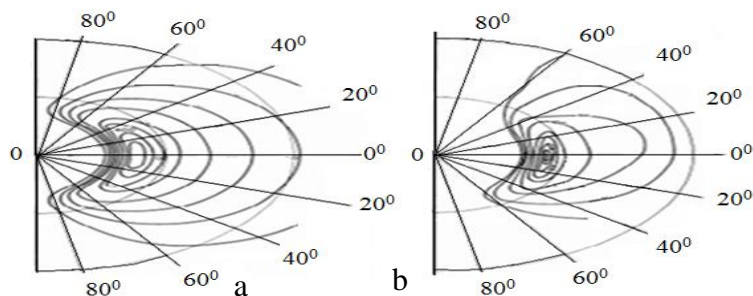
Nhận xét: Hai phổ sóng Jonswap và Pierson – Moskowitz có tổng năng lượng bằng nhau nhưng phổ Jonswap có đỉnh nhọn, cao hơn và lệch chút ít sang phía tần số cao.

Thứ hai, về hướng lan truyền sóng: Quy tắc bình phương cosin thường được sử dụng để xác định hướng lan truyền năng lượng sóng. Khi sử dụng công thức này, năng lượng sóng một chiều theo một hướng sóng  $\mu$  được chia tỷ lệ như sau:  $S(\omega, \mu) = \left\{ \frac{2}{\pi} \cos^2(\mu - \bar{\mu}) \right\} \cdot S(\omega)$  Với  $-\frac{\pi}{2} \leq (\mu - \bar{\mu}) \leq +\frac{\pi}{2}$

Trong đó:  $\mu$  - hướng sóng đang xét;

$S(\omega, \mu)$  - phổ sóng (hướng sóng đang xét).

So sánh một hướng sóng đo được với sự lan truyền hướng này với 2 phổ sóng Jonswap (3.2a) và P-M (3.2b) được đưa ra trong hình 3.2.



**Hình 3.2. Phổ sóng cùng với hướng lan truyền**

Theo lý thuyết này phổ dọc theo mỗi hướng đều giống nhau, chỉ cường độ của nó thay đổi theo các hướng. Tại biển, sự phân bố này phụ thuộc vào tình hình thời tiết địa phương tại thời điểm đó. Do vậy dạng phổ thích hợp phụ thuộc vào tình hình thời tiết địa phương. Do sóng sinh ra khi gió thổi qua bề mặt của biển nên chỉ cần sóng sinh ra chậm hơn tốc độ gió trên ngọn sóng thì sẽ có năng lượng truyền từ gió vào ngọn sóng. Cả sự khác biệt về áp suất khí quyển giữa gió bên trên và phía khuất gió của đầu ngọn sóng, lẫn sự ma sát trên bề mặt nước gây ra bởi gió, khiến nước va đập vào làm tăng ứng suất cắt gây ra sự dâng lên của mặt sóng. Chiều cao sóng được xác định bởi tốc độ gió, thời gian gió thổi. Tốc độ gió đã cho có giới hạn thực tế phù hợp với thời gian hoặc khoảng cách sẽ không tạo ra sóng lớn hơn. Còn ngược lại sẽ tạo ra sóng biển được cho là "hoàn toàn phát triển".

Như vậy, theo phân tích ở trên: Phổ Jonswap áp dụng khi mà sự phát triển của những con sóng bị giới hạn bởi kích thước của khu vực sóng sinh ra. Phổ Jonswap được phát triển từ việc xem xét các vùng biển bị hạn chế, sóng đang phát triển, không có sóng lừng, bao gồm các trường hợp bão ở khu vực biển mở khi mà các bão cực hạn hiếm khi phát triển đầy đủ và sóng lừng thường là dạng một phần nhỏ trong tổng năng lượng sóng. Còn phổ P-M được áp dụng đối với một trạng thái biển đã phát triển đầy đủ, tức là khi sự phát triển của sóng không bị giới hạn bởi kích thước của khu vực sóng sinh ra.

Theo [5], vùng biển Việt Nam có đặc điểm của vùng biển mở và có sóng phát triển hoàn toàn. Vì vậy phổ P-M là dạng thích hợp để xử lý thống kê thông số sóng ở vùng biển Việt Nam. Điều này phù hợp với đặc trưng vùng biển của Việt Nam, theo [41] tính toán theo lý thuyết sóng Airy, biển Việt Nam được tính theo bốn trạng thái biển (bảng 3.5. phụ lục) với bộ tham số sóng  $H_s = 8,48$  m tương ứng với các giá trị  $T_p$  là 10,372 s; 12,965 s; 15,558 s;



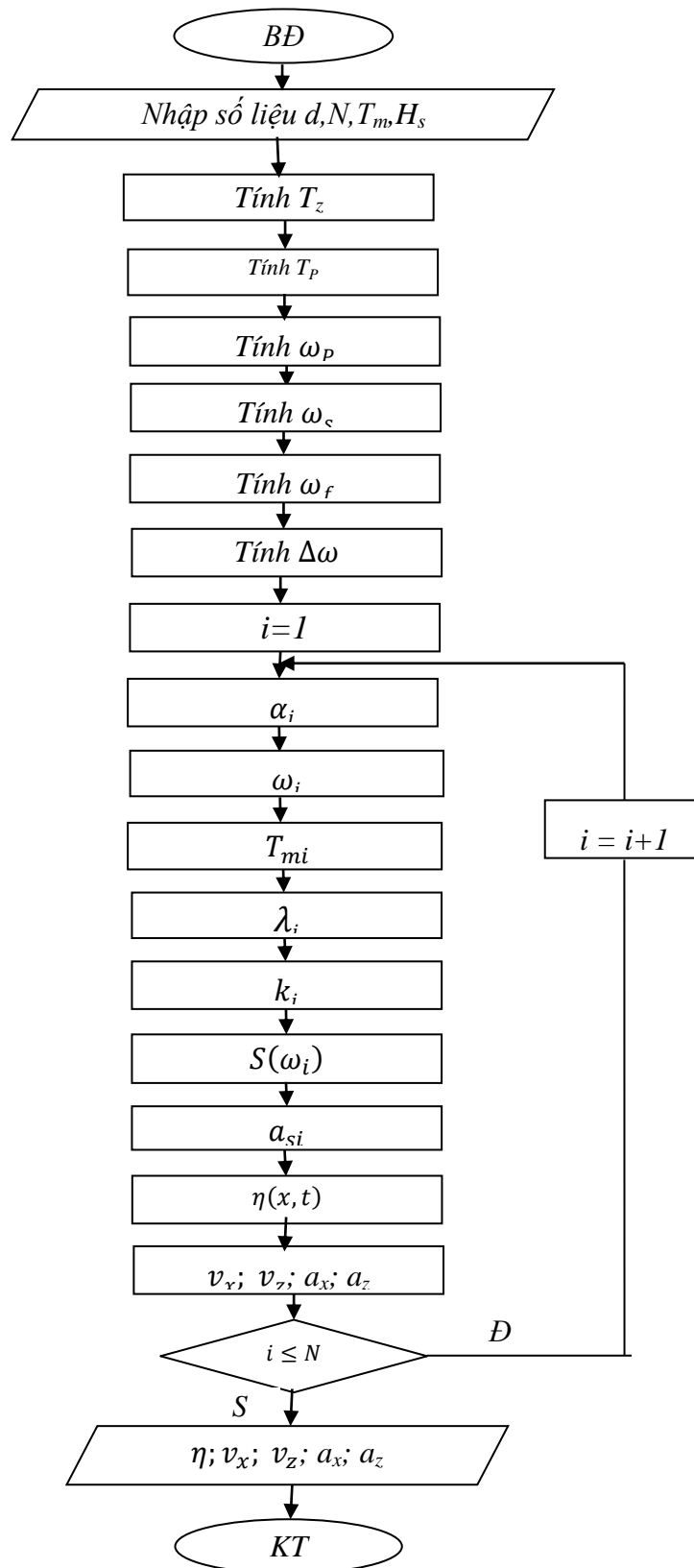
18,942 s, thông số đỉnh phổ tương ứng là 5,228; 1,878; 1 và 1. Kết quả này cho thấy phổ P-M phù hợp được sử dụng ở vùng biển Việt Nam.

Tuy nhiên trong các tính toán sóng ở vùng biển Việt Nam do các Công ty nước ngoài và trong nước thực hiện thường sử dụng phổ sóng Jonswap trong các phần mềm thương mại của nước ngoài. Bởi vì phổ P-M chính là một trường hợp đặc biệt của phổ Jonswap.

### **3.4. Thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên và tính toán các thông số động học của sóng ở vùng biển Việt Nam**

Để tính toán tải trọng sóng ngẫu nhiên tác dụng lên kết cấu dây neo có thể mô tả mặt sóng ngẫu nhiên theo một phổ, xác định các thông số động học của sóng, từ đó xác định tải trọng lên kết cấu. Sử dụng phổ sóng để mô tả ứng xử của sóng biển tại vùng biển mở Rạng Đông của biển phía nam Việt Nam được thực hiện như sau: Từ một giá trị chu kỳ trung bình của một trạng thái biển, phổ được xác định trong một dải tần số sóng (tương ứng với 1 dải chu kỳ sóng) từ  $\omega_s$  đến  $\omega_f$  theo công thức (2.62). Sử dụng công thức (2.72) mặt sóng sẽ được mô tả ứng với 1 dải tần số (hoặc chu kỳ) của phổ. Các góc pha ngẫu nhiên  $\alpha_i$  được giả thiết phân bố đều trong khoảng từ  $0 \div 2\pi$ , nghĩa là sao cho sự xuất hiện giá trị bất kỳ của nó là đồng xác suất,  $\alpha_i$  được xác định bằng một hàm ngẫu nhiên trong Mathcad. Từ đó xác định các thông số động học của sóng ngẫu nhiên theo công thức (2.73) đến (2.76).

Như vậy dựa trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở chương 2, tác giả sẽ xây dựng thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên theo 2 dạng phổ thông dụng là phổ P-M (dạng phổ được khuyến sử dụng đối với vùng biển Việt Nam) và phổ Jonswap (Công ty VIMARTEC sử dụng trong phần mềm OCARFLEX). Từ đó tính toán được các thông số động học của sóng ở vùng biển mở Rạng Đông phía nam Việt Nam thể hiện theo sơ đồ thuật toán sau (hình 3.3):



**Hình 3.3.** Sơ đồ khối thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên theo phổ sóng

Thuật toán thực hiện qua các bước:

1. Từ bảng tần suất phân bố sóng ta có giá trị chiều cao sóng đáng kể và chu kì sóng trung bình, số con sóng  $N$ , chiều sâu nước  $d$ ;
2. Xác định  $T_z$  theo công thức (2.61);
3. Xác định chu kỳ đỉnh phổ  $T_P$  theo công thức (2.60);
4. Xác định tần số đỉnh phổ theo công thức:  $\omega_P = \frac{2\pi}{T_P}$ ;
5. Phổ sóng được lấy trong khoảng từ  $\omega_s$  đến  $\omega_f$  tính theo công thức (2.62) đối với phổ P-M và (2.71) đối với phổ Jonswap;
6. Tính  $\Delta\omega$  theo công thức (2.64);
7. Bắt đầu vòng lặp: Với con sóng thứ  $i$ ,  $i = 1$ ;
8. Gieo số ngẫu nhiên  $\alpha_i$  bằng hàm *runif* trong Mathcad;
9. Với mỗi một  $\omega_i$  ta tính được chu kì con sóng thứ  $i$ :  $T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$ ;
10. Xác định chiều dài sóng của con sóng thứ  $i$  theo công thức (2.49);
11. Xác định số sóng  $k_i$  theo công thức (2.43);
12. Xác định phổ P-M công thức (2.59) và phổ Jonswap công thức (2.65);
13. Xác định biên độ sóng theo công thức (2.63);
14. Xác định mặt sóng ngẫu nhiên theo công thức (2.72);
15. Xác định các thông số động học của sóng, theo các công thức từ (2.73) đến (2.76);
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 tại vùng biển mở Rạng Đông;
17. Kết thúc chương trình.

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

Áp dụng phần cơ sở lý thuyết dây neo đơn khi chịu tải trọng bản thân để xác định được tọa độ của các điểm trên dây neo. Với thông số đã biết của lực tác dụng vào công trình nối theo phương ngang,  $L$  - chiều dài dây neo, ta xét các trường hợp: dây neo căng và dây neo chùng. Để nhận được khi nào dây neo căng hay dây neo chùng, cần tính chiều dài dây neo giới hạn.

Xét trường hợp dây neo vừa đủ, không có đoạn nào nằm trên đất, khi đó góc tiếp đất vừa bằng 0. Xác định chiều dài dây neo giới hạn  $L_g$ .

Nếu  $L > L_g$ , có 1 đoạn dây neo nằm trên đất, khi đó  $\theta_0 = 0$ .

Từ chiều dài dây cho trước  $L$  xác định được chiều dài đoạn dây nằm trên đất  $L_0$ .

Xác định tọa độ  $x(l)$ ,  $z(l)$ .

Xác định các giá trị lực căng tại vị trí đầu dây và vị trí chân dây neo.

Nếu  $L < L_g$  khi đó góc  $\theta_0 > 0$  là trường hợp dây neo căng,  $z=d$ .

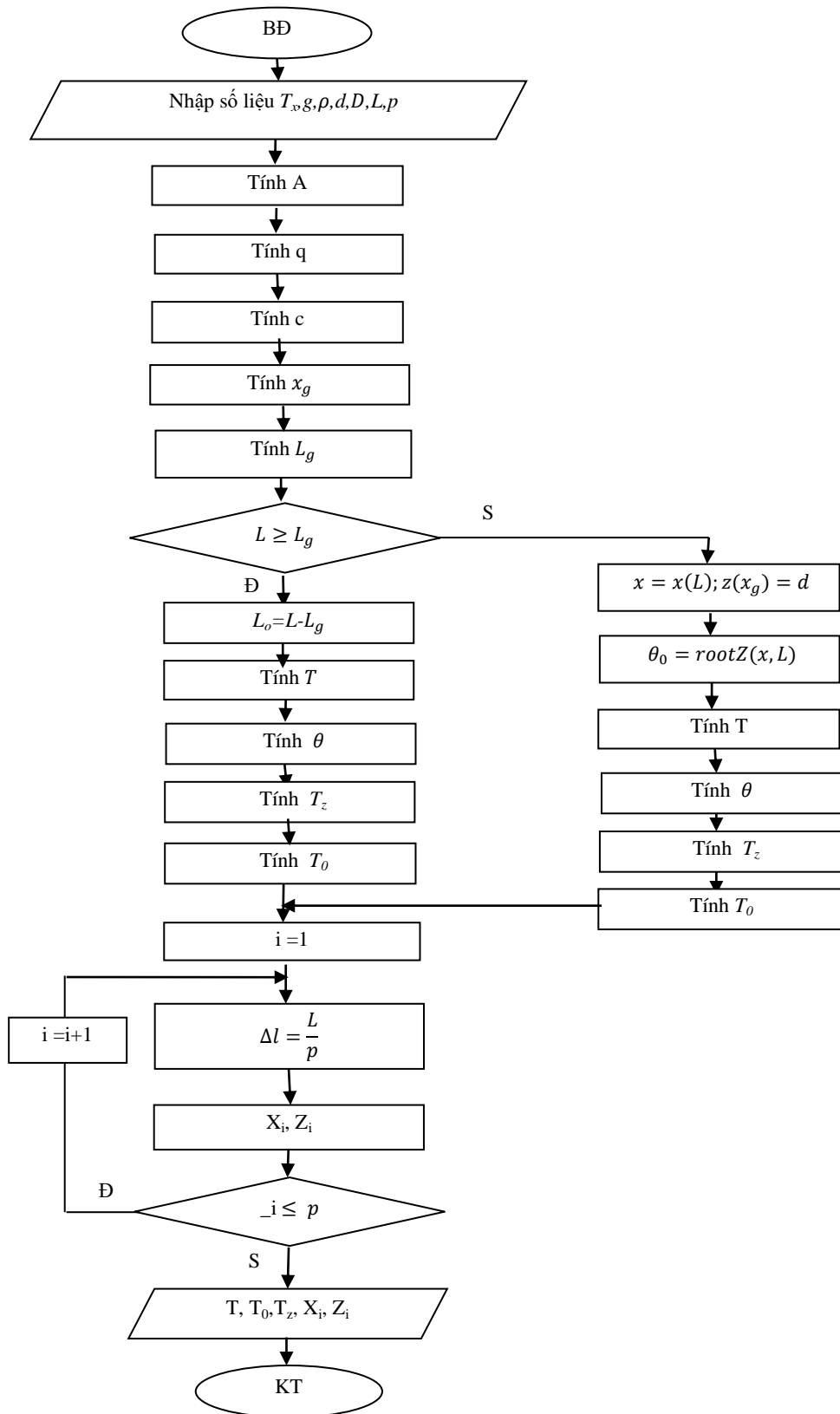
Khi đó tọa độ  $x$  và  $z$  theo (2.7) trở thành:

$$\begin{cases} x(L) = c \cdot \operatorname{arcsinh} \left[ \frac{L}{c} + \tan(\theta_0) \right] - c \cdot \operatorname{arcsin}[\tan(\theta_0)]. \\ z(x_g) = d = c \cdot \operatorname{cosh} \left[ \frac{x_g}{c} + \operatorname{arcsin}(\tan(\theta_0)) \right] - c \cdot \operatorname{cosh}[\operatorname{arcsin}(\tan(\theta_0))] \end{cases} \quad (3.1)$$

Giải hệ (3.1) xác định  $\theta_0$ . Từ giá trị  $\theta_0$ , xác định được lực căng tại vị trí đầu dây neo và các thành phần lực theo phương ngang và đứng tại chân neo.

Xác định được góc  $\theta$  theo công thức (2.13) từ đó xác định được thành phần lực theo phương đứng tại điểm đầu dây neo.

Với cách làm như trên ta xây dựng sơ đồ thuật toán tính dây neo khi chịu tải trọng bản thân như sau (hình 3.4):



**Hình 3.4.** Sơ đồ khối thuật toán tính toán đường dây neo đơn

Thuật toán thực hiện qua các bước:

1. Nhập số liệu ban đầu:  $T_x, g, \rho, L, D, d$ , số đoạn dây neo  $p$ ;
2. Tính tiết diện dây neo  $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ;
3. Xác định trọng lượng đoạn dây neo  $q$ ;
4. Tính giá trị  $c$  theo công thức (2.6);
5. Xét dây neo ở vị trí tới hạn, khi  $\theta_0 = 0$ , xác định tọa độ  $x_g$  theo (2.15);
6. Từ  $x_g$  xác định  $L_g$  theo công thức (2.16);
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 theo công thức (2.11) với  $\tan(\theta_0) = 0$ ;
10. Xác định góc  $\theta$  theo (2.13);
11. Xác định giá trị lực theo phương đứng ở đầu dây neo  $T_z$  theo (2.14);
12. Xác định được lực căng tại chân dây neo theo (2.12);
13. Khi góc  $\theta_0 \neq 0$ ,  $z = d$ , xác định góc  $\theta_0$  bằng hàm *root* trong Mathcad với  $x = x(L); z(x_g) = d$  theo công thức (3.1);
14. Xác định lực căng đầu dây neo theo công thức (2.11);
15. Xác định góc  $\theta$  theo (2.13);
16. Xác định giá trị lực theo phương đứng ở đầu dây neo  $T_z$  theo (2.14);
17. Xác định được lực căng tại chân dây neo theo (2.12);
18. Bắt đầu vòng lặp với  $p$  đoạn dây neo,  $i=1$  đến  $p$ , xác định tọa độ  $x, z$  theo (2.7) và (2.8);
19. Khi  $i = p$ , kết thúc vòng lặp. Xuất các giá trị  $T, T_z, T_o, x_i, z_i$ ;

20. Kết thúc chương trình.

### 3.6. Thuật toán tính hệ dây neo theo mô hình không gian

#### 3.6.1. Thuật toán quy tải trọng về nút của phần tử dây neo

##### 3.6.1.1. Tải trọng sóng

Từ công thức (2.49) nhận thấy nếu  $d < \lambda/2$  thì các thông số sóng phụ thuộc vào chiều sâu nước  $d$ , còn khi  $d > \lambda/2$  thì  $\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \rightarrow 1$  do đó các thông số sóng không còn phụ thuộc độ sâu nước. Như vậy các phần tử dây neo nằm trong khoảng từ mặt nước đến độ sâu  $\lambda/2$  sẽ chịu tác động của tải trọng sóng. Còn các phần tử dây neo ở vị trí độ sâu nước lớn hơn  $\lambda/2$  ít chịu ảnh hưởng bởi tác động của sóng trọng lực hay nói cách khác là tác động của sóng trọng lực đối với các phần tử ở độ sâu này là nhỏ.

Xét những phần tử dây neo trong khoảng độ sâu  $\lambda/2$ , từ công thức (2.27) và (2.28) ta có:

Tải trọng sóng phân bố vuông góc với trục phần tử:

$$\begin{cases} q_{nx}^W = C_M \rho A a_{nx}^W + \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{nx}^W| v_{nx}^W \\ q_{ny}^W = C_M \rho A a_{ny}^W + \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{ny}^W| v_{ny}^W \\ q_{nz}^W = C_M \rho A a_{nz}^W + \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{nz}^W| v_{nz}^W \end{cases} \quad (3.2)$$

Tải trọng sóng phân bố dọc trục phần tử:

$$\begin{cases} q_{tx}^W = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{tx}^W| v_{tx}^W \\ q_{ty}^W = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{ty}^W| v_{ty}^W \\ q_{tz}^W = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{tz}^W| v_{tz}^W \end{cases} \quad (3.3)$$

Trong đó:

Các hệ số  $C_M$ ,  $C_D$  và  $C_{Dt}$  xác định theo mục 2.2.2.1 và 2.2.2.2.

