



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ SÂU NƯỚC ĐẾN MÔ MEN UỐN DỌC VÀ LỰC CẮT DO SÓNG CỦA KHO CHỨA NỔI

Nguyễn Quốc Hòa¹

Tóm tắt: Kho chứa nổi được sử dụng rộng rãi và hiệu quả trong khai thác dầu khí biển ở các mỏ dầu vùng nước sâu cũng như nước nông, đặc biệt trong trường hợp cần đưa nhanh các mỏ vào khai thác và ở những nơi việc xây dựng đường ống dẫn dầu khó thực hiện hoặc không kinh tế. Bài báo này trình bày kết quả tính toán khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cắt theo phương đứng F_z và mômen uốn dọc M_y do sóng tác dụng lên kết cấu thân kho chứa nổi dạng tàu [2], bằng phần mềm Hydrostar [3], là những thông số cần thiết cho việc tính toán độ bền của kết cấu công trình theo Quy chuẩn Việt Nam QCVN21:2010/BGTVT [1] và qui phạm DnV [6].

Từ khóa: độ sâu nước, lực cắt do sóng, mô men uốn dọc do sóng, kho chứa nổi.

Summary: Floating storage system is used widely and effectively in the offshore petroleum exploitation in deepwater oil fields as well as shallow water, especially in case of need to quickly set mining and where the oil pipeline construction is difficult or uneconomical. This article presents the results of calculations investigated the effect of water depth to the wave vertical shear force F_z and longitudinal bending moment M_y acting on the floating storage structure of vessel type [2], by Hydrostar software [3], and being necessary for calculating the durability of floating structures following Vietnam Regulations QCVN21: 2010/BGTVT [1] and DnV Regulation [6].

Keywords: water depth, wave induced vertical shear force, wave induced longitudinal bending moment, floating storage system.



1. Mở đầu

Kho chứa nổi có hai loại là FSO (Floating Storage and Offloading System - hệ thống nổi để chứa đựng và xuất dầu) và FPSO (Floating Production Storage and Offloading System - hệ thống nổi để chế biến, chứa đựng và xuất dầu). Kho chứa nổi được sử dụng rộng rãi và hiệu quả trong khai thác dầu khí biển ở các mỏ dầu vùng nước sâu cũng như nước nông, đặc biệt trong trường hợp cần đưa nhanh các mỏ vào khai thác và ở những nơi việc xây dựng đường ống dẫn dầu khó thực hiện hoặc không kinh tế.

Để đảm bảo an toàn cho công trình nổi trong quá trình khai thác cần xác định chính xác tải trọng của sóng biển lên công trình trong thiết kế cũng như qui hoạch khai thác ở các khu vực có độ sâu nước khác nhau. Khi độ sâu nước thay đổi thì các đặc trưng của các yếu tố sóng thay đổi dẫn đến sự thay đổi tải trọng của sóng biển [8, 9]. Tuy nhiên, trong quy chuẩn Việt Nam QCVN21:2010/BGTVT [1] và tiêu chuẩn thiết kế của Đăng kiểm Na Uy DnV [6] không xem xét đến sự thay đổi của độ sâu nước khai thác công trình trong tính toán tải trọng do sóng. Dưới đây sẽ trình bày các tính toán khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cắt và mô men uốn dọc do sóng tác dụng lên kết cấu thân kho chứa nổi dạng tàu phục vụ cho việc tính toán và quy hoạch kho chứa nổi trong khai thác dầu khí với sự trợ giúp của chương trình phần mềm chuyên dụng Hydrostar [3].

¹ TS, Viện Xây dựng Công trình Biển. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nqhoa2004@gmail.com



2. Khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cắt và mômen uốn của công trình nổi

2.1. Phần mềm tính toán

Chương trình tính toán HYDROSTAR của Bureau Veritas - Cộng hòa Pháp sử dụng phương pháp phần tử biên để tính toán tải trọng sóng bậc 1 (tải trọng tần số sóng) và bậc 2 (tải trọng sóng tần số thấp) tác dụng lên công trình nổi và giải bài toán dao động của công trình nổi dưới tác dụng của tải trọng sóng. Kết quả tính toán của chương trình HYDROSTAR là các hàm truyền RAO (hay còn được gọi là hàm truyền phản ứng đơn vị) là phản ứng của công trình nổi dưới tác dụng của sóng có biên độ đơn vị. Các hàm truyền RAO do HydroStar tính toán được sử dụng làm đầu vào cho các chương trình ARIANE [4], giải quyết các bài toán liên quan đến công trình có neo giữ và làm đầu vào cho một số chương trình tính toán khác của Bureau Veritas - Cộng hòa Pháp. Phương pháp phần tử biên được sử dụng trong HYDROSTAR để tính toán lực trôi dạt theo 3 lý thuyết sau [9, 10]: Lý thuyết trường gần của Pinkster (*near field method*), Lý thuyết trường xa của Maruo-Newman (*far field method*), Lý thuyết trường trung gian của X.B. Chen (*middle-field method*). Theo lý thuyết trường gần của Pinkster, các tính toán được thực hiện trên biên ướt của công trình nổi tiếp xúc với chất lỏng. Trong lý thuyết trường xa của Maruo-Newman, biên tính toán trải ra tới xa vô cùng. Theo lý thuyết trường trung gian của X.B. Chen, các tính toán được thực hiện trên biên trung gian bao quanh công trình nổi.

Chương trình phần mềm Hydrostar khuyến cáo khi tính toán công trình nổi trong vùng nước nông phương pháp trường xa không cho phép tính toán lực trôi dạt theo phương đứng và tải trọng trôi dạt tần số thấp [3]). Bài viết này sử dụng chương trình phần mềm Hydrostar để khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến hai thành phần tải trọng sóng bậc 1 là lực cắt theo phương đứng và mômen uốn dọc My (Hình 1).

2.2. Ví dụ và kết quả tính toán

Các tính toán khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cắt theo phương đứng F_z và mômen uốn dọc M_y do sóng tác dụng lên kết cấu thân kho chứa nổi dạng tàu được thực hiện bằng phần mềm Hydrostar [3], đối với tàu chứa dầu (FSO) Ba Vi - là công trình nổi đã được sử dụng làm kho chứa nổi phục vụ khai thác dầu khí ở mỏ Bạch Hổ - Việt Nam có các thông số chính sau đây:

Chiều dài tổng thể (Over Length):	$L = 285,50 \text{ m}$
Chiều dài tính toán (Length perpendicular):	$L_{pp} = 275,70 \text{ m}$
Chiều rộng (Breadth):	$B = 44,20 \text{ m}$
Chiều cao mạn (Heigth):	$H = 22,40 \text{ m}$
Lượng chiếm nước (ở mớn nước đầy hàng)	$D = 176500 \text{ t}$
Mớn nước (Draught):	
- Đầy hàng (mớn nước thiết kế):	$T = 17,15 \text{ m.}$
- Không hàng (có dằn ballast):	$T_0 = 8,55 \text{ m.}$
Hệ số béo thể tích:	$\delta = 0,825$
Hệ số béo đường nước:	$\alpha = 0,9$
Trọng tải (dead-weight):	$DWT = 154.000 \text{ t}$

Số liệu môi trường (lấy theo điều kiện mỏ Bạch Hổ) được sử dụng để tính toán gồm có chiều cao sóng đáng kể $H_s = 8,6\text{m}$, chu kỳ đỉnh phổ $T_p = 13,5\text{s}$ và phổ sóng tính toán là phổ JONSWAP xác định theo công thức (1):

$$S_{\eta\eta} = \frac{\alpha \cdot g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \cdot \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \cdot \gamma \exp \left[-\left(\omega - \omega_p \right)^2 / \left(2 \cdot \sigma^2 \cdot \omega_p^2 \right) \right] \quad (1)$$

