

# Ảnh hưởng của hệ neo đàn hồi đến ứng xử động lực học của kết cấu tấm nổi chịu tải trọng di động

Effects of elastic mooring lines on dynamic responses of a floating plate subjected to moving load

**Phạm Hồng Thái** - Công ty Cổ phần Xây dựng Vietcons

**Nguyễn Xuân Vũ, Trần Minh Thi, Lương Văn Hải\***

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TPHCM \* Email: lvhai@hcmut.edu.vn

**Phạm Hoàng Tiến** - Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Kỹ Thuật-Công Nghệ Cần Thơ

**Tóm tắt:** Đối với việc thiết kế tấm nổi, việc quan trọng là đảm bảo tấm làm việc ổn định khi được đặt trên mặt biển. Các nghiên cứu trước đây đã đề cập nhiều phương pháp khác nhau để giảm dao động và chuyển vị của tấm. Sử dụng hệ neo để giữ ổn định cho tấm là một trong những phương pháp đó. ảnh hưởng của hệ neo đàn hồi đến ứng xử tấm cũng đã được đề cập nhiều trong các nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu đó tấm thường được xem như là một phần tử thanh và chưa xem xét đến ứng xử theo phương còn lại của tấm. Dựa trên ý tưởng đó, một tấm nổi có liên kết đàn hồi với đáy biển chịu tải trọng di động được tập trung nghiên cứu. Đồng thời trong nghiên cứu này, sự kết hợp giữa phương pháp phần tử biên (BEM-Boundary Element Method) và phương pháp phần tử hữu hạn (FEM-Finite Element Method) được sử dụng để mô phỏng ứng xử tương tác của hệ tấm nổi và vùng chất lỏng có liên kết đàn hồi. Sự ảnh hưởng của liên kết đàn hồi đến giá trị chuyển vị và dao động của tấm được nghiên cứu dựa trên các ví dụ khảo sát khi thay đổi thông số của hệ tấm.

**Từ khóa:** Hệ neo đàn hồi, FEM, BEM, hydroelastic, VLFS

**Abstract:** For floating plates, it is important to remain the stability of the plates which float on water surface. Previous studies have mentioned many different methods to alleviate vibrations of the plates. Using anchors to remain the plates stable is one of those methods. Previous studies have mentioned a lot about the effect of elastic anchors on sheets. However, in these studies, floating plates are often considered as a line element and have yet considered the plate with an elastic anchor system. Based on these studies, a floating plate subjected moving loads with elastic connections to the seabed is considered dynamic behaviors. In this study, the combination of Boundary Element Method (BEM) and Finite Element Method (FEM) is used to simulate the behaviors of floating plate in consideration of the elastic mooring lines. The influence of elastic mooring lines on the displacement and oscillation of the plate is studied based on numerical investigations.

**Keywords:** Elastic mooring lines, FEM, BEM, hydroelastic, VLFS

## 1. Giới thiệu

Trong sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa ngày nay, quỹ đất sử dụng ngày càng ít dần. Để giải quyết vấn đề đó, nhiều ý tưởng được đề cập cho việc xây dựng những thành phố trên mặt nước hoặc những khu phức hợp khổng lồ. Một số nước trên thế giới đã bắt đầu xây dựng và đã đạt được hiệu quả nhất định. Để tạo không gian xây dựng, việc sử dụng kết cấu nổi siêu lớn (VLFS-Very large floating structure) là một giải pháp được sử dụng nhiều ở các quốc gia có đường bờ biển dài. Về kích thước, một VLFS điển hình dài khoảng 5km, rộng khoảng 1km và chỉ sâu vài mét. Vì thế khác với các kết cấu nổi dạng tàu thủy, VLFS rất dễ uốn so với các kết cấu ngoài khơi khác, dẫn đến biến dạng đàn hồi vượt trội hơn so với chuyển động của tấm cứng. Tương tác giữa chất lỏng và kết cấu có xét đến biến dạng đàn hồi được gọi là ứng xử hydroelastic và giữ vai trò trung tâm trong thiết kế kết cấu nổi siêu lớn.