Các  $v_t^w$ ,  $v_n^w$ ,  $a_n^w$  tương ứng là vận tốc phần tử nước do sóng theo phương dọc trục phần tử, vận tốc và gia tốc phần tử nước theo phương vuông góc với trục phần tử dây neo, xác định theo công thức (2.24) đến (2.26)

Theo công thức (2.96), tải trọng sóng được quy về các nút của phần tử chịu sóng là:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_w = \begin{bmatrix} P_{1x} + \left( P_{2x} - \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{1y} + \left( P_{2y} - \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{1z} + \left( P_{2z} - \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \\ P_{4x} + \left( P_{5x} + \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{4y} + \left( P_{5y} + \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{4z} + \left( P_{5z} + \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \end{bmatrix}. \quad (3.4)$$

Trong đó:  $P_x; P_y; P_z$  được tính theo công thức (2.95) với các thành phần  $q_n$  và  $q_t$  do sóng gây ra được tính theo (3.2) và (3.3).

### 3.6.1.2. Tải trọng dòng chảy

Những phần tử dây neo dưới mặt nước đều chịu tác dụng của tải trọng dòng chảy. Dòng chảy được coi là chuyển động đều nên gia tốc bằng không, vì vậy:

Tải trọng dòng chảy phân bố vuông góc với trục phần tử:

$$\begin{cases} q_{nx}^c = \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{nx}^c| v_{nx}^c \\ q_{ny}^c = \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{ny}^c| v_{ny}^c \\ q_{nz}^c = \frac{1}{2} C_D \rho D |v_{nz}^c| v_{nz}^c \end{cases} \quad (3.5)$$

Tải trọng dòng chảy phân bố dọc trục phần tử:



$$\begin{cases} q_{tx}^c = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{tx}^c| v_{tx}^c \\ q_{ty}^c = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{ty}^c| v_{ty}^c \\ q_{tz}^c = \frac{1}{2} C_{Dt} \rho D |v_{tz}^c| v_{tz}^c \end{cases} \quad (3.6)$$

Các hệ số  $C_D$  và  $C_{Dt}$  xác định theo mục 2.2.2.2.

Các  $v_t^c$ ,  $v_n^c$  tương ứng là vận tốc phần tử nước do dòng chảy theo phương dọc trục và vuông góc với phần tử dây neo được xác định theo công thức (2.24) và (2.25).

Từ công thức (2.96), tải trọng dòng chảy được quy về các nút của phần tử dây neo là:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_c = \begin{bmatrix} P_{1x} + \left( P_{2x} - \frac{P_{3x} + P_{6x}}{l} \right) \\ P_{1y} + \left( P_{2y} - \frac{P_{3y} + P_{6y}}{l} \right) \\ P_{1z} + \left( P_{2z} - \frac{P_{3z} + P_{6z}}{l} \right) \\ P_{4x} + \left( P_{5x} + \frac{P_{3x} + P_{6x}}{l} \right) \\ P_{4y} + \left( P_{5y} + \frac{P_{3y} + P_{6y}}{l} \right) \\ P_{4z} + \left( P_{5z} + \frac{P_{3z} + P_{6z}}{l} \right) \end{bmatrix}. \quad (3.7)$$

Trong đó các  $P_x; P_y; P_z$  được tính theo công thức (2.95) với các thành phần  $q_n$  và  $q_t$  do dòng chảy gây ra xác định theo (3.5) và (3.6).

### 3.6.1.3. Tải trọng bản thân

Tải trọng bản thân của phần tử dây neo chỉ có một thành phần theo phương thẳng đứng, được xác định như sau:

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho A \end{Bmatrix} \{c\}. \quad (3.8)$$

$\rho$  - khối lượng riêng của vật liệu dây neo,  $\text{kg/m}^3$ ;

$A$  - tiết diện của phần tử dây neo,  $m^2$ ;

$\{c\}$  - véc tơ cosin chỉ phương.

Từ công thức (2.96), ta có:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_q = \begin{bmatrix} P_{1x} + \left( P_{2x} - \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{1y} + \left( P_{2y} - \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{1z} + \left( P_{2z} - \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \\ P_{4x} + \left( P_{5x} + \frac{P_{3x}+P_{6x}}{l} \right) \\ P_{4y} + \left( P_{5y} + \frac{P_{3y}+P_{6y}}{l} \right) \\ P_{4z} + \left( P_{5z} + \frac{P_{3z}+P_{6z}}{l} \right) \end{bmatrix}. \quad (3.9)$$

Theo phương pháp PTHH, trong đó tải trọng bản thân quy về nút:

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}_q = \begin{Bmatrix} \frac{q_t l}{2} \\ \frac{q_n l}{2} \\ \frac{q_n l^2}{12} \\ \frac{q_t l}{2} \\ \frac{q_n l}{2} \\ \frac{-q_n l^2}{12} \end{Bmatrix}. \quad (3.10)$$

Các tải trọng  $q_n$  và  $q_t$  được xác định theo các cosin chỉ phương như sau:

$$\{q_t\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho A \end{Bmatrix} \{c_x \quad c_y \quad c_z\}.$$

$$\begin{cases} q_{tx} = (-\rho A c_{zj}) c_{xj} \\ q_{ty} = (-\rho A c_{zj}) c_{yj} \\ q_{tz} = (-\rho A c_{zj}) c_{zj} \end{cases} \quad (3.11)$$

Theo quy tắc trừ véc tơ:  $\vec{q}_n = \vec{q} - \vec{q}_t$ .

$$\begin{cases} q_{nx} = 0 - (-\rho A c_{zj}) c_{xj} \\ q_{ny} = 0 - (-\rho A c_{zj}) c_{yj} \\ q_{nz} = -A\rho(-\rho A c_{zj}) c_{zj} \end{cases} \quad (3.12)$$

#### 3.6.1.4. Véc tơ tải trọng nút của phần tử dây neo

Mỗi phần tử dây neo chịu tải trọng bản thân, tải trọng sóng, tải trọng dòng chảy, sau khi các tải trọng này được quy về các nút. Véc tơ tải trọng tại các nút của phần tử dây neo sẽ là tổng của tải trọng bản thân, tải trọng sóng, tải trọng dòng chảy tại các nút.

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_W + \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_C + \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}_q \quad (3.13)$$

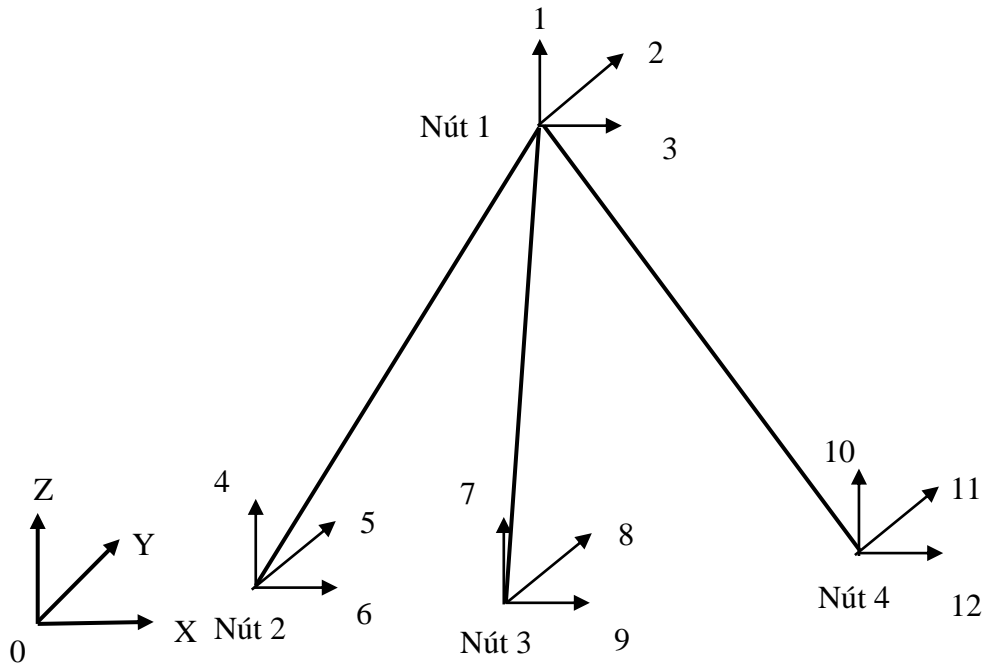
#### 3.6.1.5. Tải trọng do CTBN tác dụng lên hệ dây neo

Để xét ảnh hưởng của tải trọng do CTBN tác dụng lên hệ dây neo. Giá trị tải trọng do CTBN tác dụng lên dây neo sẽ được cộng vào vị trí nút mà tại đó dây neo liên kết với CTBN.

### 3.6.2. Thuật toán xác định ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, véc tơ tải trọng nút, ma trận cản nhớt của kết cấu

Xét một kết cấu không gian sau (hình 3.5).

Hệ 3 phần tử giàn không gian, có 4 nút, và 12 chuyển vị.



**Hình 3.5. Sơ đồ chỉ số nút và phần tử**

**3.6.2.1. Xác định ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, véc tơ tải trọng nút của hệ giàn không gian có liên kết khớp**

Các bước thực hiện như sau:

**1. Xác định tọa độ nút**

- Thiết lập hệ tọa độ tổng thể XYZ;
- Đánh số các nút;
- Tọa độ nút trong hệ tọa độ tổng thể.

**2. Xác định liên kết các phần tử với nút**

- Đánh số phần tử;
- Lập bảng liên kết phần tử.

### 3. Lập liên kết chỉ số chuyển vị cục bộ của phần tử và của hệ

- Mỗi nút có 3 chuyển vị;
- Lập bảng liên kết phần tử.

### 4. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ

Chiều dài phần tử được xác định theo công thức:

$$l = \sqrt{(X_c - X_d)^2 + (Y_c - Y_d)^2 + (Z_c - Z_d)^2}, \quad (3.14)$$

Trong đó:

$d$  - chỉ số nút đầu;

$c$  - chỉ số nút cuối.

Dựa vào 3 véc tơ của hệ tọa độ cục bộ, ta có ma trận chuyển hệ trục tọa độ như sau:

Ma trận chuyển hệ tọa độ  $[T_e]$  có dạng:

$$[T_e] = \begin{bmatrix} [T_e]' & 0 \\ 0 & [T_e]' \end{bmatrix}, \quad (3.15)$$

$$[T_e]' = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix},$$

$$l_x = \cos(x_p, X); \quad m_x = \cos(x_p, Y); \quad n_x = \cos(x_p, Z).$$

$$l_y = \cos(y_p, X); \quad m_y = \cos(y_p, Y); \quad n_y = \cos(y_p, Z).$$

$$l_z = \cos(z_p, X); \quad m_z = \cos(z_p, Y); \quad n_z = \cos(z_p, Z).$$

Tương ứng với vị trí 3 phần tử ta có:  $[T_e]'_1; [T_e]'_2; [T_e]'_3$ .

Từ đó ta có:

$$[T_e]_1 = \begin{bmatrix} [T_e]_1' & 0 \\ 0 & [T_e]_1' \end{bmatrix}.$$

$$[T_e]_2 = \begin{bmatrix} [T_e]_2' & 0 \\ 0 & [T_e]_2' \end{bmatrix}.$$

$$[T_e]_3 = \begin{bmatrix} [T_e]_3' & 0 \\ 0 & [T_e]_3' \end{bmatrix}.$$

### 5. Xác định ma trận độ cứng vật liệu của các phần tử trong hệ tọa độ cục bộ

Ma trận độ cứng vật liệu xác định theo công thức (2.83) của phương pháp PTHH:

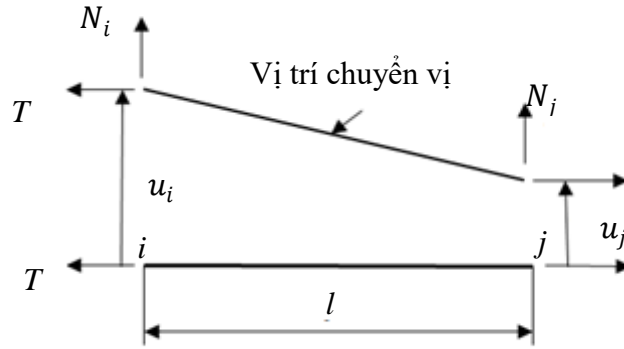
Phần tử thứ nhất:  $[k_e]_1 = \frac{EA}{l_1} \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$

Phần tử thứ hai:  $[k_e]_2 = \frac{EA}{l_2} \begin{matrix} & \begin{matrix} 7 & 8 & 9 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$

Phần tử thứ ba:  $[k_e]_3 = \frac{EA}{l_3} \begin{matrix} & \begin{matrix} 10 & 11 & 12 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 10 \\ 11 \\ 12 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$

### 6. Xác định ma trận độ cứng hình học

Xét cân bằng mô men tại hai đầu phần tử dây neo có chuyển vị (hình 3.6) ta có:



**Hình 3.6.** Sơ đồ xác định ma trận độ cứng hình học phần tử dây neo

Lấy mô men tại đầu i ta có:  $-Tx_i + lN_i + Tx_{i+1} = 0$ ,

$$N_i = \frac{Tx_i - Tx_{i+1}}{l}.$$

Lấy mô men tại đầu j ta có:  $-Tx_i - lN_{i+1} + Tx_{i+1} = 0$ ,

$$N_{i+1} = \frac{-Tx_i + Tx_{i+1}}{l}.$$

Kết hợp cả hai phương trình ta có:

$$\begin{Bmatrix} N_i \\ N_{i+1} \end{Bmatrix} = \frac{T}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ x_{i+1} \end{Bmatrix}.$$

Xác định ma trận độ cứng hình học theo công thức (2.84)

Phần tử thứ nhất:  $[k_g]_1 = \frac{T}{l_1} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$

Phần tử thứ hai:  $[k_g]_2 = \frac{T}{l_2} \begin{bmatrix} 7 & 8 & 9 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$

Phần tử thứ ba:

$$[k_g]_3 = \frac{T}{l_3} \begin{bmatrix} 10 & 11 & 12 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 10 \\ 11 \\ 12 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

### 7. Xác định ma trận khối lượng

Ma trận khối lượng của phần tử giàn không gian xác định theo (2.81).

Ma trận khối lượng phần tử thứ nhất:

$$[m]_1 = \frac{\rho A l_1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

Ma trận khối lượng phần tử thứ hai:

$$[m]_2 = \frac{\rho A l_2}{6} \begin{bmatrix} 7 & 8 & 9 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

Ma trận khối lượng phần tử thứ ba:

$$[m]_3 = \frac{\rho A l_3}{6} \begin{bmatrix} 10 & 11 & 12 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{matrix} 10 \\ 11 \\ 12 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

### 8. Xác định véc tơ tải trọng nút của phần tử trong hệ tọa độ cục bộ



Mỗi phần tử có 6 chuyển vị, do vậy vec tơ tải trọng nút của một phần tử có 6 thành phần.

$$\text{Phần tử thứ nhất: } \{f\}_1 = \begin{Bmatrix} * \\ * \\ * \\ * \\ * \\ * \end{Bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

$$\text{Phần tử thứ hai: } \{f\}_2 = \begin{Bmatrix} * \\ * \\ * \\ * \\ * \\ * \end{Bmatrix} \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

$$\text{Phần tử thứ ba: } \{f\}_3 = \begin{Bmatrix} * \\ * \\ * \\ * \\ * \\ * \end{Bmatrix} \begin{matrix} 10 \\ 11 \\ 12 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

## 9. Chuyển các ma trận của phần tử từ hệ tọa độ cục bộ về hệ tọa độ tổng thể

### 9.1. Chuyển ma trận độ cứng vật liệu

$$[K_e]_1 = [T_e]_1 \cdot [k_e]_1 \cdot [T_e]_1^T$$

$$[K_e]_2 = [T_e]_2 \cdot [k_e]_2 \cdot [T_e]_2^T$$

$$[K_e]_3 = [T_e]_3 \cdot [k_e]_3 \cdot [T_e]_3^T$$

### 9.2. Chuyển ma trận độ cứng hình học

$$[K_g]_1 = [T_e]_1 \cdot [k_g]_1 \cdot [T_e]_1^T$$

$$[K_g]_2 = [T_e]_2 \cdot [k_g]_2 \cdot [T_e]_2^T$$

$$[K_g]_3 = [T_e]_3 \cdot [k_g]_3 \cdot [T_e]_3^T$$

### 9.3. Chuyển ma trận khối lượng

$$[M]_1 = [T_e]_1 \cdot [m]_1 \cdot [T_e]_1^T.$$

$$[M]_2 = [T_e]_2 \cdot [m]_2 \cdot [T_e]_2^T.$$

$$[M]_3 = [T_e]_3 \cdot [m]_3 \cdot [T_e]_3^T.$$

### 10. Chuyển véc tơ lực nút của phần tử về hệ tọa độ tổng thể

$$\{F\}_1 = [T_e]_1 \{f\}_1.$$

$$\{F\}_2 = [T_e]_2 \{f\}_2.$$

$$\{F\}_3 = [T_e]_3 \{f\}_3.$$

### 11. Ghép nối các ma trận để tìm ma trận và véc tơ lực nút của kết cấu

#### 11.1. Xác định ma trận độ cứng vật liệu của kết cấu

Do hệ có 12 chuyển vị nên ma trận độ cứng của hệ có kích thước 12x12 tương ứng với các chuyển vị

$$[\bar{K}_e]_{(12 \times 12)}.$$

#### 11.2. Xác định ma trận độ cứng hình học của kết cấu

$$[\bar{K}_g]_{(12 \times 12)}.$$

#### 11.3. Xác định ma trận khối lượng của kết cấu

$$[\bar{M}]_{(12 \times 12)}.$$

#### 11.4. Xác định ma trận độ cứng của kết cấu

$$[\bar{K}] = [\bar{K}_e] + [\bar{K}_g].$$

#### 11.5. Xác định véc tơ lực nút của kết cấu

$$\{\bar{F}\} = \begin{pmatrix} f1 \\ f2 \\ f3 \\ f4 \\ f5 \\ f6 \\ f7 \\ f8 \\ f9 \\ f10 \\ f11 \\ f12 \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{matrix} \quad (3.16)$$

### 3.6.2.2. Xác định ma trận cản nhớt của kết cấu

Ma trận cản nhớt được xác định là tổ hợp tuyến tính của ma trận khối lượng và ma trận độ cứng.

- Xử lý điều kiện biên ta được  $[M]$  và  $[K]$
- Phân tích Cholesky ma trận khối lượng

$$[M] = [U] \cdot [U]^T,$$

$[U]$  - ma trận tam giác dưới;

$[U]^T$  - ma trận tam giác trên.

-Tính được:  $[K_u] = [U]^{-1}[K]([U]^T)^{-1}$ .

- Gọi  $\{X_u\}_i$  là véc tơ riêng của ma trận  $[K_u]$ . Xác định giá trị riêng của  $[K_u]$  bằng cách phân tích  $[K_u]\{X_u\}_i = \chi_i[X_u]_i$  để xác định giá trị riêng  $\chi_i$ .

Từ  $\chi_i = p_i^2$  ta tính được các tần số dao động  $p_i = \sqrt{\chi_i}$ .

Áp dụng công thức  $[C] = c_1[K] + c_2[M]$ , giá trị  $c_1$  và  $c_2$  được xác định với hai tần số  $p_1$  và  $p_2$  (lấy các tần số thấp nhất)

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= \frac{2\xi p_1 p_2}{p_1 + p_2} \\ c_2 &= \frac{2\xi}{p_1 + p_2} \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

$\xi$  - hệ số cản của vật liệu.

### 3.7. Thuật giải phương trình vi phân dao động hệ dây neo

Ta biết rằng lý thuyết đàn hồi phi tuyến dựa trên giả thiết các biến dạng lớn. Với các dây neo khi dao động có chuyển vị lớn, vì vậy khi áp dụng phương pháp PTHH để thiết lập hệ phương trình vi phân dao động của hệ dây neo sẽ dẫn đến một hệ phương trình mà trong đó các hệ số thể hiện tính chất phi tuyến của kết cấu dây neo. Áp dụng cơ sở phương pháp Newmark đã trình bày ở chương 2, thuật giải phương trình vi phân dao động của kết cấu dây neo gồm các bước sau :

- Xác định thông số ban đầu: Xác định vận tốc và gia tốc  $\{\dot{u}\}_t, \{\ddot{u}\}_t$  tại thời điểm ban đầu;
- Tính toán các hệ số  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  theo công thức (2.99);
- Xác định ma trận độ cứng hữu ích theo công thức (2.103);
- Với mỗi bước thời gian  $\Delta t$  thực hiện tính gần đúng dần tại các thời điểm  $t + \Delta t$ . Chọn  $\Delta t$  dựa trên 3 yếu tố:
  - Mức độ biến đổi của tải trọng;
  - Độ phức tạp của tính chất phi tuyến;
  - Chu kỳ dao động của hệ.

$\Delta t$  cần lưu ý sao cho thỏa mãn điều kiện:  $\Delta t < \Delta t_{er}$ ,

$$\Delta t_{er} = \frac{T_n}{\pi}.$$

$T_n$ - chu kỳ riêng nhỏ nhất ứng với tần số dao động riêng lớn nhất của kết cấu.

- Xác định  $\{\Delta u\}_{t+\Delta t}$  theo công thức (2.106);

- Từ đó hiệu chỉnh số gia chuyển vị, gia tốc, vận tốc theo công thức (2.107) và (2.108);

- Thay vào phương trình dao động (2.80) xác định lực căng;

- Kiểm tra điều kiện cân bằng nút:

$$\{\hat{F}\}_{t+\Delta t} - [M]\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} - [C]\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} - [K]\{u\}_{t+\Delta t} \leq \varepsilon,$$

Trong đó  $\varepsilon$  là giá trị điều kiện cân bằng nút cho trước.