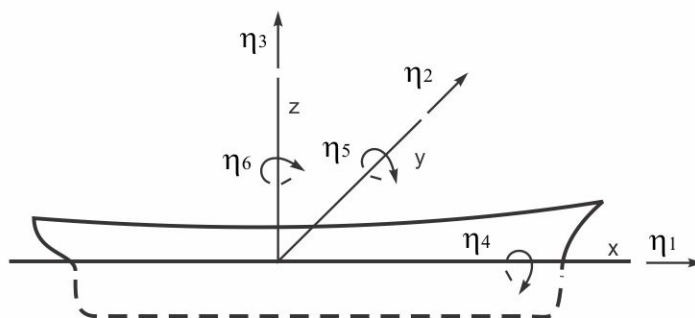
trong đó: ω - tần số sóng ; các hệ số $\alpha = 0,00997$; $\gamma = 1,45$

$$\begin{cases} \sigma_a = 0,092 & \omega < \omega_p \\ \sigma_b = 0,102 & \omega \geq \omega_p \end{cases} \quad (2)$$

với dải tần số sóng $0,2 \leq \omega \leq 1,3$ rad/s, bước tính toán của tần số sóng $\Delta\omega = 0,05$ rad/s đối với tất cả các hướng sóng so với trục dọc ox của thân tàu theo bước chia các hướng tính toán là 10° một bước ($0^\circ, 10^\circ, \dots, 180^\circ, 190^\circ, \dots$), (Hình 1 và 2).

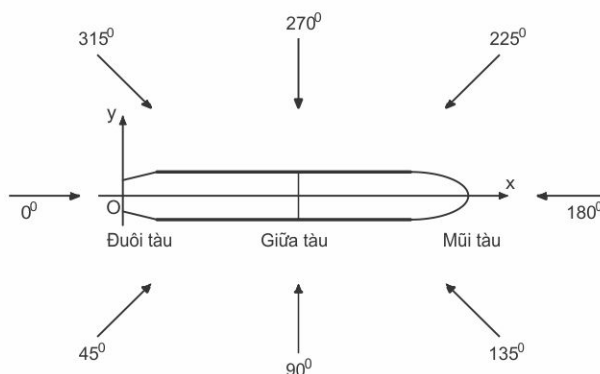
Các tính toán được thực hiện cho trường hợp tàu dầu Ba Vì chứa đầy hàng là trường hợp xếp hàng cơ bản của tàu chở dầu [1], ở 8 độ sâu nước gồm 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 và 200 mét với mật độ nước biển $\rho = 1025$ kg/m³.

Trong tính toán giả thiết rằng số liệu môi trường và dạng phổ sóng ở các độ sâu nước tính toán là như nhau.



Hình 1. Quy ước hệ trục tọa độ kết cấu thân tàu và các chuyển vị lắc

η_1 - chuyển vị trượt dọc ; η_2 - chuyển vị trượt ngang ; η_3 - chuyển vị lắc đứng ; η_4 - chuyển vị lắc ngang ; η_5 - chuyển vị lắc dọc ; η_6 - chuyển vị xoay quanh trục đứng.



Hình 2. Hướng sóng so với hệ trục thân tàu

Các hàm truyền RAO (Response Amplitude Operator) của lực cắt F_z và mômen uốn dọc M_y do chương trình phần mềm HydroStar đưa ra ứng với độ sâu nước cho trước và ứng với từng tần số và hướng sóng tính toán cho 40 mặt cắt theo chiều dài tàu tính từ đuôi tàu về mũi tàu.

Để khảo sát ảnh hưởng của độ sâu nước đến tải trọng sóng (mômen uốn dọc M_y và lực cắt F_z) tác dụng lên công trình nổi, giá trị tải trọng sóng được xác định dựa trên các hàm truyền RAO của M_y và của F_z và phổ sóng đã chọn. Với phổ sóng $S_{\eta\eta}(\omega)$ cho trước và các hàm truyền RAO đã tính toán được, phổ tải trọng sóng $S_{FF}(\omega)$ được xác định theo công thức (3):

$$S_{FF}(\omega) = |RAO|^2 \cdot S_{\eta\eta}(\omega) \quad (3)$$

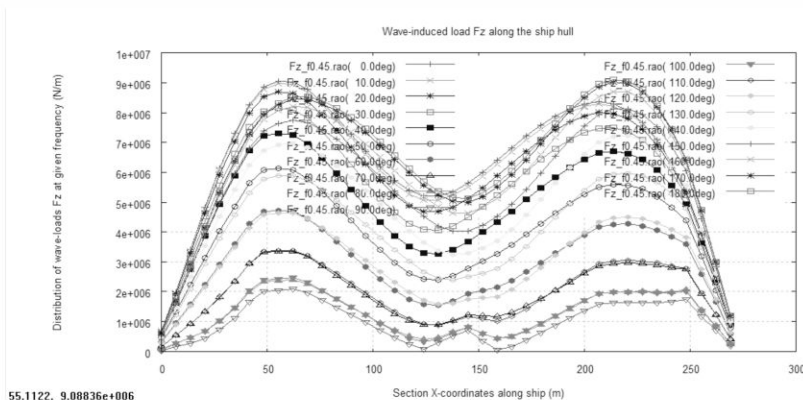
Ở độ sâu nước tính toán, phổ tải trọng sóng $S_{FF}(\omega)$ được tính toán theo dải tần số và các hướng sóng cần khảo sát.