Trong thiết kế tấm nổi, người thiết kế không những phải xem xét tác động của sóng biển mà còn phải tính toán đến ứng xử tức thời của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng di động. Phương pháp BEM là một trong những phương pháp được sử dụng, trong phương pháp này bề

mặt tiếp xúc của kết cấu nổi và nước được chia thành những phần tử nhỏ và thế vận tốc được giả thuyết là hằng trên mỗi phần tử. Vì bước sóng của sóng tới nhỏ hơn kết cấu rất nhiều, do đó cần phân chia ra nhiều phần tử để đảm bảo độ chính xác cao, bài toán có quá nhiều ẩn số ảnh hưởng đến vấn đề về thời gian. Newman and Lee đưa ra hai phương pháp để giải quyết vấn đề này. Một là sử dụng phần tử biên bậc cao để chia bề mặt kết cấu, điều này giúp giảm số lượng phần tử biên nhưng vẫn đảm bảo tính chính xác. Kashiwagi đã sử dụng phương pháp tổ hợp mode dao động của ông để mô phỏng số phản ứng tức thời của sân bay nổi khi máy bay cất và hạ cánh sử dụng số liệu thực tế từ máy bay Boeing 747-400. Endo đã ứng dụng phương pháp tính toán miền thời gian của ông để mô phỏng máy bay cất và hạ cánh có xét tới sóng biển. Wang và Tay giới thiệu công thức toán học cho phân tích hydroelastic của VLFSs dạng phao nổi trong miền tần số. Họ đã sử dụng phương pháp lai BEM-FEM để giải quyết bài toán tấm - nước. Cheng và cộng sự đề xuất phương pháp mở rộng miền thời gian trực tiếp để tính toán phản ứng tức thời của VLFSs chịu đồng thời sóng tới và tải ngoài bao gồm vật nặng rơi tự do hay

máy bay cất và hạ cánh.