### **3.8. Thuật toán tính toán tĩnh lực học hệ dây neo theo mô hình không gian**

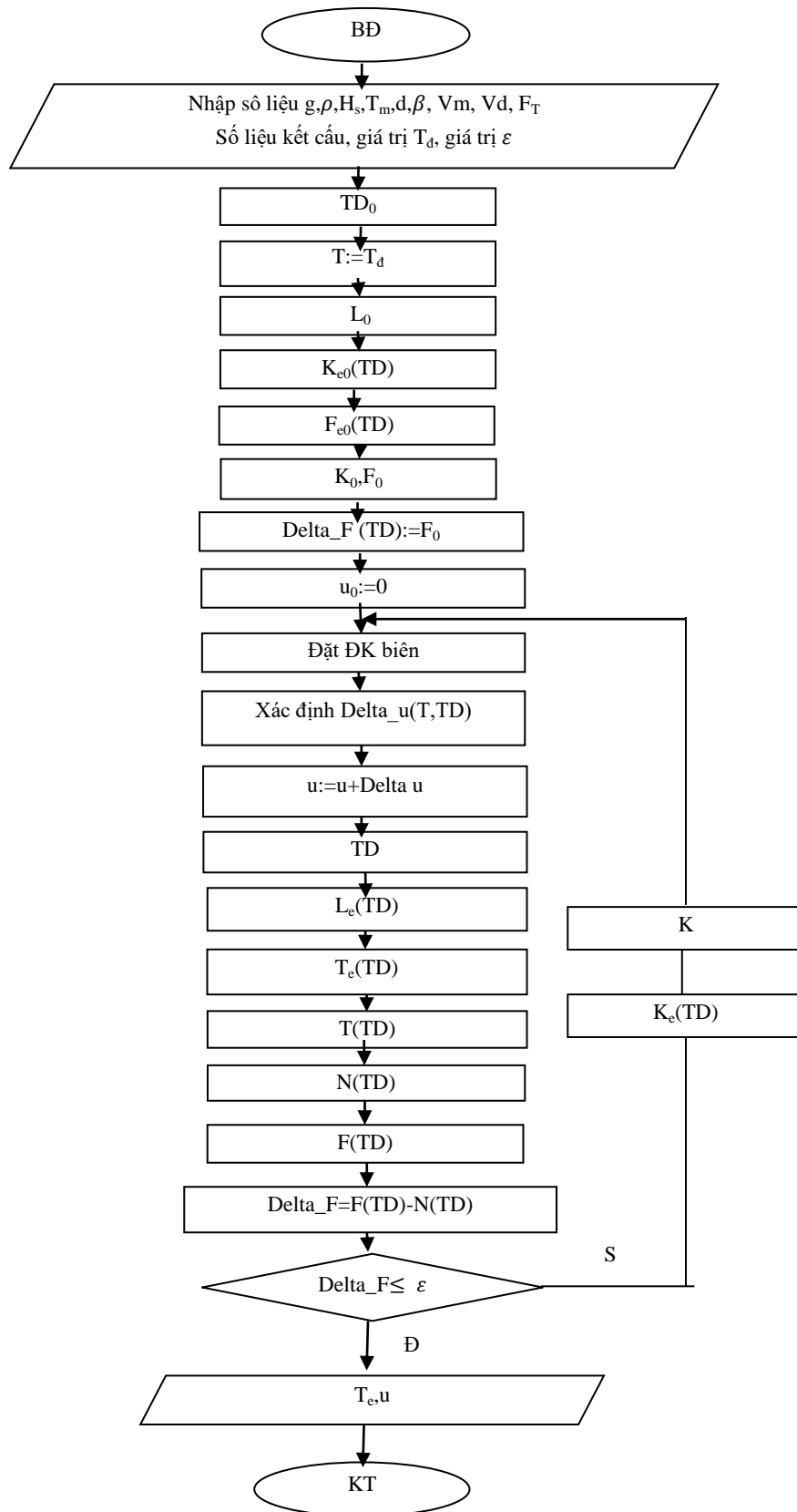
Từ mô hình thuật toán mục 2.1, phân tích cơ sở lý thuyết mục 2.2 và cách thực hiện trong các mục 3.6, kết hợp với thuật toán tính toán dây neo đơn mục 3.5, ta xây dựng thuật toán theo cách sau:

- Dựa vào thuật toán tính toán dây neo đơn để xác định tọa độ nút của phần tử dây neo lúc ban đầu;

- Giả định lực căng ban đầu để thực hiện thuật toán tính lặp [4] giải phương trình cân bằng của kết cấu:  $[K].\{u\} = \{F\}$ ;

- Kiểm tra điều kiện cân bằng nút, nếu đạt ta được kết quả lực căng và chuyển vị.

Sau đây là sơ đồ thuật toán tính toán tĩnh lực học hệ dây neo mô hình không gian (hình 3.7):



**Hình 3.7. Sơ đồ khối thuật toán tính tĩnh lực học hệ dây neo**

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 phần tử, chỉ số nút;

Đặc trưng phần tử dây neo gồm đặc trưng hình học và đặc trưng vật liệu;

Giá trị điều kiện cân bằng nút  $\varepsilon$ .

2. Xác định véc tơ tọa độ nút phần tử  $TD_0, TD$ :

- Tọa độ các nút phần tử: Mục 3.6.2.1 Bước 1,2,3;

3. Giả định lực căng ban đầu:  $T_0 = T_d, T$ :

- Giả định lực căng ban đầu khi dây neo chịu tải trọng bản thân,  $T_d$ ;

4. Xác định véc tơ chiều dài phần tử ban đầu phụ thuộc tọa độ nút:  $L_0, L$

5. Xác định ma trận độ cứng phần tử ( $K_{e0}$ ): gồm ma trận độ cứng đàn hồi và ma trận độ cứng hình học theo tọa độ nút và lực căng:

- Mục 3.6.2.1. bước 5,6;

6. Xác định véc tơ tải trọng nút  $F_{e0}(TD)$ :

- Mục 3.6.2.1. bước 8;

7. Chuyển véc tơ tải trọng nút  $F_{e0}(TD)$  và ma trận độ cứng  $K_{e0}(TD)$  phần tử sang hệ tọa độ tổng thể:

- Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ phần tử theo tọa độ nút tại bước ban đầu  $T_{e0}, T_e$ : Mục 3.6.2.1, bước 4, công thức (3.15);

- Chuyển  $F_{e0}$  và  $K_{e0}$ : Mục 3.6.2.1, bước 9,10,11;

8. Gán  $\Delta F(TD) := F_0$ ;

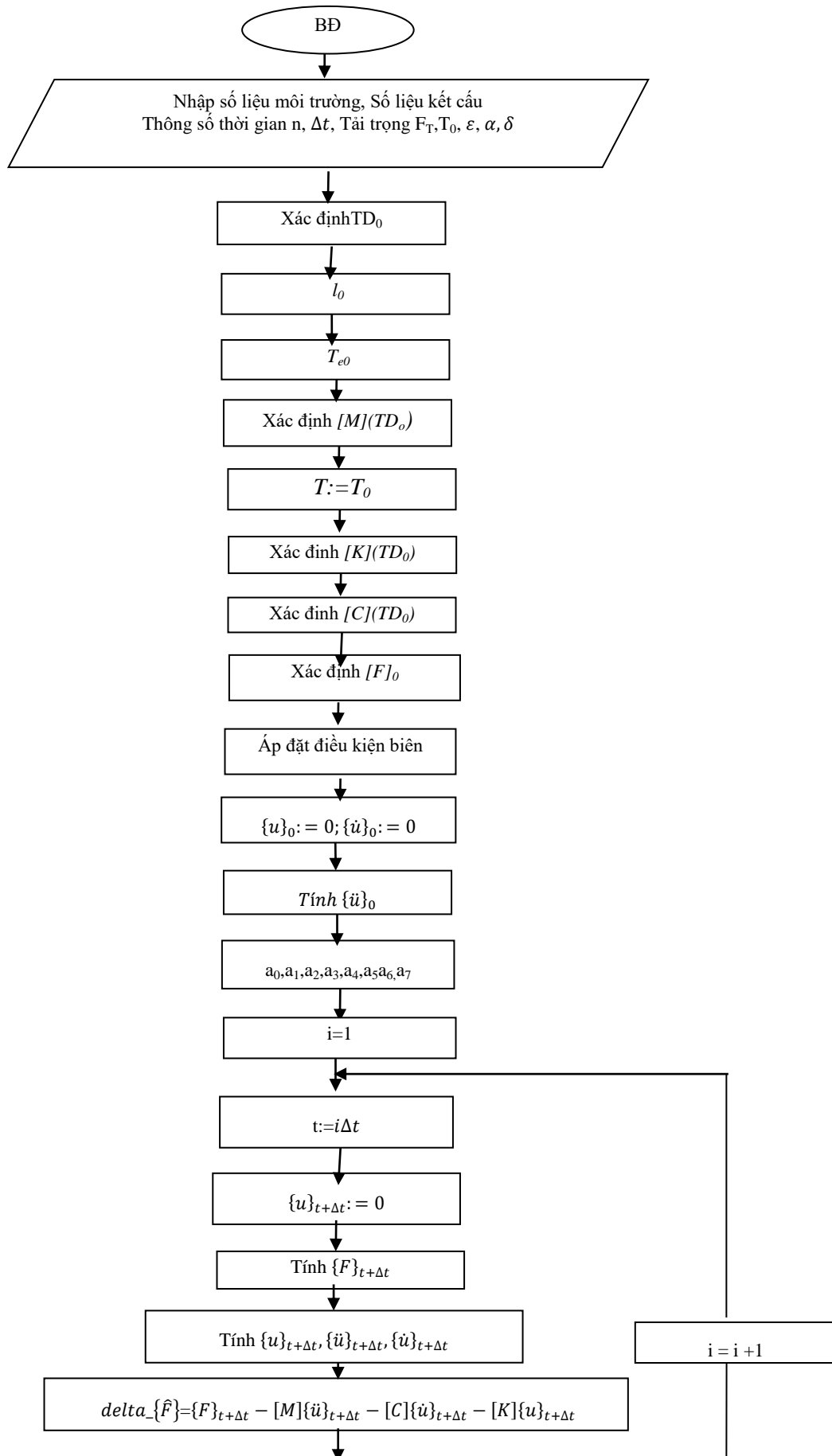
9. Cho giá trị chuyển vị ban đầu là 0;
10. Xử lý điều kiện biên, xóa các dòng và cột ở ma trận tại các chuyển vị bị chặn;
11. Xác định chuyển vị  $\Delta u(T, TD)$ :
  - Giải phương trình cân bằng tìm giá trị chuyển vị;
12. Chuyển vị mới được cộng dồn:
 
$$u := u + \Delta u;$$
13. Xác định tọa độ mới của nút phần tử  $TD$ :
  - Với chuyển vị mới xác định tọa độ mới của phần tử;
14. Xác định chiều dài phần tử theo tọa độ mới  $L_e(TD)$ :
  - Theo công thức (3.14);
15. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ  $T_e(TD)$ :
  - Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ theo tọa độ mới  $TD$ ;
16. Xác định lực căng  $T(L, TD)$ :
  - Từ chuyển vị mới, xác định lực căng (cho phần tử) theo tọa độ mới  $TD$ ;
17. Xác định véc tơ nội lực tại các nút trong hệ tọa độ tổng thể  $N(TD)$  của cả hệ:
  - Xác định nội lực tại các nút trong hệ tọa độ tổng thể của cả hệ;
18. Xác định  $F(TD)$ :
  - Với vị trí chuyển vị mới, xác định tải trọng sóng, dòng chảy, bản thân được quy về nút, từ đó xác định véc tơ tải trọng nút theo hệ tọa độ mới;
19. Tính sai số  $\Delta F = F(TD) - N(TD)$ ;

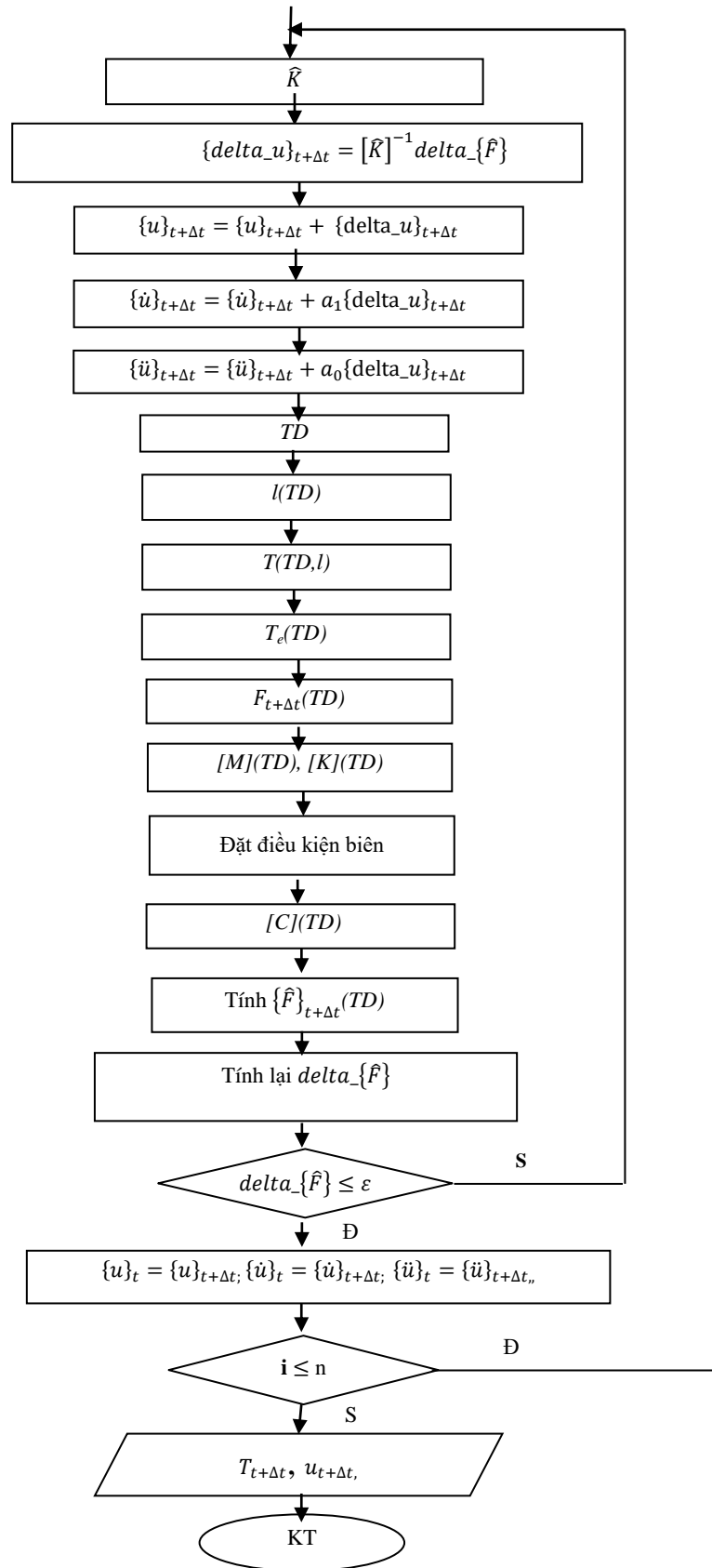


20. Kiểm tra điều kiện cân bằng nút:
  - $\Delta F \leq \varepsilon$  nếu sai số lớn hơn giá trị cho phép thì thực hiện bước 21. Nếu sai số nhỏ hơn giá trị cho phép thì thực hiện bước 24;
21. Xác định ma trận độ cứng phần tử  $K_e(TD)$ :
  - Gồm ma trận độ cứng đàn hồi và ma trận độ cứng hình học theo tọa độ nút và lực căng mới (chiều dài phần tử thay đổi);
22. Chuyển ma trận độ cứng  $K_e(TD)$  phần 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.

### **3.9. Thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo theo mô hình không gian**

Từ phân tích cơ sở lý thuyết, mô hình bài toán, cách xây dựng thuật toán tính hệ dây neo mô hình không gian (mục 3.6), kết hợp sử dụng thuật toán thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên và tính toán thông số động học của sóng (mục 3.4) để xác định tải trọng ngẫu nhiên lên kết cấu dây neo. Sử dụng thuật toán tính toán dây neo đơn khi chịu tải trọng bản thân (mục 3.5) để xác định tọa độ nút tại thời điểm ban đầu. Giá trị lực căng giả định ban đầu được lấy là giá trị lực căng trong bài toán tĩnh hệ dây neo không gian (mục 3.8) để bài toán nhanh được hội tụ kết quả. Sử dụng thuật giải phương trình dao động (mục 3.7) giải phương trình dao động của kết cấu hệ dây neo theo miền thời gian, sau đây là sơ đồ thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo không gian (hình 3.8):





**Hình 3.8.** Sơ đồ khối thuật toán tính động lực học hệ dây neo

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  $TD_0$ . Cách làm theo mục 3.6.2.1, bước 1,2,3.
3. Xác định véc tơ chiều dài phần tử ban đầu phụ thuộc tọa độ nút:  $l_0, l=l_0$  theo công thức (3.14);
4. Xác định ma trận chuyển hệ trục tọa độ  $T_{e0}$  theo công thức (3.15):
  - Mục 3.6.2.1. bước 4
5. Xác định ma trận khối lượng  $[M]$  :
  - Mục 3.6.2.1 bước 7, sau đó chuyển sang hệ tọa độ tổng thể bước 9, ghép nối ma trận ở bước 11;
6. Giả định lực căng ban đầu,  $T_0$ :
  - $T_0$  được lấy là kết quả giá trị lực căng trong thuật toán tĩnh để bài toán nhanh được hội tụ;
7. Xác định ma trận độ cứng  $[K]$ 
  - Mục 3.6.2.1. bước 5,6, sau đó chuyển sang hệ tọa độ tổng thể bước 9, ghép nối ma trận ở bước 11;
8. Xác định ma trận cản nhớt  $[C]$ :
  - Theo mục 3.6.2.2;

9. Xác định véc tơ tải trọng nút  $\{F\}_0$ :
  - Mục 3.6.2.1. bước 8, sau đó chuyển sang hệ tọa độ tổng thể bước 10, ghép nối ma trận ở bước 11;
10. Xử lý điều kiện biên:
  - Xóa dòng và cột ở những chuyển vị bị chặn;
11. Vào số liệu điều kiện ban đầu:  $\{u\}_0, \{\dot{u}\}_0$ ;
  - Ở bước ban đầu  $\{u\}_0 = 0, \{\dot{u}\}_0 = 0$ ;
12. Tính  $\{\ddot{u}\}_0$  theo công thức của phương trình dao động;
13. Tính các hệ số  $a_0$  đến  $a_7$  theo công thức (2.99);
14. Bắt đầu thực hiện vòng lặp theo thời gian, trong thời gian  $t$  (s) chia thành  $n$  bước thời gian với gia số thời gian là  $\Delta t$ ;

#### **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 cho giá trị chuyển vị sau  $\{u\}_{t+\Delta t}$  sẽ là chuyển vị đầu của bước trước được gán bằng 0, tức là gán  $\{u\}_{t+\Delta t} = 0$
17. Xác định véc tơ tải trọng nút tại thời điểm  $t+\Delta t$
18. Xác định  $\{u\}_{t+\Delta t}$  theo công thức (2.98),  $\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t}$  theo công thức (2.101),  $\{\dot{u}\}_{t+\Delta t}$  theo công thức (2.100).
19. Gán  $\delta_{\{\hat{F}\}} = \{F\}_{t+\Delta t} - [M]\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} - [C]\{\dot{u}\}_{t+\Delta t} - [K]\{u\}_{t+\Delta t}$

#### **Vòng lặp tìm chuyển vị và lực căng**

20. Xác định ma trận độ cứng hữu ích:
  - Theo công thức (2.103) trong mục 2.2.7.

21. Xác định số gia chuyển vị tại thời điểm  $t + \Delta t$  theo công thức (2.106);
22. Hiệu chỉnh chuyển vị, vận tốc, gia tốc:
  - Cộng dồn chuyển vị từ chuyển vị ban đầu theo công thức (2.107).
  - Hiệu chỉnh số gia vận tốc, gia tốc theo công thức (2.108).
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  $l(TD)$ :
  - Theo công thức (3.14).
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, công thức (3.15);
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,  $[K](TD)$ ,  $[M](TD)$ :
  - Mục 3.6.2.1. bước 5,6,7.
29. Chuyển các ma trận  $[M]$ ,  $[K]$  về hệ tọa độ tổng thể của kết cấu:
  - Mục 3.6.2.1. bước 9, ghép nối ma trận ở bước 11.
30. Áp đặt điều kiện biên;
31. Xác định các ma trận cản nhót  $[C](TD)$  theo tọa độ mới là tổ hợp tuyến tính của  $[M]$ ,  $[K]$ :
  - Mục 3.6.2.1, bước 5,6,9,11 và mục 3.6.2.2.
32. Tính  $\{F\}_{t+\Delta t}$  theo tọa độ mới;

33. Xác định lại gia số lực hữu ích  $delta_{\{\hat{F}\}}$  khi đã có chuyển vị;
34. Kiểm tra sai số  $delta_{\{\hat{F}\}} \leq \varepsilon$  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.