Tại một mặt cắt ngang trên chiều dài thân tàu, ở một độ sâu nước tính toán, tải trọng sóng $F_j(j)$ - số thứ tự mặt cắt ngang thân tàu) có một hàm truyền RAO(j) ứng với dải tần số tính toán và các hướng sóng tính toán. Với một hướng sóng và một độ sâu nước cho trước, tại một mặt cắt ngang thân tàu, giá trị tải trọng sóng F_j được xác định theo công thức (4):

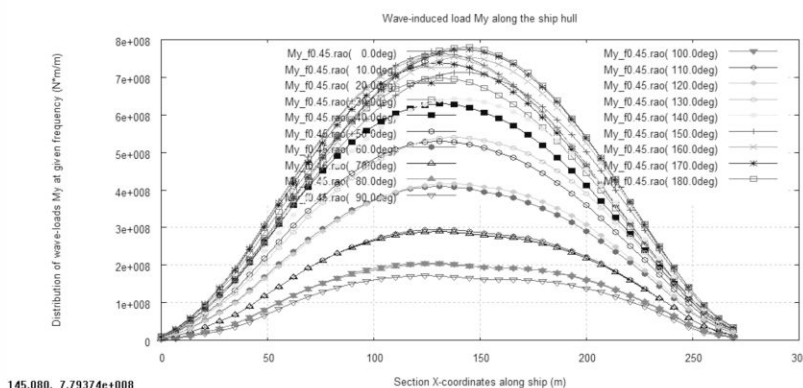
$$F_j = \left[\int_0^{\infty} S_{FF}(\omega) d\omega \right]^{1/2} \quad (4)$$

Từ các giá trị tải trọng sóng tại các mặt ngang thân tàu xây dựng được đồ thị của tải trọng sóng thay đổi theo chiều dài tàu cho từng độ sâu nước.

Trên hình 3 và 4 là hàm truyền RAO của lực cắt theo phương đứng F_z (N/m) và mô men uốn dọc M_y (N.m/m) ở độ sâu 75 mét nước thay đổi dọc thân tàu.



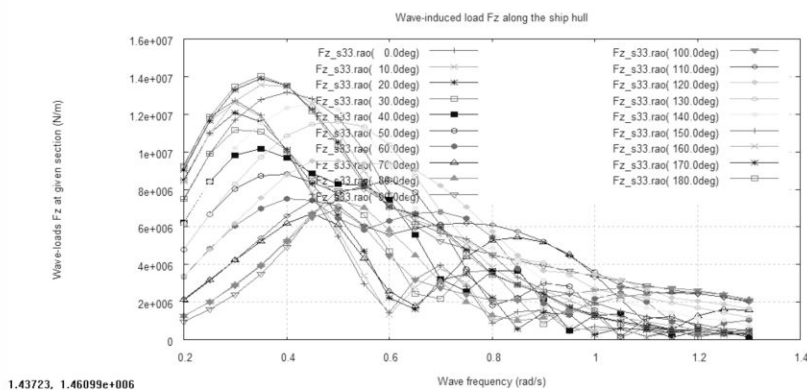
Hình 3. RAO của Lực cắt F_z tại 40 mặt cắt dọc theo chiều dài tàu Ba Vi, $d=75m$