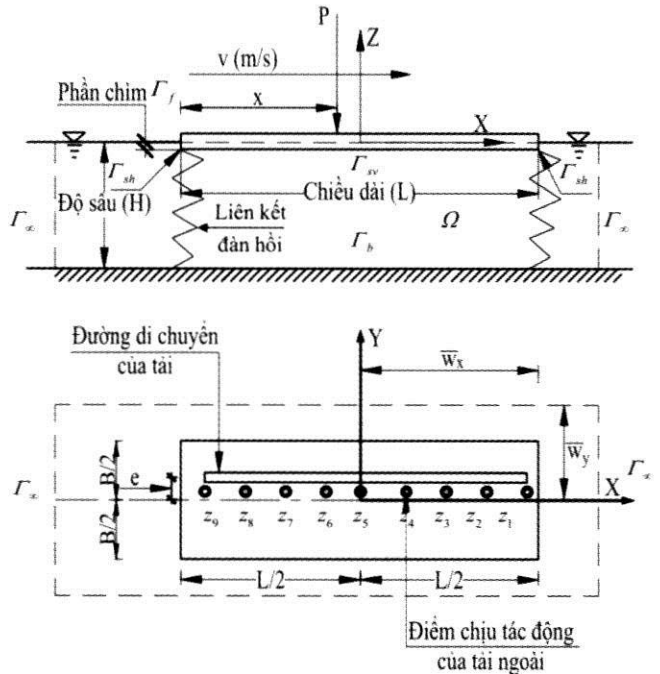
Ngoài các phương pháp số, các phương pháp giải tích như phương pháp tổ hợp mode dao động cũng được nhiều tác giả thực hiện. Trong phương pháp này, toàn bộ miền chất lỏng được chia thành 2 miền bao gồm một miền được bao phủ bởi tấm và một miền bên ngoài. Thế vận tốc trong mỗi miền được xấp xỉ bằng các hàm riêng trực giao. Kashiwagi đã sử dụng phương pháp tổ hợp mode dao động để phân tích sự chuyển động của chất lỏng. Tích phân mặt của lực thủy động lực học được chuyển đổi thành tích phân đường giúp giảm đáng kể thời gian tính toán. Kim và Ertekin đã đề xuất phương pháp tổ hợp mode cho vùng chất lỏng bên dưới VLFSs. Họ đã tận dụng một cách hiệu quả nghiệm của phương trình Helmholtz cho miền chữ nhật và chuyển động của chất lỏng cũng được tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Ismail đã phát triển phương pháp kết hợp BEM-FEM theo miền thời gian trong không gian ba chiều để phân tích phản ứng tức thời của kết cấu chịu tải trọng thay đổi. Ngoài những nghiên cứu trên, còn nhiều nghiên cứu đã tiến hành phân tích ứng xử của VLFS trong điều kiện khác nhau. Hamamoto và Fujita phát triển phương pháp BEM-FEM để xét đến liên kết giữa các module của VLFS. Wen và Shinozuka xem xét VLFS dưới tác động của sóng biển phi tuyến gây ra bởi gió hoặc sóng thần. Bên cạnh đó, một số phương pháp được đề xuất để giảm ứng xử của VLFSs như sử dụng tường chắn nước (breakwater), sử dụng các thiết bị chống chuyển động, thiết bị này dùng để phản hồi sóng và chỉ một phần sóng nước truyền bên dưới kết cấu. Khabakhpasheva và Korobkin đã sử dụng liên kết đứng đàn hồi để liên kết kết cấu nổi và đáy biển để giảm ứng xử hydroelastic của kết cấu nổi. Gần đây, Nguyen và cộng sự đã nghiên cứu ứng xử của tấm nổi dạng phao dưới sự tác động của tải trọng sóng biển. Trong những năm gần đây có nghiên cứu của Vũ và cộng sự về kết cấu tấm nổi VLFS chịu tải trọng sóng và tải trọng di động sử dụng phương pháp phần tử chuyển động MEM (Moving Element Method), nghiên cứu của Hải và cộng sự về kết cấu VLFS chịu tác động của tải trọng sóng đã được thực hiện bằng việc sử dụng phương pháp kết hợp giữa BEM và MEM.

Trong các nghiên cứu bên trên, kết cấu nổi thường được giả sử các biên là tự do, tấm nổi không liên kết với đáy biển. Tuy nhiên, thực tế VLFS luôn có những hệ neo để giữ tấm ổn định trên nền nước. Vì thế sẽ thiếu sót nếu không xem xét đến ảnh hưởng của hệ neo đến ứng xử động lực học của tấm. Trong nghiên cứu này sẽ phân

tích và đánh giá ứng xử của tấm khi xét đến ảnh hưởng các thông số của hệ neo đàn hồi.

**2. Cơ sở lý thuyết**

thể hiện mô hình của kết cấu nổi cùng với hệ tọa độ, bề mặt biên và miền chất lỏng sử dụng phân tích ứng xử trên miền thời gian. Kết cấu nổi được xem như là một tấm có hình chữ nhật phẳng với chiều dài L và bề rộng B. Hệ tọa độ Đề-các được chọn có có chiều dương hướng lên trên và mặt phẳng z = 0 được giả thuyết trùng với mặt thoáng chất lỏng.



Hình 2. Hình vẽ mặt bên và mặt bằng của mô hình tấm nổi

Phương trình chuyển động của tấm dày Mindlin được trình bày như bên dưới

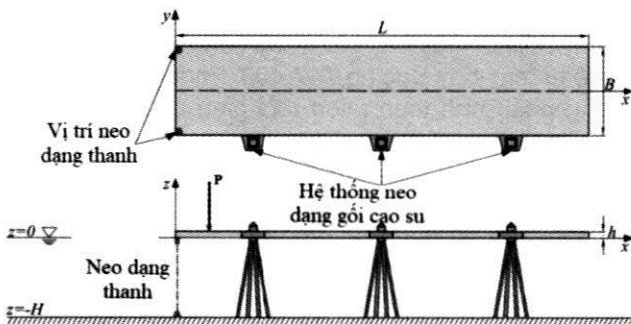
$$\kappa^2 Gh \left[ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \left( \frac{\partial \beta_x}{\partial x} + \frac{\partial \beta_y}{\partial y} \right) \right] + \gamma h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = w - \frac{\partial \varphi}{\partial t} + f \quad (1)$$