**KẾT LUẬN CHƯƠNG**

Kết luận chương đã thực hiện được:

- Phân tích đặc điểm vùng biển Việt Nam, đặc điểm hai dạng phổ Pierson – Moskowitz và Jonswap, lựa chọn phổ Pierson - Moskowitz là phổ phù hợp để mô tả các ứng xử của sóng ở vùng biển Việt Nam;

- Xây dựng thuật toán để mô tả mặt sóng ngẫu nhiên tại vùng biển mở Rạng Đông của Việt Nam theo hai dạng phổ Pierson – Moskowitz và Jonswap, từ đó xác định các đại lượng động học của sóng ngẫu nhiên: vận tốc và gia tốc của phần tử nước;

- 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 theo mô hình không gian, áp dụng phương pháp PTHH để thiết lập phương trình cân bằng của hệ, sử dụng phương pháp lặp giải hệ phương trình phi tuyến của kết cấu;

- Dựa trên cơ sở phân tích động lực học hệ dây neo, xác định các tải trọng tác dụng lên dây neo gồm: tải trọng từ CTBN, tải trọng bản thân, tải trọng dòng chảy và sóng ngẫu nhiên tác dụng trực tiếp lên phần tử dây neo; giải bài toán động lực học dây neo theo miền thời gian bằng phương pháp Newmark, tác giả đã xây dựng được thuật toán tính toán động lực học hệ dây neo theo 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 trên, tác giả đã lập chương trình MOORING\_2017 trên máy tính để thực hiện tính toán thuật 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 phụ lục);

So sánh kết quả tính theo phần mềm của tác giả với kết quả của phần mềm OCARFLEX.

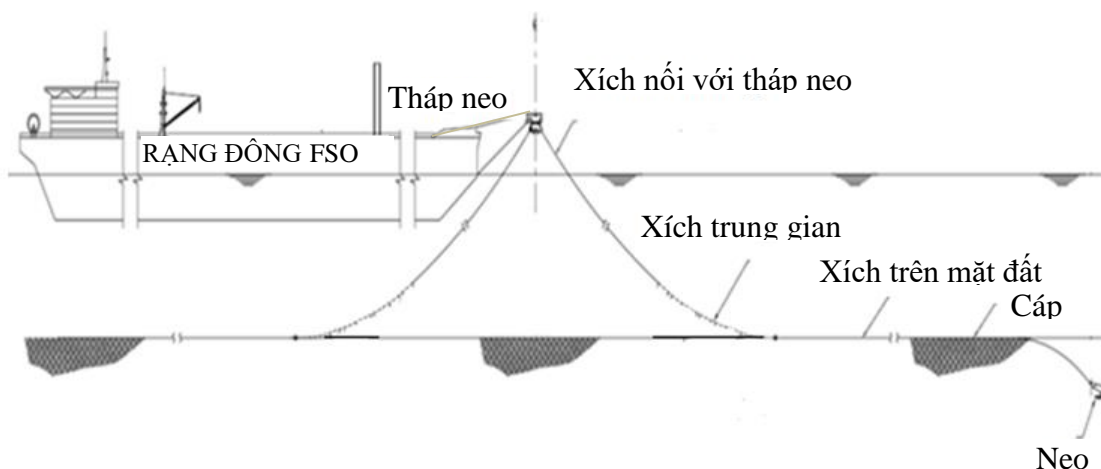
### **4.1. Tổng quan công trình thực tế - FSO Rạng Đông**

#### **4.1.1. Mô tả chung**

FSO Rạng Đông được lắp đặt tại mỏ Rạng Đông từ tháng 10 năm 2008, tại độ sâu nước khoảng 56m, cách bờ biển Vũng Tàu 135 km. FSO Rạng Đông là kho chứa nổi dạng tàu có trọng tải 52,000 DWT được cố định với đáy biển bằng một hệ thống tháp neo ngoài tại phần mũi (hình 4.2) cho phép FSO đón hướng bất kỳ được xác định bởi gió, sóng và dòng chảy.

Dầu được tách riêng khỏi khí tại các giàn cố định ngoài khơi hoặc giàn xử lý trung tâm với hàm lượng nước 10% thể tích dẫn đến thông qua các đường ống dẫn, các ống góp ngầm (PLEM) dưới biển, các đường ống mềm tới FSO. Tại đây, dầu được làm sạch sơ bộ trong các bầu lọc thô tại đường vào tách bỏ các tạp chất bẩn. Sau khi được hâm nóng tới 65°C trong thiết bị trao đổi nhiệt, nó đi qua các ống phun hướng dòng đến két xử lý. Dầu đã qua xử lý được giữ ở nhiệt độ 65°C sẽ được chuyển chủ yếu qua bơm hàng và bơm hút cạn vào các két dầu hàng dự trữ. Dầu dự trữ trong các két này được duy trì ở nhiệt độ 45°C và sẽ được bơm lên bằng bơm hàng và xuất ra thông

qua thiết bị đo (LACT) tại trạm xuất dầu được đặt tại đuôi FSO. Kích thước FSO thể hiện trong bảng 4.1.



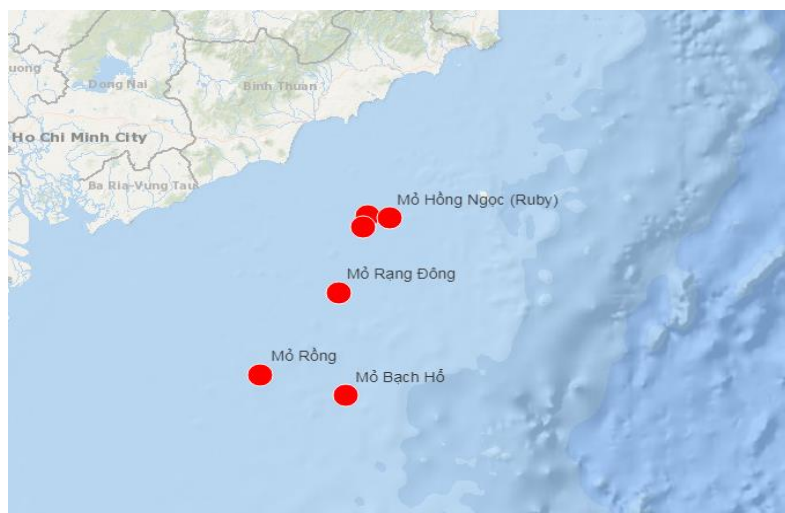
**Hình 4.2. Sơ đồ neo FSO Rạng Đông bằng hệ neo Turret ngoài**

**Bảng 4.1. Đặc trưng kho nổi FSO Rạng Đông**

Tham số	Đơn vị	Dẫn	Đầy tải
Chiều dài hai đường vuông góc	m	186	
Chiều rộng	m	32	
Chiều cao mạn	m	18,39	
Lượng chiếm nước	tấn	29400	62700
Mớn nước thiết kế	m	6,1	12,5
Diện tích đường nước tại chiều chìm thiết kế	m <sup>2</sup>	4860	5380
Diện tích chắn gió (phương dọc)	m <sup>2</sup>	798	588
Diện tích chắn gió (phương ngang)	m <sup>2</sup>	2973	2197
Diện tích chắn dòng chảy (phương dọc)	m <sup>2</sup>	193	403
Diện tích chắn dòng chảy (phương ngang)	m <sup>2</sup>	1043	2197

#### 4.1.2. Số liệu môi trường trong phân tích thiết kế neo (bảng 4.2)

Vị trí mỏ Rạng Đông (hình 4.3) và số liệu môi trường (bảng 4.2)



**Hình 4.3. Vị trí mỏ Rạng Đông**

**Gió:** Vùng biển Nam Việt Nam có hai mùa rõ rệt là mùa mưa và mùa khô với hai chế độ gió mùa tương phản: gió mùa Đông Bắc từ tháng 10 đến tháng 3, gió mùa Tây Nam từ tháng 5 đến tháng 8. Tháng 4 và tháng 9 là tháng chuyển tiếp của gió. Trung bình có 10 đến 12 cơn bão nhiệt đới xảy ra ở biển Đông mỗi năm và khoảng từ 5 đến 6 cơn bão đó đã đi vào Việt Nam.

**Sóng:** Phụ thuộc vào mùa gió, sóng cũng có hai mùa với hướng sóng phổ biến là Đông Bắc từ tháng 10 đến tháng 3, và Tây Nam từ tháng 5 đến tháng 8. Tháng 4 là khoảng thời gian chuyển tiếp của sóng, gió. Chiều cao sóng đáng kể vào mùa đông cao hơn so với sóng vào mùa hè. Sóng to được quan sát chủ yếu trong khoảng thời gian từ tháng 10 đến tháng 2 và trong cơn bão, chiều cao sóng thay đổi từ 8 m đến 10 m.

**Dòng chảy:** Số liệu quan sát chủ yếu theo hướng Đông Nam, dữ liệu dòng chảy tại mỏ Rạng Đông được lấy theo [41].

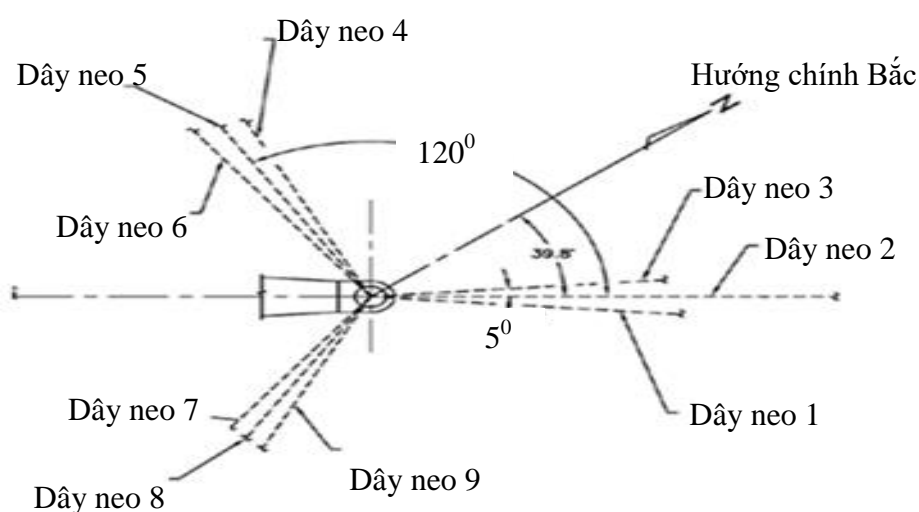
Dữ liệu sóng, gió, dòng chảy tại mỏ Rạng Đông thể hiện trong bảng 4.2.

**Bảng 4.2. Số liệu môi trường trong phân tích thiết kế hệ neo FSO Rạng Đông**

Dữ liệu	Thông số	Chu kỳ lặp 100 năm		Đơn vị		
		Cộng tuyến	Không cộng tuyến			
Vùng biển	Độ sâu nước	56	56	m		
Dữ liệu sóng	Chiều cao sóng đáng kể	8,48	8,48	m		
	Chu kỳ sóng tính toán	8	10	12	14,61	s
	Hướng	0 ÷ 180	0 ÷ 180	Độ		
Dữ liệu gió	Vận tốc trung bình	37,4	37,4	m/s		
	Hướng	0 ÷ 180	0 ÷ 180	Độ		
Dữ liệu dòng chảy	Hướng	0 ÷ 180	0 ÷ 180	Độ		
	Dòng chảy mặt	1,47	0,74	m/s		
	Dòng chảy tại độ sâu	1,43	0,72	m/s		
	Dòng chảy tại độ sâu 56m	1	0,5	m/s		

#### 4.1.3. Hệ thống neo và chằng buộc

Tàu FSO Rạng Đông được neo bằng tháp neo ngoài, cố định với đáy biển bằng 09 dây neo được chia thành ba cụm (hình 4.4) với các thuộc tính (bảng 4.3), sử dụng neo Stevpris.



**Hình 4.4. Sơ đồ hệ 09 dây neo của FSO Rạng Đông**

**Bảng 4.3. Thuộc tính các đường dây neo**

Thông số		Đoạn xích nối với giá chặn xích	Đoạn xích trung gian	Đoạn xích nằm trên mặt đất	Đoạn dây cáp trên đất
Loại		không ngáng-RQ3	không ngáng-RQ3	không ngáng-RQ3	6 strand
Chiều dài (m)		58	80	194	750
Đường kính (mm)		95	95	89	95
Trọng lượng/ 1m chiều dài (kg/m) trong	không khí	178,7	178,7	157,7	34,9
	nước	155,4	155,4	137,2	30,4
Khối lượng riêng (kg/m <sup>3</sup> ) trong	không khí	7850	7850	7850	5610
	nước	6855	6855	6855	4887
Độ cứng dọc trục (kN)		801200	801200	721980	382090
Tốc độ ăn mòn (mm/năm)		1	1	0,3	0,3
Lực kéo đứt $T_d$ (kN)	Mới	7100	7100	6630	6700
	Đã sử dụng	6140	6140	6230	6140
Hệ số $C_M$		2,2	2,2	2,2	0,7
Hệ số $C_D$		1	1	1	1

## **4.2. Thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên tại vùng biển mở Rạng Đông**

### **4.2.1. Số liệu chương trình thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên vùng biển mở Rạng Đông**

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

### **4.2.2. Kết quả tính toán**

#### **4.2.2.1. Tính toán tham số của phổ**

Trong luận án, tác giả lập chương trình thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên để tính toán tải trọng sóng lên dây neo bằng cách mô tả sóng theo 2 dạng phổ sau:

- Phổ Pierson – Moskowitz (P-M)

Vì qua phân tích ở chương 2, phổ P-M là dạng phổ thích hợp để mô tả ứng xử của sóng ở vùng biển Việt Nam.

- Phổ Jonswap

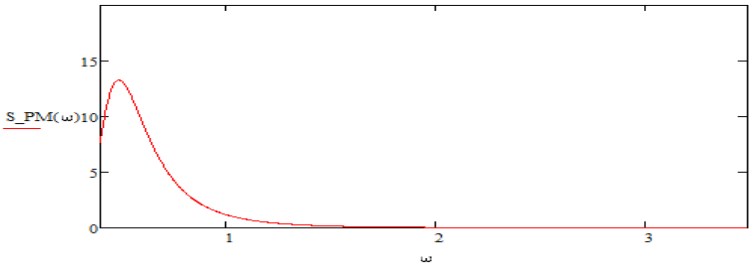
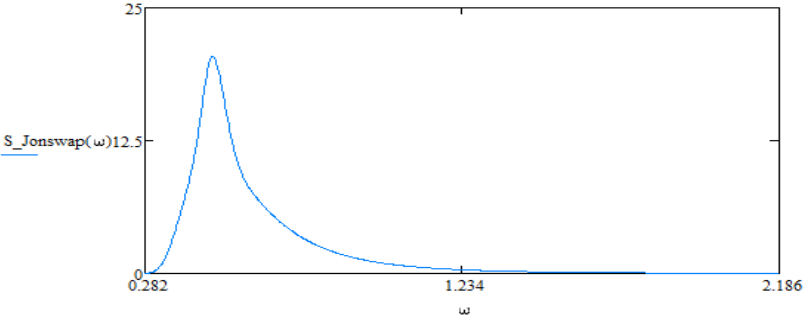
Thường được các Công ty thiết kế sử dụng vì 2 lý do:

Các phần mềm đang sử dụng như OCARFLEX, MIMOSA... chủ yếu tính toán cho sóng ở vùng Biển Bắc, nên phù hợp với dạng phổ Jonswap.

Phổ P-M thực ra là một trường hợp đặc biệt của phổ Jonswap, khi độ nhọn đỉnh phổ  $\gamma = 1$  thì phổ P-M trùng với phổ Jonswap. Thông thường phổ Jonswap có  $\gamma > 1$ , do đó trong những môi trường biển bất lợi hơn, phổ Jonswap được sử dụng. Vì vậy các Công ty thiết kế thường sử dụng phổ Jonswap trong tính toán CTBN.

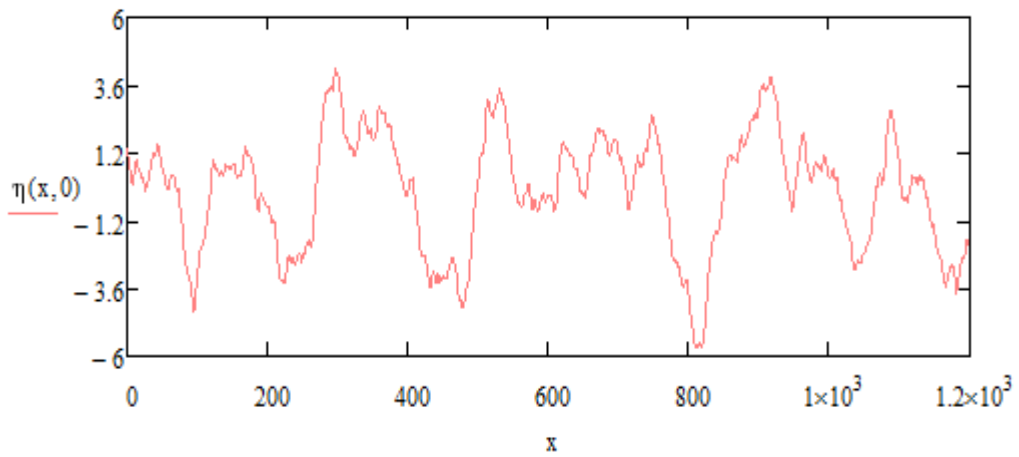
Kết quả tính toán hai dạng phổ sử dụng cho vùng biển mở Rạng Đông phía nam Việt Nam từ một trạng thái biển trên MOORING\_2017 thể hiện trong bảng 4.4.

**Bảng 4.4. Dạng phổ sóng Pierson – Moskowitz và Jonswap**

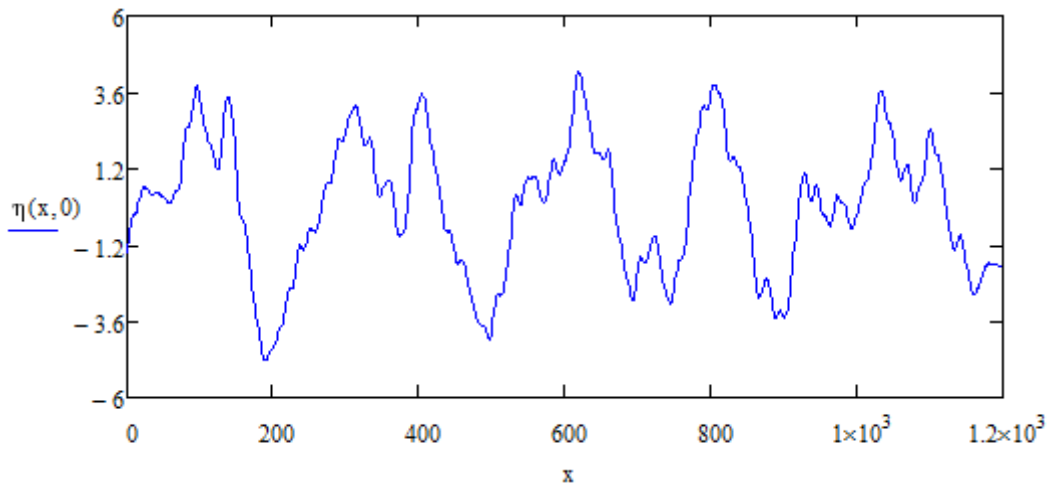
Trạng thái biển	$H_s=8.48$ m; $T_m=10$ s
Dạng phổ P-M	
Dải tần số của phổ (rad/s)	$\omega_{PM_s} := 0.58 \cdot \frac{2\pi}{T_z} = 0.396$ $\omega_{PM_f} := 5.1101 \cdot \frac{2\pi}{T_z} = 3.487$
Dải chu kỳ tính toán (s)	(1,802 ÷ 15,87)
Dạng phổ Jonswap	
Dải tần số của phổ (rad/s)	$\omega_{Jonswap_s} = 0.282$ $\omega_{Jonswap_f} = 2.186$
Dải chu kỳ tính toán (s)	(2,874 ÷ 11,14)

#### 4.2.2.2. Thiết lập mặt sóng ngẫu nhiên

Kết quả chương trình mô tả mặt sóng ngẫu nhiên theo hai dạng phổ tại vùng biển mở Rạng Đông phía nam Việt Nam thể hiện trên hình 4.5 và hình 4.6.



**Hình 4.5. Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ P-M**



**Hình 4.6. Mặt sóng ngẫu nhiên mô tả bởi phổ Jonswap**

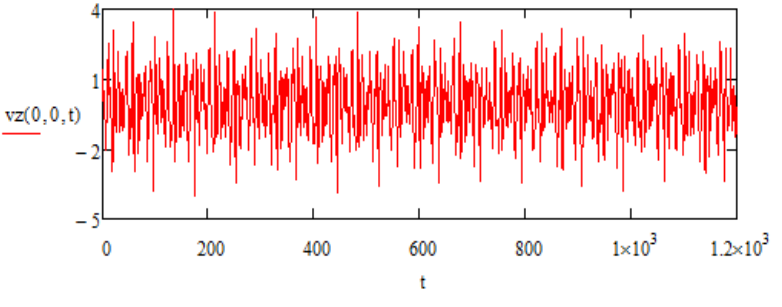
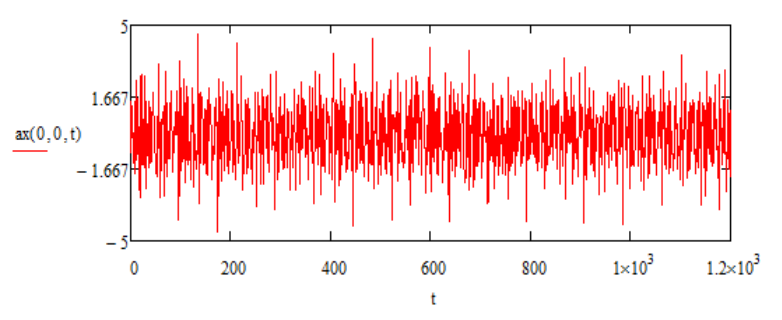
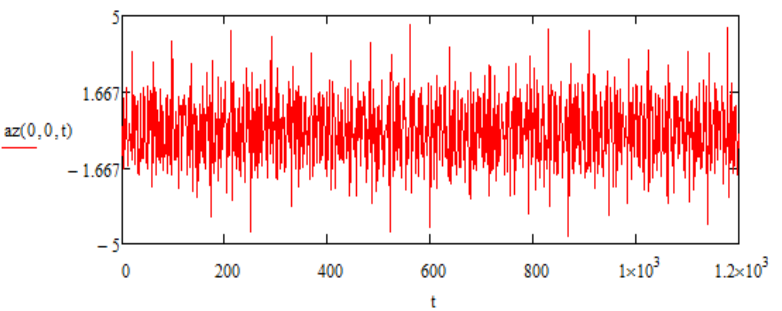
**4.2.2.3. Xác định các thông số động học của sóng ngẫu nhiên**

Kết quả các thông số động học của sóng ở mỏ Rạng Đông xác định theo 2 dạng phổ thể hiện ở bảng 4.5. và bảng 4.6.