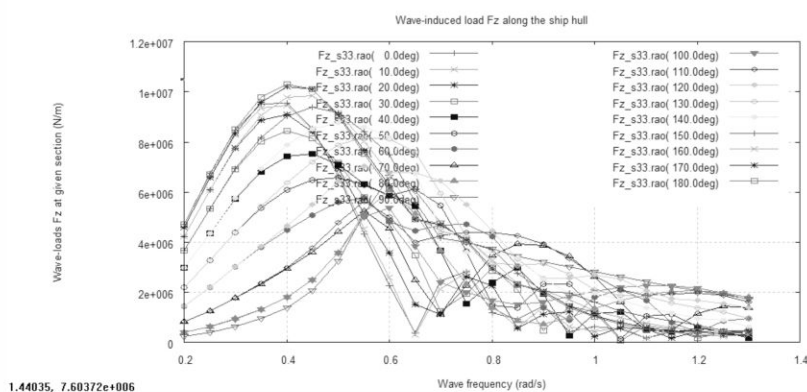
Hình 4. Rao Mômen uốn dọc M_y dọc theo chiều dài tàu Ba Vi, $d=75m$

Hình 3 và 4 cho thấy, ở độ sâu nước $d = 75m$ khi tần số sóng $\omega = 0,45\text{rad/s}$ lực cắt theo phương đứng đạt 2 giá trị lớn nhất ở các mặt cắt ngang nằm ở phía mũi và đuôi tàu. Ở khu vực mũi tàu, lực cắt F_z đạt giá trị lớn nhất đối với hướng sóng 180° và ở khu vực đuôi tàu lực cắt F_z đạt giá trị lớn nhất đối với hướng sóng 0° . Mômen uốn dọc M_y đạt giá trị cực đại tại mặt cắt nằm ở khoảng giữa tàu.

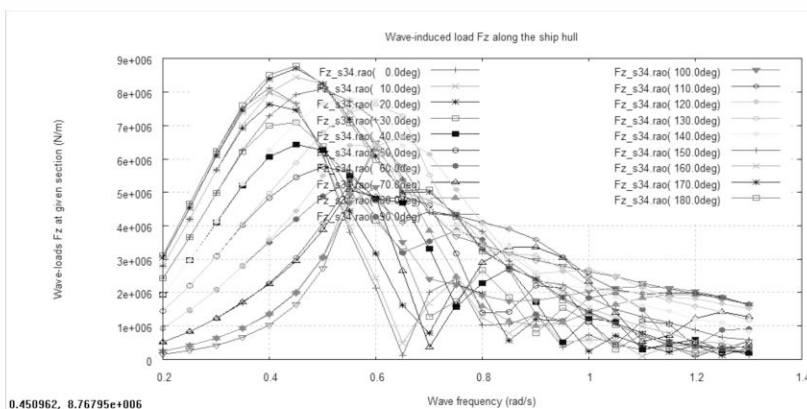
Trên hình 5+7 biểu diễn hàm truyền RAO của lực cắt theo phương đứng F_z (N/m) tại mặt cắt ngang số 33 thay đổi theo tần số sóng ở độ sâu 25, 50 và 75 mét nước. Lực cắt F_z đạt giá trị lớn nhất ở 3 độ sâu này trong vùng xung quanh tần số sóng $\omega = 0,4\text{rad/s}$ với hướng sóng. Khi tần số sóng tăng thì giá trị lực cắt đạt giá trị lớn nhất ở các hướng sóng khác nhưng nhỏ hơn giá trị lực cắt F_z ở hướng sóng 180° . Khi độ sâu nước tăng từ 25m lên 75m, tần số sóng tại đó F_z đạt giá trị lớn nhất cũng tăng (từ $\omega \approx 0,35\text{rad/s}$ đến $\omega = 0,45\text{rad/s}$). Tại 3 độ sâu này lực cắt F_z có giá trị lớn nhất khi $d = 25m$.