$$\frac{D(1-\nu)}{2} \left( \frac{\partial^2 \beta_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \beta_y}{\partial y^2} \right) + \frac{D(1+\nu)}{2} \left( \frac{\partial^2 \beta_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \beta_y}{\partial x \partial y} \right) - \kappa^2 Gh \left( \beta_x + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = -\frac{\gamma h^3}{12} \frac{\partial^2 \beta_x}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$\frac{D(1-\nu)}{2} \left( \frac{\partial^2 \beta_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \beta_y}{\partial y^2} \right) + \frac{D(1+\nu)}{2} \left( \frac{\partial^2 \beta_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \beta_x}{\partial x \partial y} \right) - \kappa^2 Gh \left( \beta_y + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = -\frac{\gamma h^3}{12} \frac{\partial^2 \beta_y}{\partial t^2} \quad (3)$$

trong đó D là độ cứng trụ; E là hệ số modul đàn hồi; G là hệ số modul cắt (hay modul đàn hồi trượt); ν là hệ số Poisson; trọng lượng riêng vật liệu của tấm, và K<sup>2</sup> là hệ số điều chỉnh cắt K<sup>2</sup> = 5/6. Do điều kiện biên của tấm Mindlin là tự do trên cạnh biên, nên các thành phần nội lực như moment uốn, moment xoắn và lực cắt phải triệt tiêu tại biên của tấm.

Tấm được neo giữ với đáy biển bằng các hệ neo tại các góc của tấm. Hệ neo được mô phỏng bằng các liên kết đàn hồi theo phương đứng có độ cứng k<sub>M</sub>. Tại các



Hình 1. Các dạng hệ neo thường gặp trong tấm nổi

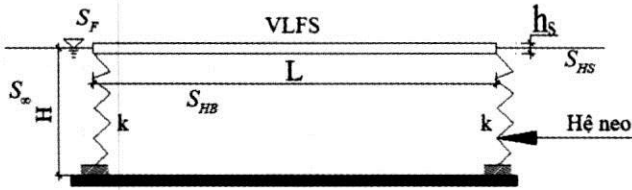
góc của tấm, moment uốn triệt tiêu nhưng lực cắt không triệt tiêu và có giá trị bằng

$$Q_x = kmiW \text{ tại } x = 0, y = B/2$$

$$Q_x = -kmiW \text{ tại } x = L, y = B/2$$

$$Q_y = kmiW \text{ tại } x = \{0, L\}, y = -B/2$$

$$Q_y = kmiW \text{ tại } x = \{0, L\}, y = B/2$$



Hình 3. Mô hình hệ neo

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phần tử tấm

Larrange 9 nút thỏa điều kiện  $\Omega = U^N, \Omega_{e=1}^N$  với  $\Omega_i \cap \Omega_j =$

$\emptyset, i \neq j$

Các hàm dạng chuyển vị

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & \dots & N_9 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & \dots & 0 & N_9 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & \dots & 0 & 0 & N_9 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$N_w = [N_1 \ 0 \ 0 \ N_2 \ 0 \ 0 \ \dots \ N_9 \ N_9 \ N_9] \quad (6)$$

Áp dụng phương pháp Galerkin và sử dụng các hàm dạng chuyển vị N, các vectơ lực, ma trận khối lượng, cần và độ cứng của phần tử tấm lần lượt được xác định như sau