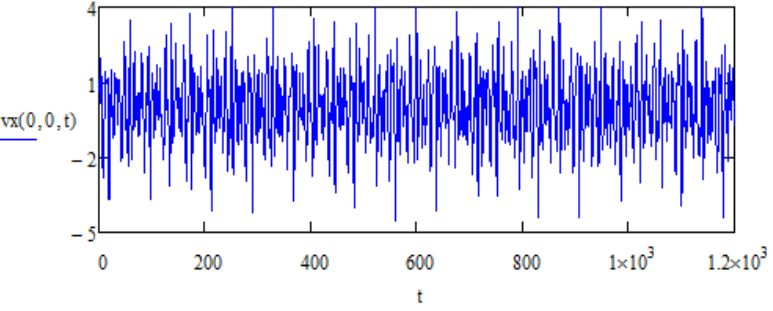
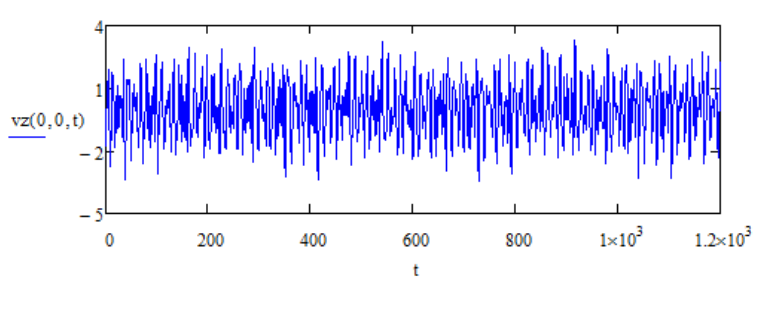
**Bảng 4.5. Kết quả thông số động học của sóng khi dùng phổ P-M**

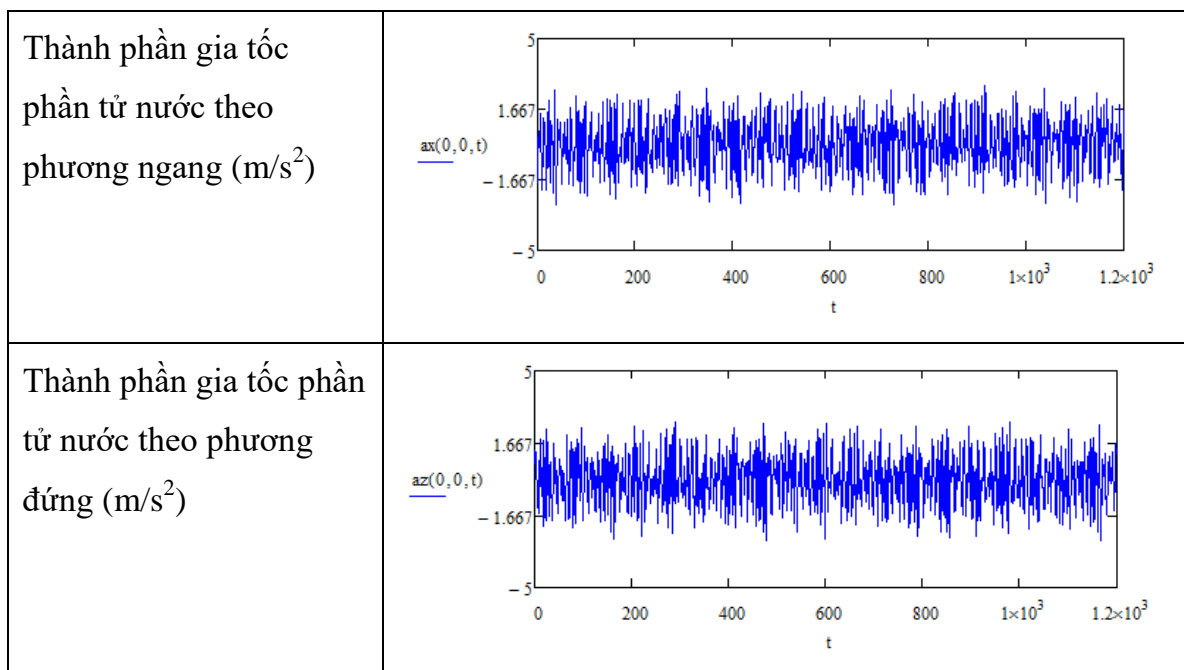
Thành phần vận tốc phần tử nước theo phương ngang (m/s)	
---	--



<p>Thành phần vận tốc phần tử nước theo phương đứng (m/s)</p>	
<p>Thành phần gia tốc phần tử nước theo phương ngang (m/s<sup>2</sup>)</p>	
<p>Thành phần gia tốc phần tử nước theo phương đứng (m/s<sup>2</sup>)</p>	

**Bảng 4.6. Kết quả thông số động học của sóng khi dùng phổ Jonswap**

<p>Thành phần vận tốc phần tử nước theo phương ngang (m/s)</p>	
<p>Thành phần vận tốc phần tử nước theo phương đứng (m/s)</p>	



### 4.3. Tính toán hệ dây neo mô hình không gian

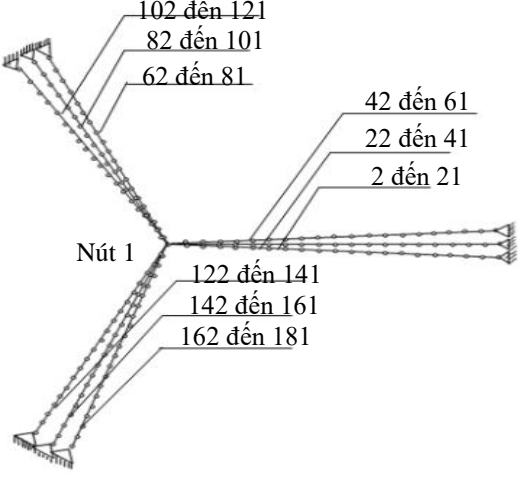
#### 4.3.1. Số liệu đầu vào

Số liệu môi trường và số liệu kết cấu (bảng 4.7), tải trọng tác dụng lên FSO được lấy theo kết quả của Công ty đầu tư kỹ thuật và phát triển công nghệ biển Việt Nam VIMARTEC.

**Bảng 4.7. Số liệu chương trình tính toán hệ dây neo FSO Rạng Đông**

Gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ )	$g := 9.81$
Khối lượng riêng nước biển ( $kg/m^3$ )	$\rho_n := 1.02$
Độ sâu nước (m)	$d := 56$
Số liệu sóng	
Góc hợp bởi giữa phương truyền sóng và trục 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 phổ sóng (rad/s)	Bảng 4.4															
Dải chu kỳ tính toán (s)	Bảng 4.4															
Vận tốc và gia tốc phần tử nước do sóng theo phương ngang và phương đứng theo phổ sóng P-M.	Bảng 4.5															
Vận tốc và gia tốc phần tử nước do sóng theo phương ngang và phương đứng theo Phổ Jonswap.	Bảng 4.6															
Số liệu dòng chảy																
Góc hợp bởi giữa phương dòng chảy và trục x (độ)	180															
Vận tốc dòng chảy: Với cao trình đáy: $V_c$ ở mặt: 1,47 m/s; $V_c$ ở độ sâu 30 m: 1,43 m/s; $V_c$ tại đáy: 1 m/s.	$\text{dong\_chay} :=$ <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </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																
Số liệu kết cấu của FSO Rạng Đông																
Cao độ tháp neo so với mặt nước (m)	$\text{th\_neo} := 15.4$															
Bán kính neo tính từ tâm tháp neo đến điểm neo (m)	$\text{R\_x} := 1056$															
Chiều dài các đoạn dây (m): Mỗi dây neo gồm 4 đoạn theo số liệu bảng 4.3	$\text{L\_dn} := \begin{pmatrix} 58 \\ 80 \\ 194 \\ 750 \end{pmatrix}$															
Mỗi đoạn dây neo được chia thành 5 phần tử, mỗi dây neo gồm 4 đoạn được chia thành 20 phần tử	$\text{n\_doan} := \begin{pmatrix} 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{pmatrix}$															
Giá trị điều kiện cân bằng nút	$10^{-5}$															

<p>Sơ đồ nút:          Tại tâm Turret là nút số 1.          Các dây được đánh số từ nút 2 đến nút 181 (sơ đồ bên)</p>																																									
<p>Góc xoay các dây neo so với trục x (độ) (theo sơ đồ hệ dây neo FSO Rạng Đông hình 4.2)</p>	<p>goc_xoay :=</p> <table border="1" data-bbox="1088 734 1316 1097"> <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>120</td></tr> <tr><td>6</td><td>125</td></tr> <tr><td>7</td><td>235</td></tr> <tr><td>8</td><td>240</td></tr> <tr><td>9</td><td>245</td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> </table>		1	1	-5	2	0	3	5	4	115	5	120	6	125	7	235	8	240	9	245	10																			
	1																																								
1	-5																																								
2	0																																								
3	5																																								
4	115																																								
5	120																																								
6	125																																								
7	235																																								
8	240																																								
9	245																																								
10																																									
<p>Số nút: Mỗi dây neo có 20 nút, 1 nút chung tại tâm Turret, vì vậy hệ có 181 nút</p>	<p>so_nut:= 181</p>																																								
<p>Số chuyển vị: Mỗi nút có 3 chuyển vị, nên hệ có 543 chuyển vị (tính cả các chuyển vị bị chặn)</p>	<p>tong_so_cv= 543</p>																																								
<p>Tọa độ nút lúc ban đầu (m)</p>	<p>toa_do_nut =</p> <table border="1" data-bbox="965 1473 1420 1892"> <thead> <tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>71.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>7.278</td><td>-0.381</td><td>62.375</td></tr> <tr><td>3</td><td>14.555</td><td>-0.763</td><td>53.35</td></tr> <tr><td>4</td><td>21.833</td><td>-1.144</td><td>44.325</td></tr> <tr><td>5</td><td>29.11</td><td>-1.526</td><td>35.3</td></tr> <tr><td>6</td><td>36.388</td><td>-1.907</td><td>26.275</td></tr> <tr><td>7</td><td>51.48</td><td>-2.698</td><td>21.02</td></tr> <tr><td>8</td><td>66.571</td><td>-3.489</td><td>15.765</td></tr> <tr><td>9</td><td>81.663</td><td>-4.28</td><td>...</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	1	0	0	71.4	2	7.278	-0.381	62.375	3	14.555	-0.763	53.35	4	21.833	-1.144	44.325	5	29.11	-1.526	35.3	6	36.388	-1.907	26.275	7	51.48	-2.698	21.02	8	66.571	-3.489	15.765	9	81.663	-4.28	...
	1	2	3																																						
1	0	0	71.4																																						
2	7.278	-0.381	62.375																																						
3	14.555	-0.763	53.35																																						
4	21.833	-1.144	44.325																																						
5	29.11	-1.526	35.3																																						
6	36.388	-1.907	26.275																																						
7	51.48	-2.698	21.02																																						
8	66.571	-3.489	15.765																																						
9	81.663	-4.28	...																																						

Vật liệu kết cấu: theo số liệu từ bảng 4.3					
loai_vl :=					
	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					
<p><i>Cột 1: Mô đun đàn hồi của vật liệu, <math>kN/m^2</math>; Cột 2: Đường kính của từng đoạn dây neo, m; Cột 3: Hệ số <math>C_M</math>; Cột 4: Hệ số <math>C_D</math>; Cột 5: Khối lượng riêng vật liệu dây neo, <math>kg/m^3</math>.</i></p>					
Lực kéo đứt $T_d$ (kN)	7100				
Bảng liên kết các phần tử	lk_pt :=				
	1	2			
1	1	2			
2	1	22			
3	22	23			
4	1	42			
5	42	43			
6	1	62			
7	62	63			
8	1	...			
Điều kiện biên (đkb):	data_dkb :=				
-Tại các nút điểm neo có 3 chuyển vị bị chặn theo 3 phương;	1	2	3	4	
-Tại tâm Turret có 1 chuyển vị bị chặn theo z;	1	0	0	1	
-Tại những nút nằm trên mặt đất có 1 chuyển vị bị chặn theo phương z.	21	1	1	1	
<i>Cột 1: Nút. Cột 2: đkb theo x. Cột 3: đkb theo y. Cột 4: đkb theo z.</i>	41	1	1	1	
	61	1	1	1	
	81	1	1	1	
	101	1	1	1	
	121	1	1	1	
	141	1	1	1	
	161	1	1	1	
	181	1	1	1	
	11	0	0	1	
	31	0	0	1	
	51	0	0	1	
	71	0	0	1	
	91	0	0	1	
	111	0	0	...	
Bước thời gian (s)	$\Delta t = 0,05$				
Thời gian (s)	$t = 1200$				

Tải trọng môi trường tác dụng lên FSO (số liệu theo OCARFLEX)	
Giá trị tải trọng tĩnh $F_T$ trạng thái đầy tải của FSO Rạng Đông (kN)	$\text{tai\_trong\_nut} := \begin{array}{ c c c } \hline & 1 & 2 \\ \hline 1 & 1 & -4.281 \cdot 10^3 \\ \hline 2 & 3 & \dots \\ \hline \end{array}$
Giá trị tải trọng động $F_T(t)$ trạng thái đầy tải của FSO Rạng Đông (kN)	

### 4.3.2. Các thông số và kết quả tính toán

**Bảng 4.8. Một số kết quả tính toán trung gian**

Tọa độ nút mới (m) <i>(Trích xuất giá trị của nút 1 đến 6)</i>	$\text{toa\_do\_nut1} = \begin{array}{ c c c c } \hline & 1 & 2 & 3 \\ \hline 1 & -1.818 \cdot 10^{-14} & -1.589 \cdot 10^{-14} & 71.4 \\ \hline 2 & 6.898 & -0.362 & 62.081 \\ \hline 3 & 14.203 & -0.744 & 53.078 \\ \hline 4 & 21.947 & -1.15 & 44.451 \\ \hline 5 & 30.162 & -1.581 & 36.272 \\ \hline 6 & 38.876 & -2.037 & \dots \\ \hline \end{array}$
Cosin chỉ phương. <i>(Trích xuất giá trị của phần tử 1,21)</i>	$\text{vt\_cscp\_TT0}_1 = \begin{pmatrix} 0.627 & 0.777 & -0.052 \\ -0.033 & -0.041 & -0.999 \\ -0.778 & 0.628 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{vt\_cscp\_TT0}_{21} = \begin{pmatrix} 0.628 & 0.778 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -0.778 & 0.628 & 0 \end{pmatrix}$
Véc tơ chiều dài các phần tử (m) <i>(Trích xuất giá trị của phần tử 1 đến 15)</i>	$\text{vt\_cd\_pt0} = \begin{array}{ c c } \hline & 1 \\ \hline 1 & 11.6 \\ \hline 2 & 11.6 \\ \hline 3 & 11.6 \\ \hline 4 & 11.6 \\ \hline 5 & \dots \\ \hline \end{array} \quad \text{vt\_cd\_pt0} = \begin{array}{ c c } \hline & 1 \\ \hline 6 & 16 \\ \hline 7 & 16 \\ \hline 8 & 16 \\ \hline 9 & 16 \\ \hline 10 & \dots \\ \hline \end{array} \quad \text{vt\_cd\_pt0} = \begin{array}{ c c } \hline & 1 \\ \hline 11 & 38.8 \\ \hline 12 & 38.8 \\ \hline 13 & 38.8 \\ \hline 14 & 38.8 \\ \hline 15 & \dots \\ \hline \end{array}$
Ma trận chuyển hệ trục tọa độ. <i>(Trích xuất giá trị của phần tử 21).</i>	$\text{vt\_Te0}_{21} = \begin{pmatrix} 0.628 & 0.778 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.778 & 0.628 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.628 & 0.778 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -0.778 & 0.628 & 0 \end{pmatrix}$

Ma trận độ cứng của kết cấu (kN/m)	$dc\_he (vt\_T0, toa\_do\_nut0, vt\_cd\_pt0) =$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td><math>1.227 \cdot 10^7</math></td> <td><math>6.985 \cdot 10^{-10}</math></td> </tr> <tr> <th>2</th> <td><math>2.095 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>1.227 \cdot 10^7</math></td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0</td> <td><math>-2.328 \cdot 10^{-9}</math></td> </tr> <tr> <th>4</th> <td><math>-2.719 \cdot 10^6</math></td> <td><math>1.424 \cdot 10^5</math></td> </tr> <tr> <th>5</th> <td><math>1.424 \cdot 10^5</math></td> <td><math>-8.327 \cdot 10^3</math></td> </tr> <tr> <th>6</th> <td><math>3.37 \cdot 10^6</math></td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	1	$1.227 \cdot 10^7$	$6.985 \cdot 10^{-10}$	2	$2.095 \cdot 10^{-9}$	$1.227 \cdot 10^7$	3	0	$-2.328 \cdot 10^{-9}$	4	$-2.719 \cdot 10^6$	$1.424 \cdot 10^5$	5	$1.424 \cdot 10^5$	$-8.327 \cdot 10^3$	6	$3.37 \cdot 10^6$	...																			
	1	2																																								
1	$1.227 \cdot 10^7$	$6.985 \cdot 10^{-10}$																																								
2	$2.095 \cdot 10^{-9}$	$1.227 \cdot 10^7$																																								
3	0	$-2.328 \cdot 10^{-9}$																																								
4	$-2.719 \cdot 10^6$	$1.424 \cdot 10^5$																																								
5	$1.424 \cdot 10^5$	$-8.327 \cdot 10^3$																																								
6	$3.37 \cdot 10^6$	...																																								
Ma trận khối lượng của kết cấu (kg)	$kl\_he (toa\_do\_nut0, vt\_cd\_pt0) =$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>2.886</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0</td> <td>2.886</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	1	2.886	0	0	2	0	2.886	0	3	0	0	...																								
	1	2	3																																							
1	2.886	0	0																																							
2	0	2.886	0																																							
3	0	0	...																																							
Ma trận cản nhớt [C] là tổ hợp tuyến tính của [M] và [K] (kN.s/m)	$can\_he =$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td><math>1.777 \cdot 10^7</math></td> <td><math>1.011 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>2.36 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>-3.936 \cdot 10^6</math></td> </tr> <tr> <th>2</th> <td><math>3.034 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>1.777 \cdot 10^7</math></td> <td><math>-3.371 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>2.062 \cdot 10^5</math></td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0</td> <td><math>-3.371 \cdot 10^{-9}</math></td> <td><math>5.447 \cdot 10^7</math></td> <td><math>4.879 \cdot 10^6</math></td> </tr> <tr> <th>4</th> <td><math>-3.936 \cdot 10^6</math></td> <td><math>2.062 \cdot 10^5</math></td> <td><math>4.879 \cdot 10^6</math></td> <td><math>7.872 \cdot 10^6</math></td> </tr> <tr> <th>5</th> <td><math>2.062 \cdot 10^5</math></td> <td><math>-1.205 \cdot 10^4</math></td> <td><math>-2.557 \cdot 10^5</math></td> <td><math>-4.124 \cdot 10^5</math></td> </tr> <tr> <th>6</th> <td><math>4.879 \cdot 10^6</math></td> <td><math>-2.557 \cdot 10^5</math></td> <td><math>-6.052 \cdot 10^6</math></td> <td><math>-9.759 \cdot 10^6</math></td> </tr> <tr> <th>7</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	1	$1.777 \cdot 10^7$	$1.011 \cdot 10^{-9}$	$2.36 \cdot 10^{-9}$	$-3.936 \cdot 10^6$	2	$3.034 \cdot 10^{-9}$	$1.777 \cdot 10^7$	$-3.371 \cdot 10^{-9}$	$2.062 \cdot 10^5$	3	0	$-3.371 \cdot 10^{-9}$	$5.447 \cdot 10^7$	$4.879 \cdot 10^6$	4	$-3.936 \cdot 10^6$	$2.062 \cdot 10^5$	$4.879 \cdot 10^6$	$7.872 \cdot 10^6$	5	$2.062 \cdot 10^5$	$-1.205 \cdot 10^4$	$-2.557 \cdot 10^5$	$-4.124 \cdot 10^5$	6	$4.879 \cdot 10^6$	$-2.557 \cdot 10^5$	$-6.052 \cdot 10^6$	$-9.759 \cdot 10^6$	7	0	0	0	...
	1	2	3	4																																						
1	$1.777 \cdot 10^7$	$1.011 \cdot 10^{-9}$	$2.36 \cdot 10^{-9}$	$-3.936 \cdot 10^6$																																						
2	$3.034 \cdot 10^{-9}$	$1.777 \cdot 10^7$	$-3.371 \cdot 10^{-9}$	$2.062 \cdot 10^5$																																						
3	0	$-3.371 \cdot 10^{-9}$	$5.447 \cdot 10^7$	$4.879 \cdot 10^6$																																						
4	$-3.936 \cdot 10^6$	$2.062 \cdot 10^5$	$4.879 \cdot 10^6$	$7.872 \cdot 10^6$																																						
5	$2.062 \cdot 10^5$	$-1.205 \cdot 10^4$	$-2.557 \cdot 10^5$	$-4.124 \cdot 10^5$																																						
6	$4.879 \cdot 10^6$	$-2.557 \cdot 10^5$	$-6.052 \cdot 10^6$	$-9.759 \cdot 10^6$																																						
7	0	0	0	...																																						
Tải trọng nút phần tử do sóng (kN) (Trích xuất giá trị của phần tử 21, 22 tại thời điểm 100 s)	$tt\_nut\_pt21 =$ $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$tt\_nut\_pt22 =$ $\begin{pmatrix} -6.439 \times 10^{-4} \\ 0 \\ -1.726 \times 10^{-3} \\ -5.925 \times 10^{-3} \\ 0 \\ -0.02 \end{pmatrix}$																																								
Tải trọng nút phần tử do dòng chảy (kN). (Trích xuất giá trị của phần tử 21, 22 tại thời điểm 100 s)	$tt\_nut\_pt21 =$ $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$tt\_nut\_pt22 =$ $\begin{pmatrix} -0.014 \\ 0 \\ -0.011 \\ -0.179 \\ 0 \\ -0.136 \end{pmatrix}$																																								
Véc tơ tải trọng nút phụ thuộc thời gian (kN) (Trích xuất giá trị nút 1 đến 7 tại thời điểm 100 s)	$vt\_luc\_he (100, toa\_do\_nut0, 1, 1, 1, 1, 1, 1) =$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td><math>-9.824 \cdot 10^3</math></td> </tr> <tr> <th>2</th> <td><math>1.203 \cdot 10^{-12}</math></td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>-75.844</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>-0.065</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td><math>-2.052 \cdot 10^{-3}</math></td> </tr> <tr> <th>6</th> <td>-16.904</td> </tr> <tr> <th>7</th> <td>-1.706</td> </tr> <tr> <th>8</th> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>		1	1	$-9.824 \cdot 10^3$	2	$1.203 \cdot 10^{-12}$	3	-75.844	4	-0.065	5	$-2.052 \cdot 10^{-3}$	6	-16.904	7	-1.706	8	...																						
	1																																									
1	$-9.824 \cdot 10^3$																																									
2	$1.203 \cdot 10^{-12}$																																									
3	-75.844																																									
4	-0.065																																									
5	$-2.052 \cdot 10^{-3}$																																									
6	-16.904																																									
7	-1.706																																									
8	...																																									