Hình 5. Rao của Lực cắt F_z theo tần số sóng, $d=25m$, tại mặt cắt 33

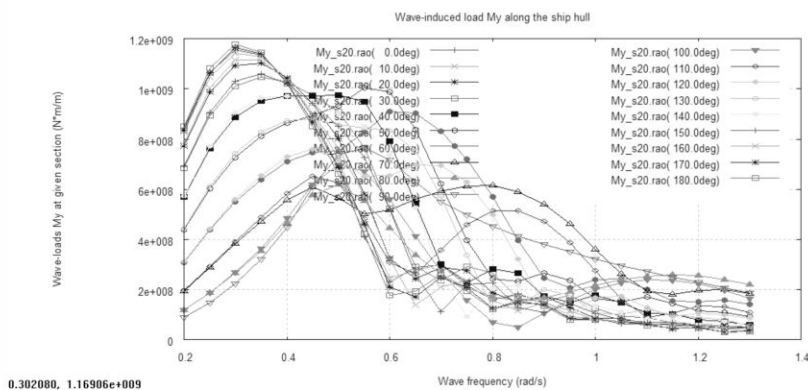


Hình 6. RAO của Lực cắt F_z theo tần số sóng, $d=50m$, tại mặt cắt 33

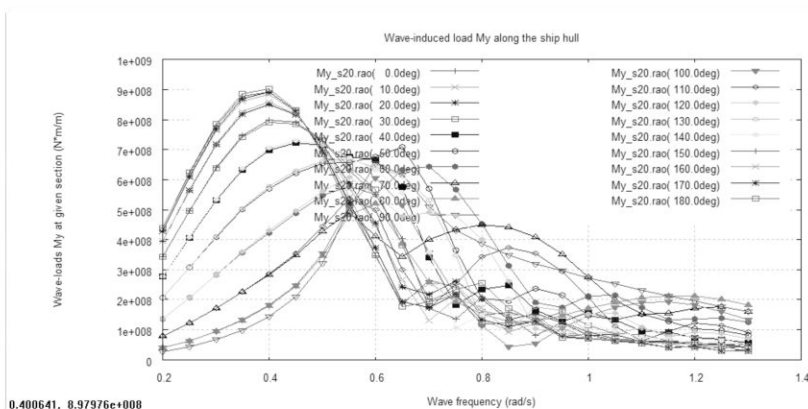


Hình 7. RAO của Lực cắt F_z theo tần số sóng, $d=75m$, tại mặt cắt 33

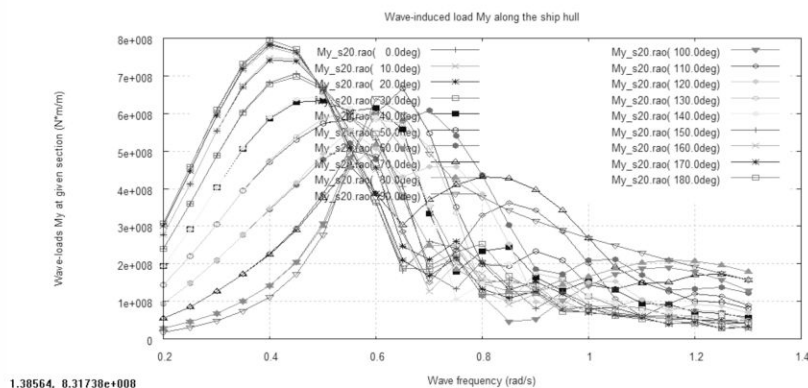
Trên hình 8÷10 là hàm truyền RAO của mô men uốn dọc M_y (N.m/m) quanh trục oy tại mặt cắt ngang số 20 nằm ở giữa chiều dài thân tàu thay đổi theo tần số sóng ở 3 độ sâu 25, 50 và 75 mét nước. Mô men M_y đạt giá trị lớn nhất đối với hướng sóng 180° ở dải tần số sóng $\omega \approx 0,3 \div 0,4 \text{ rad/s}$. Khi tần số sóng tăng thì giá trị mô men M_y đạt giá trị lớn nhất ở các hướng sóng khác nhưng nhỏ hơn giá trị mô men M_y ở hướng sóng. Tương tự với lực cắt F_z , khi độ sâu nước tăng từ 25m lên 75m, tần số sóng tại đó mô men M_y đạt giá trị lớn nhất cũng tăng (từ $\omega \approx 0,35 \text{ rad/s}$ đến $\omega = 0,45 \text{ rad/s}$). Tại 3 độ sâu này mô men M_y có giá trị lớn nhất khi $d = 25m$.



Hình 8. RAO của Mômen uốn dọc M_y theo tần số sóng, $d=25m$, tại mặt cắt 20 (giữa tàu)



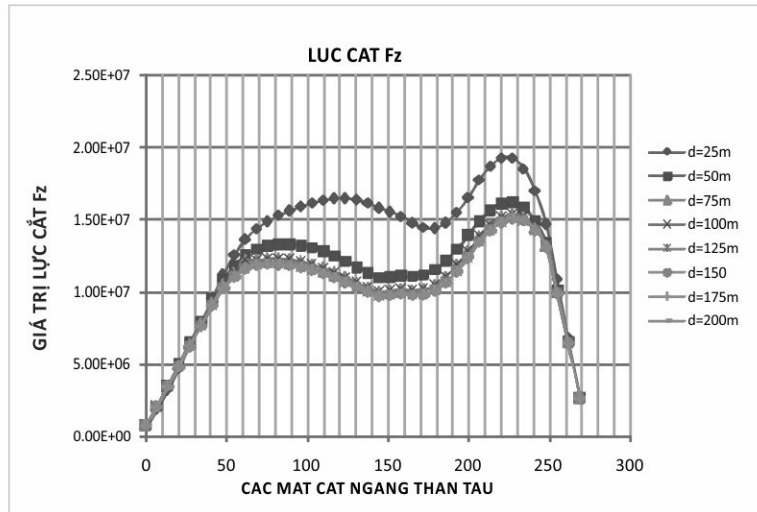
Hình 9. RAO của Mômen uốn dọc M_y theo tần số sóng, $d=50m$, tại mặt cắt 20 (giữa tàu)



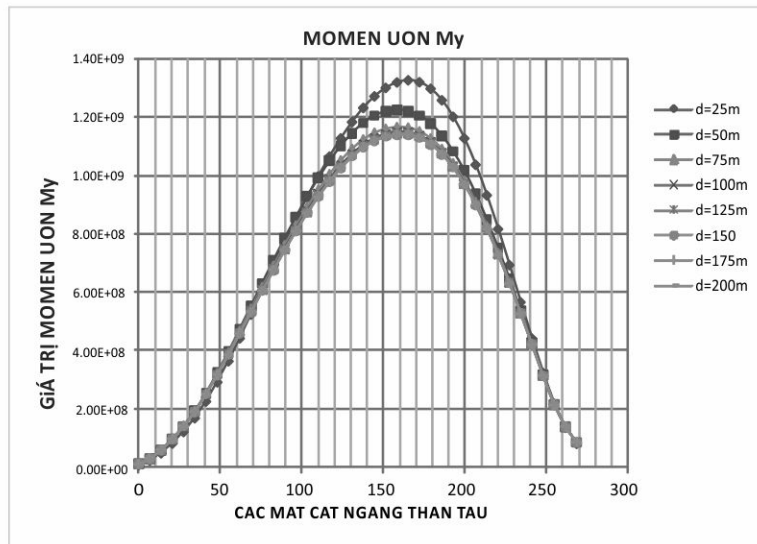
Hình 10. RAO của Mômen uốn dọc M_y theo tần số sóng, $d=75m$, tại mặt cắt 20 (giữa tàu)

Trên hình 11 và 12 là giá trị lực cắt F_z và mômen uốn M_y thay đổi dọc thân tàu ở 8 độ sâu nước tính toán sau khi xử lý kết quả tính toán của phần mềm HydroStar.

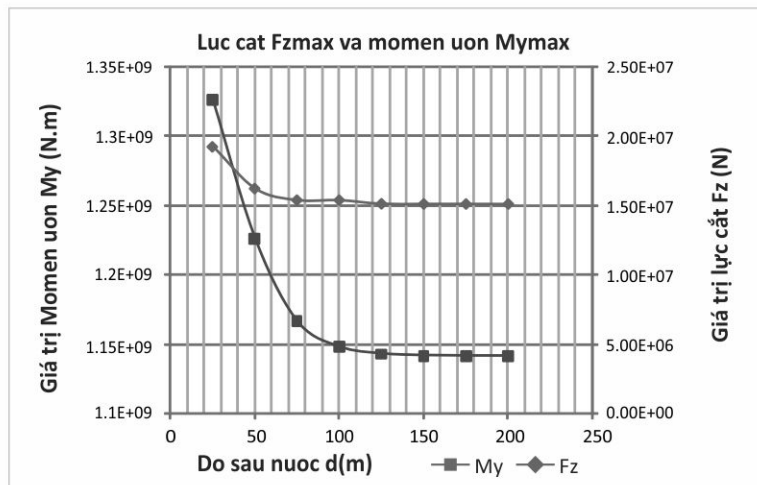
Để so sánh sự thay đổi của giá trị lực cắt F_z và mômen uốn dọc M_y lớn nhất ở các độ sâu nước $d=25+200m$ được hiển thị trên hình 13, trong bài viết này trình bày đại diện các kết quả tính toán lực cắt F_z và mô men uốn dọc M_y lớn nhất tại 40 mặt cắt dọc thân tàu ứng với các độ sâu nước cho một hướng sóng ngược với chiều dương trục ox và lệch một góc 30° , tương ứng với góc 150° trên hình 2.