**Bảng 4.9. Kết quả tính lực học lực căng và chuyển vị trong 9 dây neo**

$k_{q_1} =$		1	$k_{q_1} =$		1	$k_{q_1} =$		1
	1	$1.828 \cdot 10^3$		21	$1.918 \cdot 10^3$		41	$1.828 \cdot 10^3$
	2	$1.818 \cdot 10^3$		22	$1.908 \cdot 10^3$		42	$1.818 \cdot 10^3$
	3	$1.809 \cdot 10^3$		23	$1.898 \cdot 10^3$		43	$1.809 \cdot 10^3$
	4	$1.799 \cdot 10^3$		24	$1.889 \cdot 10^3$		44	$1.799 \cdot 10^3$
	5	$1.79 \cdot 10^3$		25	$1.879 \cdot 10^3$		45	$1.79 \cdot 10^3$
	6	$1.779 \cdot 10^3$		26	$1.868 \cdot 10^3$		46	$1.779 \cdot 10^3$
	7	$1.766 \cdot 10^3$		27	$1.856 \cdot 10^3$		47	$1.766 \cdot 10^3$
	8	$1.754 \cdot 10^3$		28	$1.843 \cdot 10^3$		48	$1.754 \cdot 10^3$
	9	$1.742 \cdot 10^3$		29	$1.831 \cdot 10^3$		49	$1.742 \cdot 10^3$
	10	$1.73 \cdot 10^3$		30	$1.819 \cdot 10^3$		50	$1.73 \cdot 10^3$
	11	$1.519 \cdot 10^3$		31	$1.596 \cdot 10^3$		51	$1.519 \cdot 10^3$
	12	$1.519 \cdot 10^3$		32	$1.596 \cdot 10^3$		52	$1.519 \cdot 10^3$
	13	$1.519 \cdot 10^3$		33	$1.596 \cdot 10^3$		53	$1.519 \cdot 10^3$
	14	$1.519 \cdot 10^3$		34	$1.596 \cdot 10^3$		54	$1.519 \cdot 10^3$
	15	$1.519 \cdot 10^3$		35	$1.596 \cdot 10^3$		55	$1.519 \cdot 10^3$
	16	$1.519 \cdot 10^3$		36	$1.596 \cdot 10^3$		56	$1.519 \cdot 10^3$
	17	$1.519 \cdot 10^3$		37	$1.596 \cdot 10^3$		57	$1.519 \cdot 10^3$
	18	$1.519 \cdot 10^3$		38	$1.596 \cdot 10^3$		58	$1.519 \cdot 10^3$
	19	$1.519 \cdot 10^3$		39	$1.596 \cdot 10^3$		59	$1.519 \cdot 10^3$
	20	$1.519 \cdot 10^3$		40	$1.596 \cdot 10^3$		60	$1.519 \cdot 10^3$
21	...	41	...	61	...			
$k_{q_1} =$		1	$k_{q_1} =$		1	$k_{q_1} =$		1
	61	222.161		81	220.019		101	218.041
	62	207.506		82	205.305		102	203.271
	63	193.357		83	191.095		103	189.003
	64	179.835		84	177.509		104	175.357
	65	167.091		85	164.703		105	162.49
	66	153.213		86	150.757		106	148.48
	67	139.383		87	136.875		107	134.546
	68	128.728		88	126.219		108	123.889
	69	122.08		89	119.655		109	117.404
	70	120.107		90	117.867		110	115.795
	71	120.083		91	117.816		111	115.707
	72	120.083		92	117.816		112	115.707
	73	120.083		93	117.816		113	115.707
	74	120.083		94	117.816		114	115.707
	75	120.083		95	117.816		115	115.707
	76	120.083		96	117.816		116	115.707
	77	120.083		97	117.816		117	115.707
	78	120.083		98	117.816		118	115.707
	79	120.083		99	117.816		119	115.707
	80	120.083		100	117.816		120	115.707
81	...	101	...	121	...			



$kq_1 =$		1	$kq_1 =$		1	$kq_1 =$		1
	121	218.041		141	220.019		161	222.161
	122	203.271		142	205.305		162	207.506
	123	189.003		143	191.095		163	193.357
	124	175.357		144	177.509		164	179.835
	125	162.49		145	164.703		165	167.091
	126	148.48		146	150.757		166	153.213
	127	134.546		147	136.875		167	139.383
	128	123.889		148	126.219		168	128.728
	129	117.404		149	119.655		169	122.08
	130	115.795		150	117.867		170	120.107
	131	115.707		151	117.816		171	120.083
	132	115.707		152	117.816		172	120.083
	133	115.707		153	117.816		173	120.083
	134	115.707		154	117.816		174	120.083
	135	115.707		155	117.816		175	120.083
	136	115.707		156	117.816		176	120.083
	137	115.707		157	117.816		177	120.083
	138	115.707		158	117.816		178	120.083
	139	115.707		159	117.816		179	120.083
140	115.707	160	117.816	180	...			
	141	...		161	...		180	...

Lực căng max (kN)

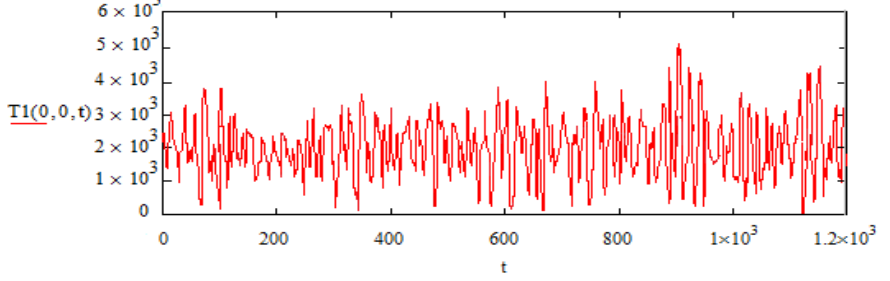
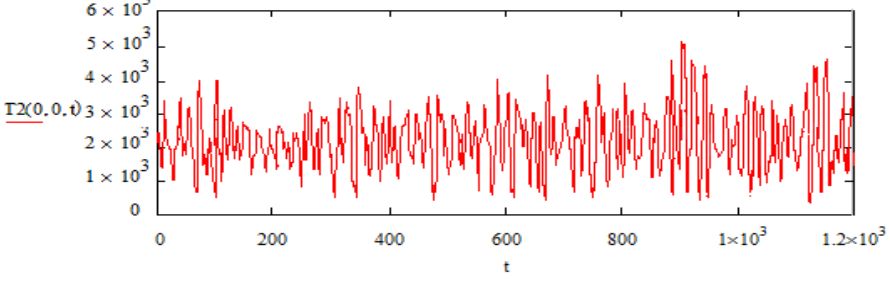
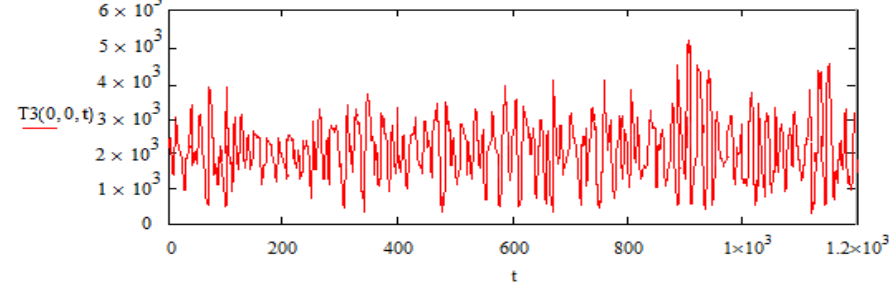
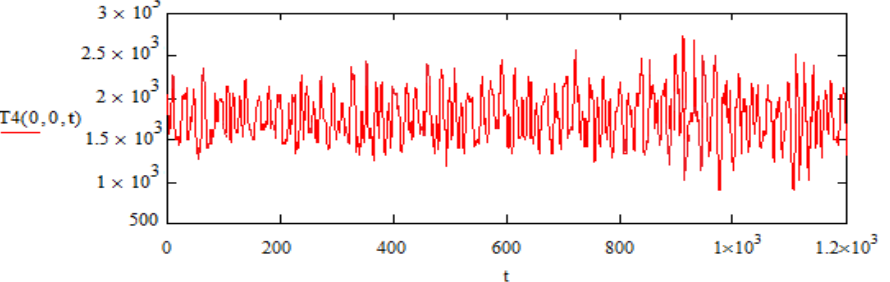
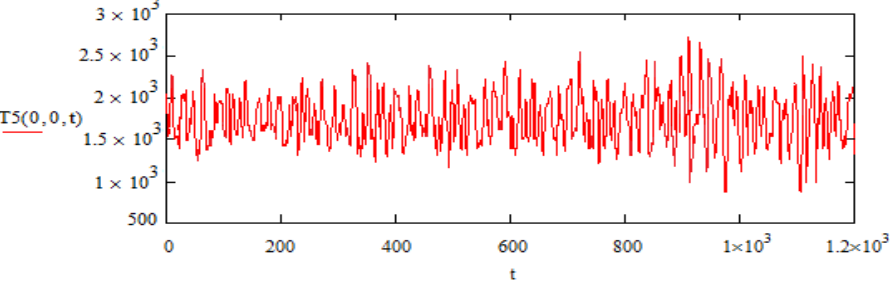
$$T_{\max} = 1.918 \times 10^3$$

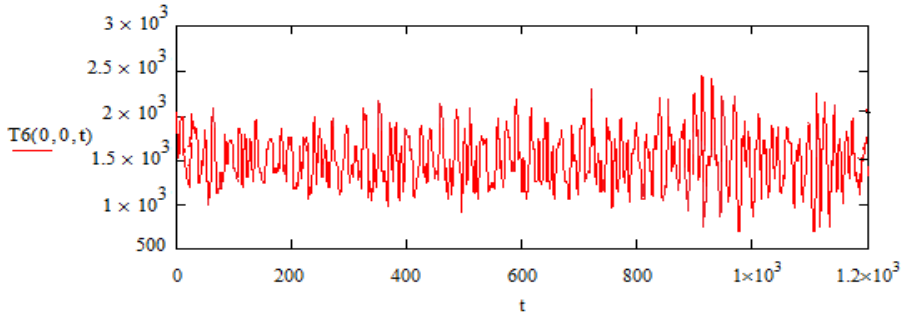
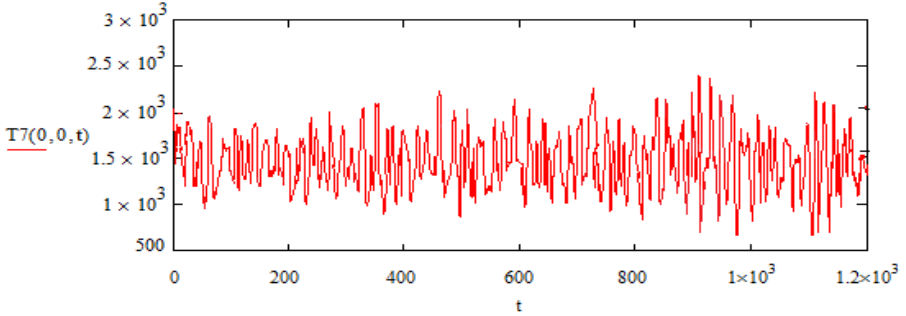
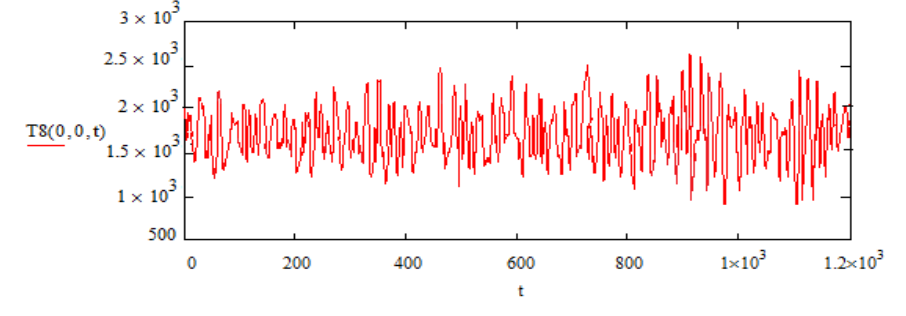
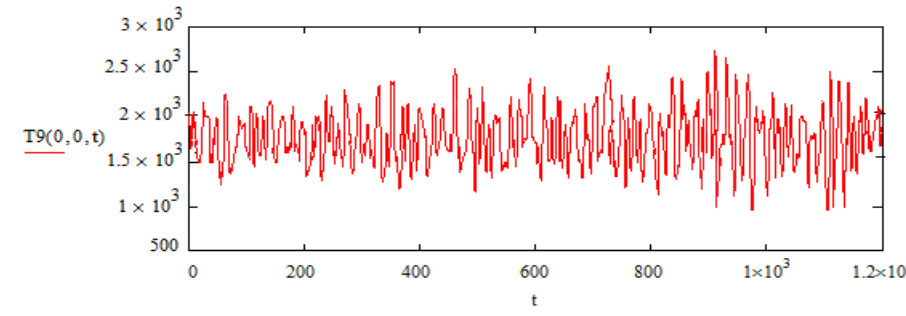
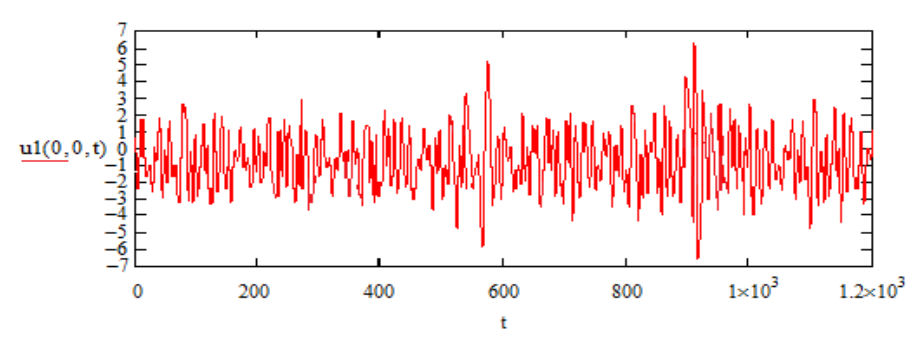
Chuyển vị nút dây neo mô hình không gian chịu tải trọng tĩnh

$kq_2 =$		1	$kq_2 =$		1	$kq_2 =$		1
	1	-6.071		22	-0.474		42	-0.033
	2	$1.174 \cdot 10^{-13}$		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	$-8.299 \cdot 10^{-3}$
	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	$1.163 \cdot 10^{-13}$
	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	$1.152 \cdot 10^{-13}$
	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	$1.142 \cdot 10^{-13}$
	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	$1.131 \cdot 10^{-13}$
	20	10.603		41	-0.223		61	10.835
	21	3.412		42	...		62	...
	22	...		42	...		62	...

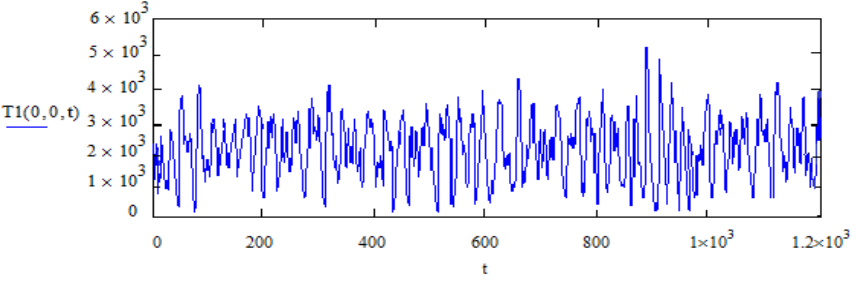
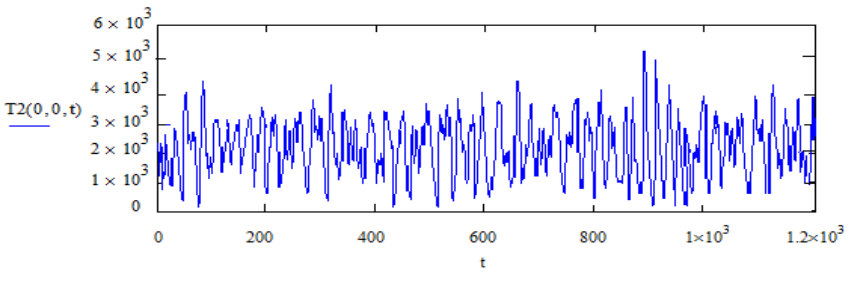
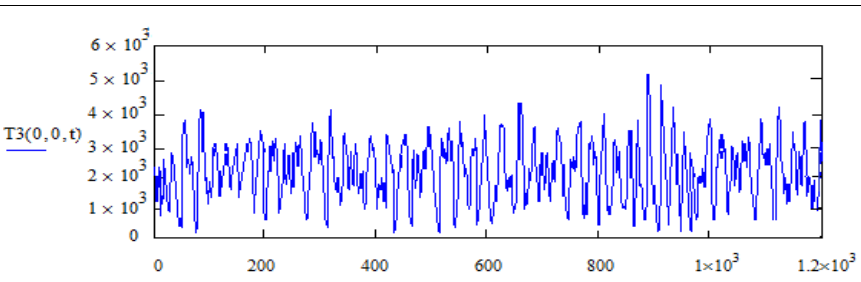
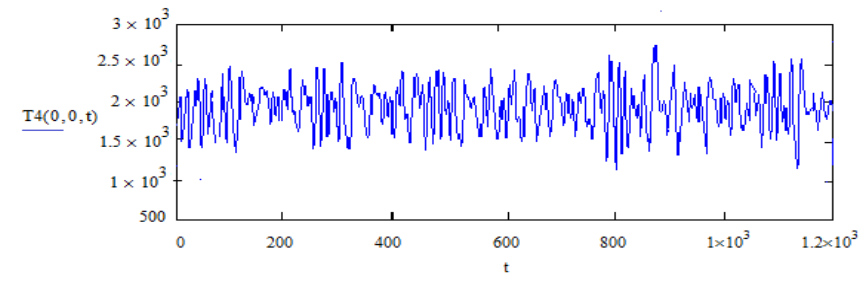
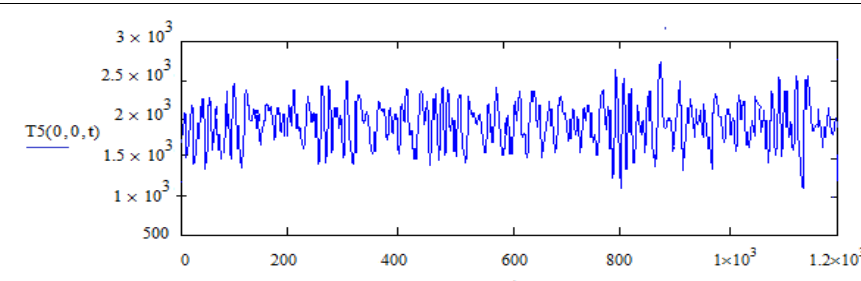
$k_{q_2} =$		1	$k_{q_2} =$		1	$k_{q_2} =$		1
	62	6.261		82	$9.575 \cdot 10^{-14}$		102	5.227
	63	$1.12 \cdot 10^{-13}$		83	-0.033		103	1.137
	64	13.736		84	$9.147 \cdot 10^{-14}$		104	0.369
	65	4.818		85	-0.032		105	7.959
	66	$1.105 \cdot 10^{-13}$		86	$8.718 \cdot 10^{-14}$		106	3.642
	67	10.674		87	-0.031		107	0.497
	68	3.467		88	$8.289 \cdot 10^{-14}$		108	10.772
	69	$1.09 \cdot 10^{-13}$		89	-0.025		109	6.2
	70	7.767		90	$6.631 \cdot 10^{-14}$		110	0.628
	71	2.208		91	-0.019		111	13.667
	72	$1.074 \cdot 10^{-13}$		92	$4.973 \cdot 10^{-14}$		112	4.757
	73	5.017		93	-0.013		113	0.549
	74	1.041		94	$3.316 \cdot 10^{-14}$		114	10.603
	75	$1.059 \cdot 10^{-13}$		95	$-6.266 \cdot 10^{-3}$		115	3.412
	76	2.427		96	$1.658 \cdot 10^{-14}$		116	0.474
	77	-0.036		97	-3.72		117	7.701
	78	$1.043 \cdot 10^{-13}$		98	0.12		118	2.163
	79	-0.035		99	2.575		119	0.405
	80	$1 \cdot 10^{-13}$		100	-1.318		120	4.964
	81	-0.034		101	0.243		121	1.01
82	...	102	...	122	...			
$k_{q_2} =$		1	$k_{q_2} =$		1	$k_{q_2} =$		1
	122	0.34		142	$-8.299 \cdot 10^{-3}$		162	-3.937
	123	2.396		143	0.045		163	-3.48
	124	-0.049		144	-5.58		164	-7.438
	125	0.28		145	-0.892		165	-3.784
	126	-0.047		146	-0.734		166	-3.612
	127	0.269		147	-5.289		167	-7.947
	128	-0.046		148	-1.389		168	-3.996
	129	0.257		149	-1.17		169	-3.017
	130	-0.044		150	-5.218		170	-5.574
	131	0.246		151	-1.446		171	-4.324
	132	-0.043		152	-1.236		172	-2.192
	133	0.234		153	-5.39		173	-4.146
	134	-0.041		154	-1.02		174	-2.102
	135	0.223		155	-0.846		175	-3.969
	136	-0.033		156	-5.828		176	-2.012
	137	0.178		157	-0.066		177	-3.791
	138	-0.025		158	0.112		178	-1.922
	139	0.134		159	-4.603		179	-3.613
	140	-0.017		160	-2.329		180	-1.832
	141	0.089		161	-4.569		181	-3.435
142	...	162	...	182	...			
Chuyển vị tại tâm Turret (m)				$u_l = -6.071$				

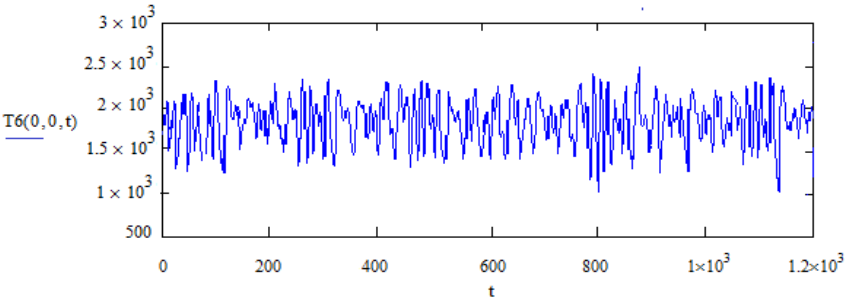
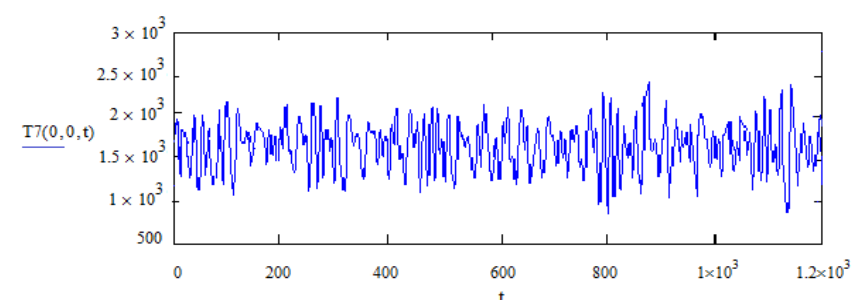
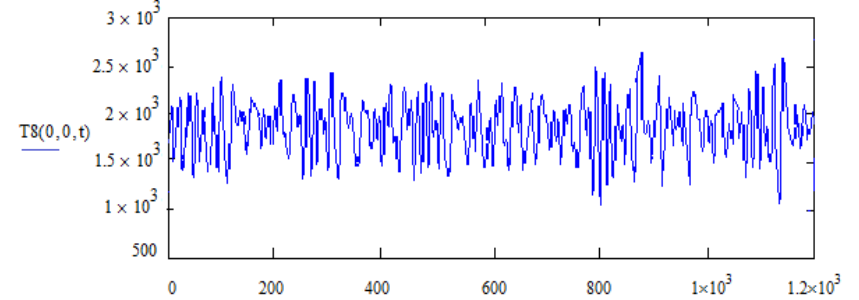
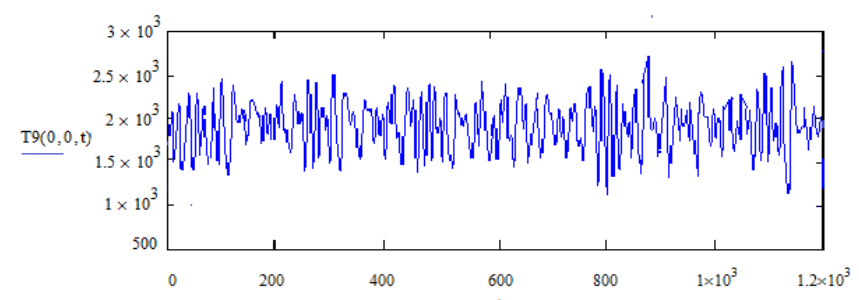
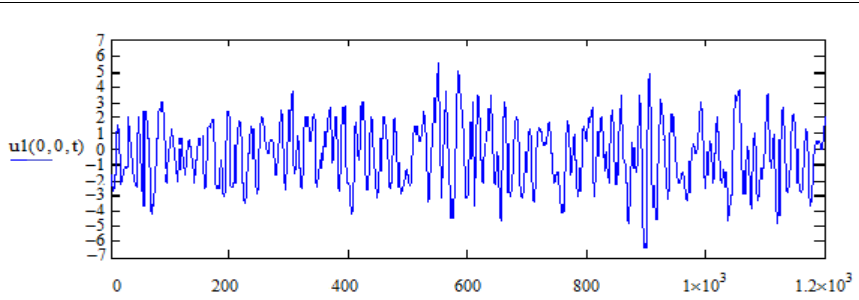
**Bảng 4.10. Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo (kN) và chuyển vị tâm Turret (m) khi dùng phễu P-M**

<p>Dây neo 1 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 2 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 3 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 4 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 5 (Cụm 2)</p>	

<p>Dây neo 6 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 7 (Cụm 3)</p>	
<p>Dây neo 8 (Cụm 3)</p>	
<p>Dây neo 9 (Cụm 3)</p>	
<p>Chuyển vị tại tâm Turret (m)</p>	

**Bảng 4.11. Kết quả động lực học lực căng trong 9 dây neo (kN) và chuyển vị tâm Turret (m) khi dùng phôi Jonswap**

<p>Dây neo 1 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 2 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 3 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 4 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 5 (Cụm 2)</p>	

<p>Dây neo 6 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 7 (Cụm 3)</p>	
<p>Dây neo 8 (Cụm 3)</p>	
<p>Dây neo 9 (Cụm 3)</p>	
<p>Chuyển vị tại tâm Turret (m)</p>	

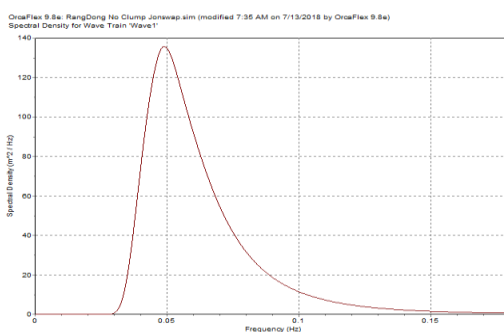
**Bảng 4.12. Giá trị lực căng max trong 9 dây neo và chuyển vị max tại tâm Turret tính theo MOORING\_2017 theo hai dạng phổ sóng**

Giá trị lực căng max (kN)	Dây neo	Sử dụng phổ P-M	Sử dụng phổ Jonswap
	Dây neo 1 (cụm1)	5101	5112
	Dây neo 2 (cụm1)	5125	5134
	Dây neo 3 (cụm1)	5110	5121
	Dây neo 4 (cụm2)	2743	2754
	Dây neo 5 (cụm2)	2702	2718
	Dây neo 6 (cụm2)	2480	2499
	Dây neo 7 (cụm3)	2462	2480
	Dây neo 8 (cụm3)	2658	2672
	Dây neo 9 (cụm3)	2738	2748
Giá trị chuyển vị lớn nhất tại tâm Turret (m)		6,624	6,689

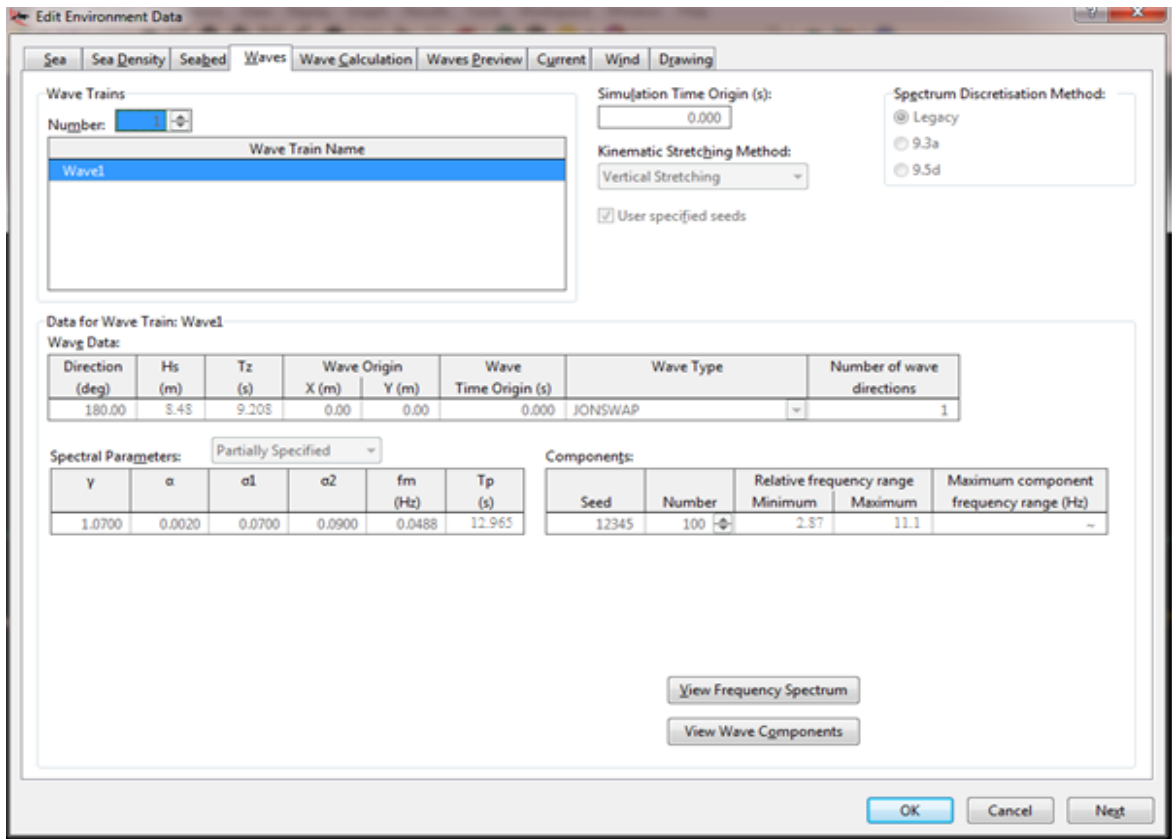
#### 4.4. Kết quả tính toán trên phần mềm OCARFLEX

##### 4.4.1. Số liệu đầu vào

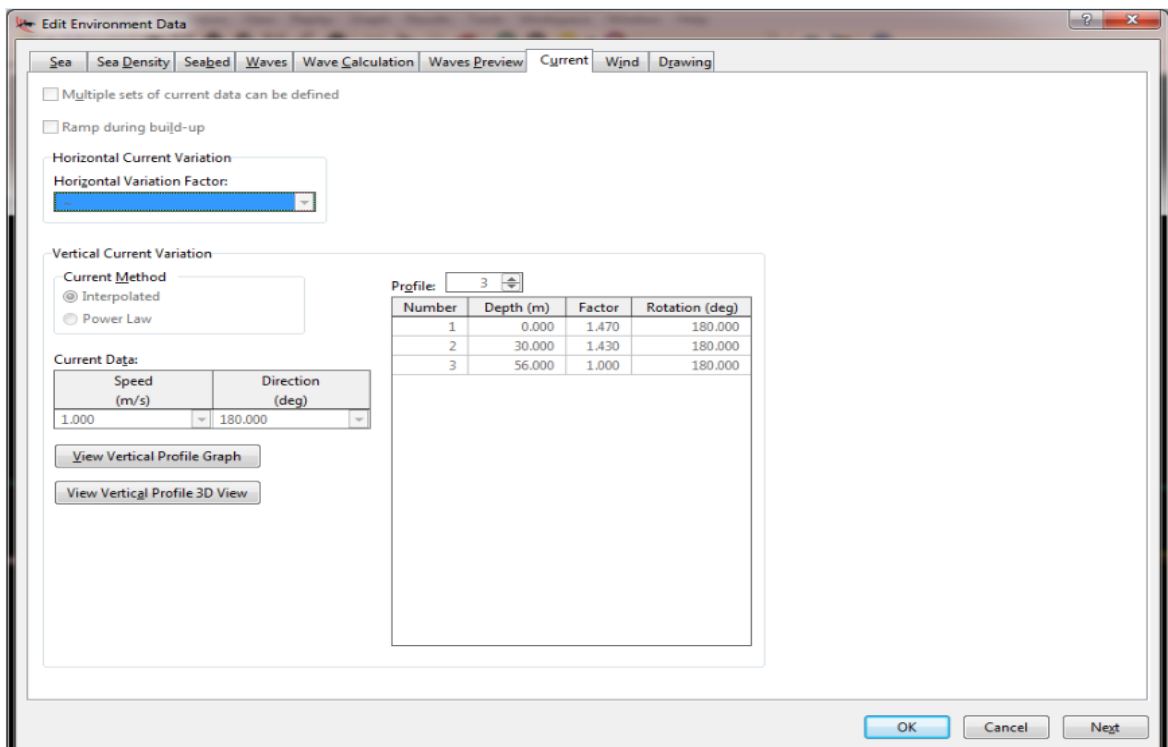
Thông số môi trường và số liệu kết cấu của FSO Rạng Đông dùng trong tính toán trên phần mềm OCARFLEX như sau:



**Hình 4.7. Dạng phổ Jonswap trên phần mềm OCARFLEX**

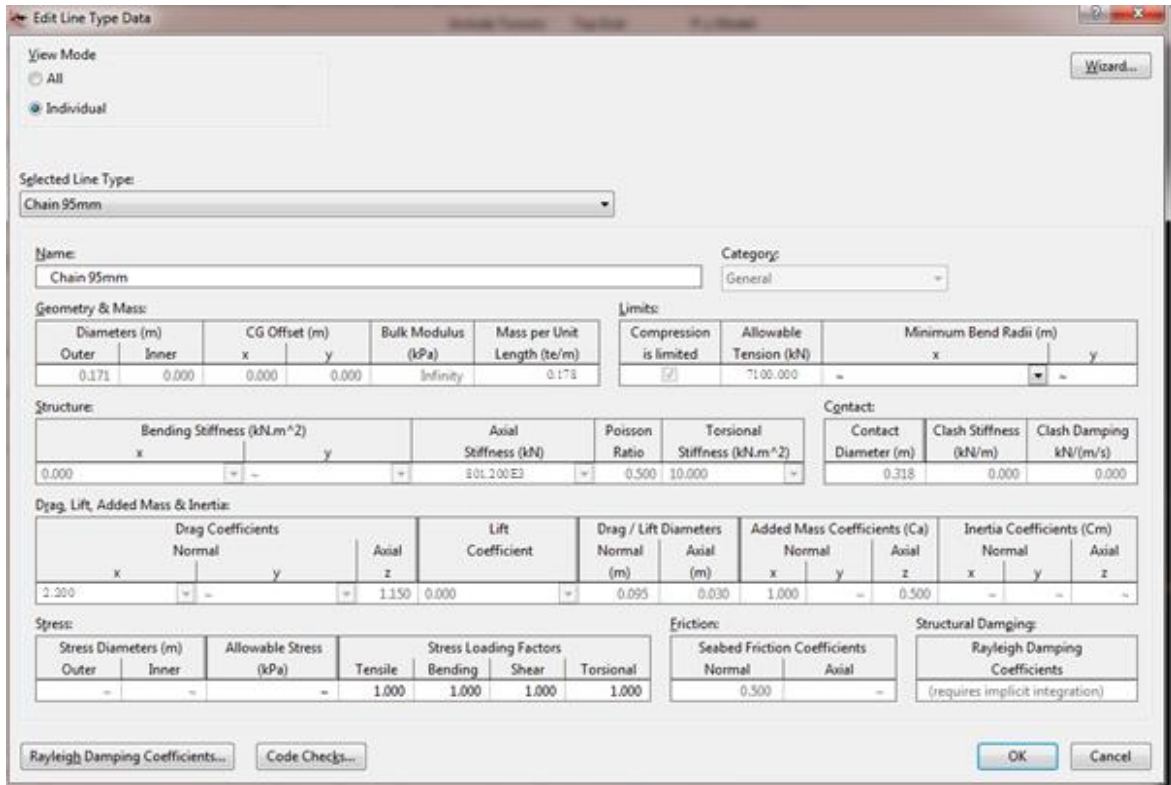


Hình 4.8. Dữ liệu sóng vùng biển mở Rạng Đông

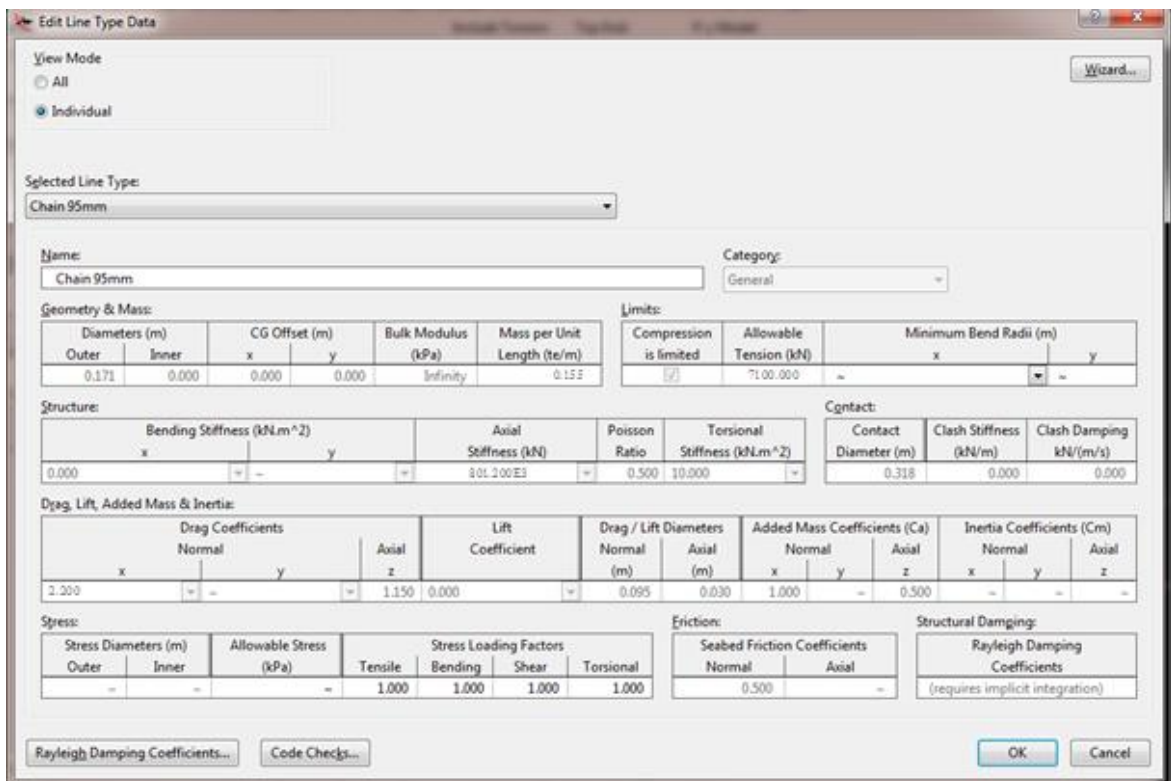


Hình 4.9. Dữ liệu dòng chảy vùng biển mở Rạng Đông





Hình 4.10. Thông số đoạn xích nối với giá chặn xích



Hình 4.11. Thông số đoạn xích trung gian

**Edit Line Type Data**

View Mode  
 All  
 Individual

Wizard...

Selected Line Type:  
Chain 89mm

Name: Chain 89mm Category: General

Geometry & Mass:

Diameters (m)		CG Offset (m)		Bulk Modulus (kPa)	Mass per Unit Length (te/m)
Outer	Inner	x	y		
0.168	0.000	0.000	0.000	Infinity	0.157

Limits:

Compression is limited	Allowable Tension (kN)	Minimum Bend Radii (m)	
		x	y
<input checked="" type="checkbox"/>	6630.000	-	-

Structure:

Bending Stiffness (kN.m <sup>2</sup> )		Axial Stiffness (kN)	Poisson Ratio	Torsional Stiffness (kN.m <sup>2</sup> )
x	y			
0.000	-	721.930E3	0.500	80.000

Contact:

Contact Diameter (m)	Clash Stiffness (kN/m)	Clash Damping kN/(m/s)
0.320	0.000	0.000

Drag, Lift, Added Mass & Inertia:

Drag Coefficients			Lift Coefficient	Drag / Lift Diameters (m)		Added Mass Coefficients (Ca)		Inertia Coefficients (Cm)			
Normal		Axial		Normal	Axial	Normal	Axial	Normal	Axial	Axial	
x	y	z		(m)	(m)	x	y	z	x	y	z
2.200	-	1.400	0.000	0.089	0.028	1.000	-	0.500	-	-	-

Stress:

Stress Diameters (m)		Allowable Stress (kPa)	Stress Loading Factors			
Outer	Inner		Tensile	Bending	Shear	Torsional
-	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000

Friction:

Seabed Friction Coefficients	
Normal	Axial
0.500	-

Structural Damping:

Rayleigh Damping Coefficients
(requires implicit integration)

Rayleigh Damping Coefficients... Code Checks... OK Cancel

Hình 4.12. Thông số đoạn xích trên mặt đất

**Edit Line Type Data**

View Mode  
 All  
 Individual

Wizard...