Hình 11. Lực cắt Fz dọc theo chiều dài tàu Ba Vi ở các độ sâu nước d=25÷200m



Hình 12. Mô men uốn dọc My dọc theo chiều dài tàu Ba Vi ở các độ sâu nước d=25÷200m



Hình 13. Lực cắt Fz và mômen uốn dọc My lớn nhất

Kết quả tính toán cho thấy trong trường hợp đang xét, khi tàu chở đầy hàng thì lực cắt đạt giá trị lớn nhất về phía mũi và lái của công trình nổi, cụ thể F_{zmax} tại các mặt cắt $\frac{L_{pp}}{4}$ và $\frac{3L_{pp}}{4}$, mômen uốn dọc đạt giá trị lớn nhất ở khu vực giữa chiều dài thân công trình nổi - phù hợp với lý thuyết tàu thủy. Khi độ sâu nước giảm, lực cắt và mômen uốn dọc thân tàu tăng. Ở độ sâu nước $d \geq 100m$ sự thay đổi lực cắt F_z và mômen uốn dọc M_y không đáng kể (<2%). Ở vùng nước rất nông (độ sâu nước <50m) lực cắt và mômen uốn thay đổi đáng kể khi độ sâu nước giảm: trong ví dụ đang xét, ở độ sâu $d=25m$ lực $F_z = 1,92.10^7(N)$, $M_y = 1,33.10^9(N.m)$, ở độ sâu $d=75m$ $F_z = 1,54.10^7(N)$, $M_y = 1,17.10^9(N.m)$. Như vậy, khi độ sâu nước giảm từ 75m xuống 25m lực cắt F_z tăng ~25,2% và mômen uốn dọc M_y tăng ~13,7%. Điều này cần được lưu ý khi thiết kế kho chứa nổi hoặc qui hoạch sử dụng kho chứa nổi cho vùng nước nông.



3. Kết luận

Kết quả khảo sát tính toán bằng số nêu trên cho thấy khi độ sâu nước giảm tải trọng sóng tác dụng lên công trình nổi tăng lên. Do đó, để thiết kế và quy hoạch sử dụng kho chứa nổi (FSO và FPSO) ở vùng nước nông việc xác định đúng đắn các yếu tố xác định độ bền kết cấu thân của FSO/FPSO là một khâu quan trọng bảo đảm sự an toàn trong khai thác và việc giải bài toán động lực học công trình nổi là cần thiết.

Tài liệu tham khảo

1. Quy chuẩn Việt Nam QCVN21:2010/BGTVT, tập 3.
2. TCVN 6474-2007, Quy phạm phân cấp và giám sát kỹ thuật kho chứa nổi.
3. Bureau Veritas - France, (2011). *Hydrostar for Experts User Manual*.
4. Bureau Veritas - France, (2010). *User Guide - ARIANE 7*.
5. Robert T. Hudspeth, (2006). "Waves and wave forces on coastal and ocean structures". Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 21, Elsevier.
6. Recommended Practice DNV-RP-C102, (2002). *Structural Design of Offshore Ships*, Det Norske Veritas.
7. Subrata K. Chakrabart, (2006). *Handbook of Offshore Engineering, Volume 1&2*- Elsevier.
8. Yong Bai, (2003). *Marine Structural Design*, Elsevier.
9. Van Oortmerssen G., (1976). *The Motions of A Moored Ship in Waves, A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy*.
10. Xiaobo CHEN, (1994). "Approximation on The Quadratic Transfer Function of Low-Frequency Loads", Proceeding of 7th BOSS', MIT, Vol. 2, pp.208-302.