Selected Line Type:  
Rope 95mm

Name: Rope 95mm Category: General

Geometry & Mass:

Diameters (m)		CG Offset (m)		Bulk Modulus (kPa)	Mass per Unit Length (te/m)
Outer	Inner	x	y		
0.076	0.000	0.000	0.000	Infinity	0.0304

Limits:

Compression is limited	Allowable Tension (kN)	Minimum Bend Radii (m)	
		x	y
<input type="checkbox"/>	6700.00	-	-

Structure:

Bending Stiffness (kN.m <sup>2</sup> )		Axial Stiffness (kN)	Poisson Ratio	Torsional Stiffness (kN.m <sup>2</sup> )
x	y			
0.000	-	332.090E3	0.500	80.000

Contact:

Contact Diameter (m)	Clash Stiffness (kN/m)	Clash Damping kN/(m/s)
-	0.000	0.000

Drag, Lift, Added Mass & Inertia:

Drag Coefficients			Lift Coefficient	Drag / Lift Diameters (m)		Added Mass Coefficients (Ca)		Inertia Coefficients (Cm)			
Normal		Axial		Normal	Axial	Normal	Axial	Normal	Axial	Axial	
x	y	z		(m)	(m)	x	y	z	x	y	z
0.7	-	0.0080	0.000	-	-	1.000	-	0.000	-	-	-

Stress:

Stress Diameters (m)		Allowable Stress (kPa)	Stress Loading Factors			
Outer	Inner		Tensile	Bending	Shear	Torsional
-	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000

Friction:

Seabed Friction Coefficients	
Normal	Axial
0.500	-

Structural Damping:

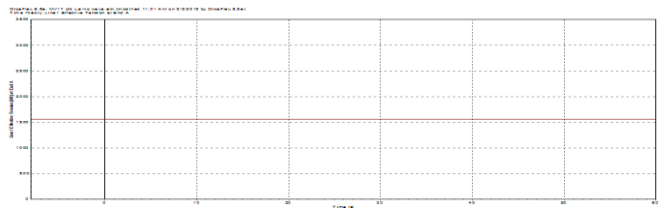
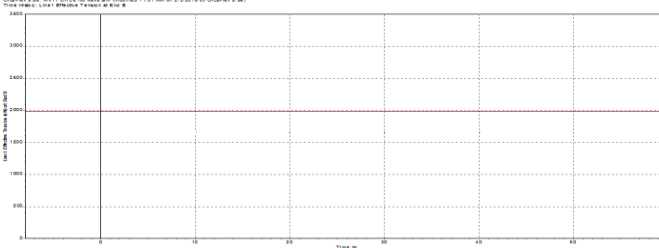
Rayleigh Damping Coefficients
(requires implicit integration)

Rayleigh Damping Coefficients... Code Checks... OK Cancel

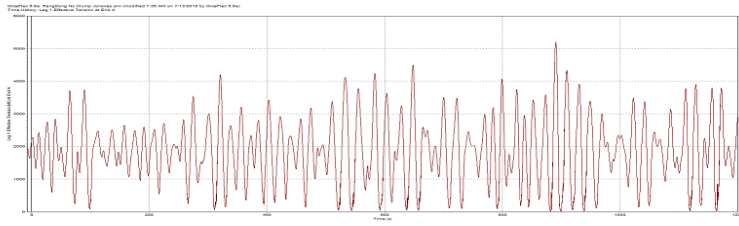
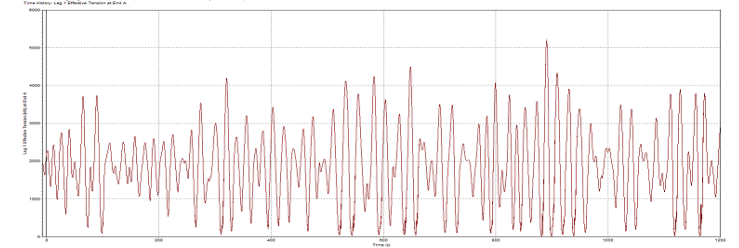
Hình 4.13. Thông số đoạn cáp neo

## 4.2. Kết quả tính toán trên phần mềm OCARFLEX (Bảng 4.13)

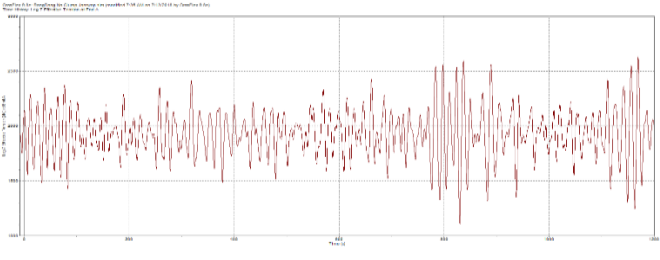
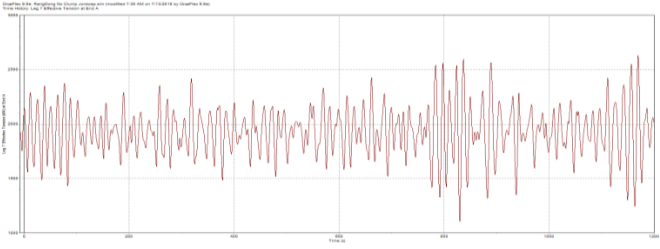
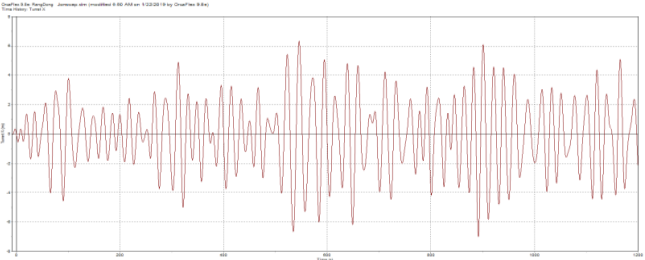
**Bảng 4.13. Kết quả tĩnh học lực căng max (kN) trong dây neo và chuyển vị tâm Turret (m) tính theo phần mềm OCARFLEX**

Hướng dòng chảy 180 <sup>0</sup>	
Vị trí chân neo (Anchor)	1678.64123535156 
Vị trí giá chặn xích neo (Fairlead)	1981.042603596 
Chuyển vị tại tâm Turret,m	6.09354

**Bảng 4.14. Kết quả động học lực căng (kN) trong 9 dây neo và chuyển vị tâm Turret (m) tính theo phần mềm OCARFLEX**

Dây neo 1 (Cụm 1)	
Dây neo 2 (Cụm 1)	

<p>Dây neo 3 (Cụm 1)</p>	
<p>Dây neo 4 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 5 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 6 (Cụm 2)</p>	
<p>Dây neo 7 (Cụm 3)</p>	

<p>Dây neo 8 (Cụm 3)</p>		
<p>Dây neo 9 (Cụm 3)</p>		
<p>Giá trị chuyển vị tại tâm Turret (m)</p>		
		
<p>Giá trị lực căng lớn nhất (kN)</p>	<p>Dây neo 1 (cụm1)</p>	<p>5225</p>
	<p>Dây neo 2 (cụm1)</p>	<p>5250</p>
	<p>Dây neo 3 (cụm1)</p>	<p>5226</p>
	<p>Dây neo 4 (cụm2)</p>	<p>2830</p>
	<p>Dây neo 5 (cụm2)</p>	<p>2795</p>
	<p>Dây neo 6 (cụm2)</p>	<p>2578</p>
	<p>Dây neo 7 (cụm3)</p>	<p>2560</p>
	<p>Dây neo 8 (cụm3)</p>	<p>2750</p>
	<p>Dây neo 9 (cụm3)</p>	<p>2825</p>
<p>Giá trị chuyển vị lớn nhất tại tâm Turret (m)</p>		<p>6,9755</p>

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

**Bảng 4.15.** So sánh kết quả tính toán tĩnh lực học hệ dây neo

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

**Bảng 4.16.** So sánh kết quả tính toán động lực học hệ dây neo

Dây neo	$T_{max}(kN)$			Sai số (%)	
	MOORING_2017		OCARFLEX	(4)	(5)
	(1)	(2)	(3)		
Dây neo 1 (cụm1)	5101	5112	5225	2,43	2,22
Dây neo 2 (cụm1)	5125	5134	5250	2,44	2,25
Dây neo 3 (cụm1)	5110	5121	5226	2,27	2,21
Dây neo 4 (cụm2)	2743	2754	2830	3,17	2,76
Dây neo 5 (cụm2)	2702	2718	2795	3,44	2,83
Dây neo 6 (cụm2)	2480	2499	2578	3,95	3,16
Dây neo 7 (cụm3)	2462	2480	2560	3,98	3,22
Dây neo 8 (cụm3)	2658	2672	2750	3,46	2,92
Dây neo 9 (cụm3)	2738	2748	2825	3,18	2,80
Giá trị chuyển vị lớn nhất tại tâm Turret (m)	6,624	6,689	6,9755	5,31	4,28

*Chú thích: (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) với (3);

(5) Sai số tương đối của (2) với (3).

### **Nhận xét kết quả:**

Kết quả chạy bằng phần mềm MOORING\_2017 so với kết quả của phần mềm OCARFLEX có sự sai khác không lớn (dưới 5%) vì các lý do:

- Kết quả phụ thuộc vào mỗi lần thực hiện chạy chương trình do phần mềm tự gieo một số ngẫu nhiên trong dải tần số xác định theo phổ sóng. Tuy nhiên kết quả lực và chuyển vị max thường dao động xung quanh một giá trị nhất định;

- Sử dụng phương pháp gần đúng để giải quyết bài toán, trong đó có việc chia số phần tử, bước thời gian, vì vậy kết quả tính phải có sai số, nhưng nằm trong giới hạn cho phép.

### **KẾT LUẬN CHƯƠNG**

Kết quả chương đã thực hiện:

- Dựa trên thuật toán tính toán hệ dây neo CTBN theo mô hình không gian ở chương 3, tác giả đã lập chương trình MOORING\_2017 và đưa ra kết quả giá trị lực căng trong mỗi dây neo khi dây neo chịu tải trọng trực tiếp từ sóng ngẫu nhiên, dòng chảy môi trường, tải trọng bản thân, tải trọng từ CTBN 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 của phần mềm thương mại có bản quyền OCARFLEX tính toán, 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 dễ 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 vũng có thêm vật treo;
- Hệ dây neo vũng 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 giải quyết được bài toán tính neo: lực bám neo, khối lượng neo. Sau đó dựa vào điều kiện địa lý, yếu tố nền đất lựa chọn loại neo phù hợp.

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.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TS. Phạm Đình Ba, Ts. Nguyễn Tài Trung (2005). *Động lực học công trình*. NXB Xây dựng Hà Nội.
2. PGS.TS.Lê Hồng Bang, Th.S. Nguyễn Thị Thu Quỳnh (2016). *Đặc điểm thiết kế công trình biển di động*. Nhà xuất bản Hàng hải.
3. Bùi Tiến Bằng (2008). *Đánh giá độ bền hệ thống neo một điểm kiểu CALM của bể chứa và rót dầu tại mỏ*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
4. Tạ Văn Dĩnh (2006). *Phương pháp tính*. Nhà xuất bản Giáo dục.
5. PGS.TS.Vũ Uyển Dĩnh (2002), *Môi trường biển tác động lên công trình*. NXB Xây dựng, Hà Nội.
6. Phạm Hiền Hậu (2011). *Ảnh hưởng thống kê của các thông số môi trường biển đến tổn thất mỏi của hệ thống neo giữ công trình biển nổi trong điều kiện mỏ Bạch hổ*. Hội nghị KH và Công nghệ Biển toàn quốc lần thứ V.
7. Phạm Hiền Hậu (2009). *Phân tích tựa động và động ngẫu nhiên của hệ thống dây neo trạm chứa và rót dầu nổi (FPSO) trong điều kiện mỏ Bạch Hổ dựa trên các phần mềm Hydrostar và Arian 7*. Tạp chí Dầu khí.
8. PGS.TS.Nguyễn Xuân Hùng (1999). *Động lực học công trình biển*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
9. TS. Nguyễn Quốc Hoà (2013). *Tính toán đường dây neo có kể đến vật cản*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường.
10. TS. Nguyễn Hoàng (2016). *Tính toán bền hệ thống dây neo công trình biển bán chìm. Áp dụng cho điều kiện biển Việt Nam*. Hội nghị quốc tế khoa học công nghệ Hàng hải 2016.
11. Lê Thị Lệ (2009). *Nghiên cứu phương pháp tính toán hệ dây neo ụ nổi trong các nhà máy đóng mới và sửa chữa tàu thủy*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

12. Vũ Thị Loan (2012). *Nghiên cứu tính động lực của công trình biển có neo (Kho chứa dầu) đặt tại vùng mỏ Bạch Hổ*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
13. TS. Đinh Khắc Minh (2009). *Nghiên cứu tải trọng môi trường tác động lên hệ FSO(FPSO) và hệ neo trong điều kiện môi trường biển Việt Nam*. Viện khoa học Công nghệ tàu thủy.
14. QCVN 48:2012/BGTVT - *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và giám sát kỹ thuật giàn di động trên biển*
15. QCVN 70:2014/BGTVT - *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và giám sát kỹ thuật kho chứa nổi*.
16. QCVN 72:2014/BGTVT - *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và chế tạo phao neo, phao tín hiệu*.
17. TCVN 6474-1:2017 đến TCVN 6474-9:2017 về kho chứa nổi – Phân cấp và giám sát kỹ thuật.
18. TCVN 5309:2016 đến TCVN 5319: 2016- *Quy phạm phân cấp và chế tạo công trình biển di động*
19. Trần Ích Thịnh – Ngô Như Khoa (2007). *Phương pháp phân tử hữu hạn trong kỹ thuật*. NXB Khoa học Kỹ thuật – Hà Nội.
20. PGS.TS. Phạm Tiến Tinh (2008). *Phương pháp phân tử hữu hạn*. Nhà xuất bản Hàng hải.
21. Nguyễn Hải Triều (2014). *Nghiên cứu tính toán hệ thống neo công trình sà lan nhà nghỉ tại vùng mỏ Đại Hùng*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
22. ThS. Nguyễn Ngọc Vinh, TS. Đinh Khắc Minh, KS. Nguyễn Tất Hoàn, ThS. Nguyễn Văn Điệp. *Lựa chọn giải pháp đóng mới và hoán cải các kho chứa dầu nổi cho các mỏ khai thác dầu khí trên thềm lục địa Việt nam* (2013). Tạp chí dầu khí số 3.

23. API 2SK *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units* (1987).
24. API 2SK *Recommended practice of Stationkeeping Systems for Floating structures* (2005).
25. Frigaard Peter Bak, Høgedal Michael, Christensen Morten. (1993). *Wave Generation Theory*. Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Aalborg University.
26. Bureau Veritas. *Classification of Mooring Systems for Permanent Offshore Units* (2012).
27. Evy Bjørnsen (2014). *Chains in Mooring Systems*. Master of Science Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
28. Van den Boom H.J.J. *Dynamic Behaviour of Mooring Lines* (1985). Maritime Research Institute Netherlands.
29. Ivan Ćatipović, Većeslav Čorić, Vuko Vukčević (2012). *Dynamics of FPSO with Polyester Mooring Lines*. International Offshore and Polar Engineering Conference.
30. Subratak Chakrabarti (2005). *Offshore Structure Analysis*. Inc.Plainfield, Illinois, USA. Elsevier.
31. Xiaohong Chen and Jun Zhang, Peter Jonhson and Mehernosh Irani (2001). *Dynamics Analysis of Mooring Lines by Using Three Different Method*. International Offshore and Polar Engineering Conference.
32. Xiaohong Chen and Jun Zhang (2009) *Advanced Anchoring and Mooring Study*. Oregon Wave Energy Trust.
33. Michael Olivier Chrolenko (2013). *Dynamic Analysis and design of Mooring Lines*. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology

34. Omar Degrade, Arun Duggai. Analysis (2010). *Design and Installation of Polyester Rope Mooring System in Deep Water*. Offshore Technology Conference.
35. Dr M C Deo (2013). *Wave and Structure*. Indian Institute of Technology Bombay Powai, Mumbai.
36. *Design moorings* (2016). Unified facilities criteria (UFC).
37. DNV-RP-C205. *Environmental conditions and environmental loads* (2013).
38. DNV-OS- E301. *Position Mooring* (2013).
39. DNV-OS-E304. *Offshore Mooring Steel Wire Ropes* (2009).
40. O.M. Faltinsen (1998). *Sea loads on ships and offshore structures*. Cambridge University press.
41. *Final Environmental Design Criteria for the Rang Dong Prospect, Vietnam R827*.
42. *Fleet Moorings Basic Criteria and Planning Guidelines* (1985). Naval Facilities Engineering Command.
43. Ben C. Gerwick, Jr. (1999). *Construction of Marine and offshore structures..* Boca Raton London Newyork Washington, D.C.
44. Tai-Pil.Ha (2011). *Frequency and time domain motion and mooring analyses for a FPSO operating in deep water*. Doctor of Philosophy Thesis. Newcastle University.
45. Sa Young Hong, Byoung Wan Kim, Hong Gun Sung. Jin Ha Kim (2013). *Comparision of linear spring and nonlinear FEM methods in dynamics couple analysis of floating structure and mooring system*. Journal of Fluids and Strutures.
46. Teng H.Hsu (1984). *Offshore Structural Engineering*. Gulf Publishing Company Book Division.

47. H. Varum, R.J.S. Cardoso (2005). *A Geometrical Non-Linear Model For Cable Systems Analysis*. International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures.
48. J.M.J. Journee and W.W.Massie (2001). *Offshore Hydromenics*. Delft University of Technology.
49. V.J. Kurian, M.A. Yassir, C.Y. Ng and I.S. Harahap (2013). *Nonlinear Dynamic Analysis of Multi-component Mooring Lines Incorporating Line-seabed Interaction*. Engineering and Technology.
50. Denis Matha, Markus Schlipf, Andrew Cordle, Ricardo Pereira, Jason Jonkman (2011). *Challenges in Simulation of Aerodynamics, Hydrodynamics, and Mooring-Line Dynamics of Floating Offshore Wind Turbines*. National Renewable Energy laboratory.
51. S.A.Mavrakos, V.J.Papazoglou, M. S. Triantafyllou & J. Hatjigeorgiou (1996). *Deep Water Mooring Dynamics, Marine Structures*.
52. *Mooring and towing* (2001) Naval Ships' Technical Manual.
53. *Mooring Equipment Guidelines* (2008). Oil Companies International Marine Forum.
54. D.E.Newland (2003). *A Introduction to random vibrations, spectral and wavelet analysis*. Antony Rowe Ltd, Eastbourne.
55. L. Crudu, D.C Obreja and O Marcu (2016). *Moored offshore structures- evaluation of forces in elastic mooring lines*. 7<sup>th</sup> International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering.
56. L.O. Garza-Rios M.M, Bernitsas. K. Nishimoto (1997). *Catenary mooring lines with nonlinear drag and touchdown*. University of Michigan.
57. L.O. Garza Rios, M.M. Bernitsas (1999). *Slow Motion Dynamics of Mooring Systems in Deep Water with Buoy Supported Catenary lines*.

Department of Naval Architecture and Marine Engineering.

58. *Requirements concerning Mooring, Anchoring and Towing* (2007). International Association of Classification Societies.
59. Joseph W. Tedesco, William G. McDugal, C. Auen Ross. (1999). *Structural Dynamics Theory and applications*. Addison-Wesley Longman Inc.
60. Ikpotoenefiok Udoh (2008). *Development of design tool for statically equivalent deepwater mooring systems*. Master of science. Texas A&M university.
61. Jame F. Wilson (2002). *Dynamics of offshore structures*. John Wiley & Sons, Inc.
62. Nicolas Berner Wolf (2012). *The dynamic mooring force on a wave energy converter moored in a single point*. Master of Science Thesis. Chalmers University of Technology.
63. П.П. Кульмач (1980). *Якорные системы удержания плавучих объектов*. Ленинград судостроение.
64. Pham Hien Hau (2010). *Estimation de la fiabilité du système d'ancrage des FSO/FPSOs au Vietnam, avec prise en compte de l'accumulation du dommage de fatigue*. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Ingénieur.
65. <https://bwoffshore.com/fpso-world/fpso-list/>
66. [https://en.wikipedia.org/wiki/Kizomba\\_deepwater\\_project](https://en.wikipedia.org/wiki/Kizomba_deepwater_project)
67. <https://petrotimes.vn/tim-hieu-ve-cac-be-tram-tich-dau-khi-o-viet-nam>
68. <https://rappbomek.com/articles/skarv-fpso>
69. [https://vi.wikipedia.org/wiki/Danh\\_sách\\_các\\_quốc\\_gia\\_theo\\_trữ\\_lượng\\_dầu\\_mỏ](https://vi.wikipedia.org/wiki/Danh_sách_các_quốc_gia_theo_trữ_lượng_dầu_mỏ)
70. <https://www.offshore-technology.com/projects/girassol/>
71. <http://www.aukevisser.nl/supertankers/FPSO-FSO/id586.htm>



## 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*. Tạp 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*. Tạp 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*. Tạp 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*. Tạp 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.