Ma trận độ cứng uốn

$$K_b = \iint_{\Omega} B_b^T D_b B_b dx dy \quad (7)$$

$$D_b = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

Ma trận độ cứng cắt

$$K_s = \iint_{\Omega} B_s^T D_s B_s dx dy \quad (9)$$

$$D_s = \frac{Ehk}{2(1+\nu)} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ma trận khối lượng

$$M = \iint_{\Omega} N^T m N dx dy \quad (11)$$

$$N = [N_1 \ N_2 \ \dots \ N_i] \quad (12)$$

$$N_n = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 \\ 0 & 0 & N_i \end{bmatrix} \text{ với } i = 1 \rightarrow n \quad (13)$$

$$m = \rho \begin{bmatrix} h & 0 & 0 \\ 0 & \frac{h}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{h}{12} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Hệ neo đàn hồi được bố trí tại các góc của kết cấu tấm nổi, độ cứng của liên kết đàn hồi được cộng vào ma trận độ cứng tổng thể của hệ tấm tương ứng với bậc tự do của liên kết.

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & & & \\ & \dots & & \\ & & k_{ii} + k_m & \\ & & & k_{mm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

trong đó  $k_m$  là độ cứng của hệ neo đàn hồi.

Trong phân tích hydroelastic, một số giả thuyết được áp dụng như chất lỏng được xem là không nén, không nhớt và có chuyển động không xoáy. Đối với sóng biển, biên độ của sóng biển và chuyển động của VLFS được xem là nhỏ và chỉ xem xét chuyển động theo phương đứng. Ngoài ra mặt dưới của tấm tiếp xúc với chất lỏng tại mọi vị trí, nghĩa là không có khoảng cách giữa tấm và vùng chất lỏng bên dưới.

Điều kiện động học ở đáy miền chất lỏng

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0, z = -H \quad (16)$$

Điều kiện động học tại mặt tiếp xúc của kết cấu và chất lỏng

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (17)$$

trong đó  $w(x, y, z, t)$  là sự chuyển vị theo phương thẳng đứng của tấm và  $t$  là thời gian.

Điều kiện biên ở vô cực

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0; \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0; x, y \rightarrow \infty \quad (18)$$

Đối với miền chất lỏng, áp dụng lý thuyết Green loại II chuyển đổi từ tích phân miền về tích phân biên, biểu thức của hàm trọng số được viết lại như sau

$$\iiint_{V-V_s} (\phi \nabla^2 G - G \nabla^2 \phi) dV = \iint_S \left( \phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \iint_{S_s} \left( \phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS \quad (19)$$

Nghiệm của công thức Laplace được xác định trong một vùng vô hạn, cho một điểm nguồn của đơn vị lực, được gọi là nghiệm cơ bản hoặc vùng tự do của hàm Green. Đối với miền chất lỏng xem là lý tưởng, nghiệm cơ bản của bài toán 3D phải có dạng đối xứng hình cầu. Về mặt toán học, có thể được định nghĩa như một hàm vô hướng G và thỏa phương trình Laplace ở tất cả các điểm ngoại trừ điểm P (điểm nguồn).

$$G(P, Q) = \frac{1}{4\pi R} + \tilde{G} \quad (20)$$

trong đó  $\tilde{G}$  thỏa phương trình Laplace,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ là bán kính Euler.}$$

Thay (20) vào (19) cho ta

$$\iint_S \left( G \frac{\partial \phi}{\partial n} - \phi \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \begin{cases} \frac{1}{2} \phi, & x \in S \\ \phi, & x \notin S, x \in \Omega \end{cases} = 0 \quad (21)$$

Để áp dụng phương pháp phần tử biên cho bài toán hydroelastic, nghiệm cơ sở thỏa mãn phương trình (22)

được sử dụng như là hàm Green cho mô hình

$$\nabla^2 G = \delta(x-\xi)(y-\eta)(z-\zeta) \quad (22)$$

Hàm Green thỏa mãn phương trình trên có dạng như sau

$$G = \frac{1}{4\pi R} + \tilde{G} \quad (23)$$

$$R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2} \quad (24)$$

Với R là khoảng cách từ điểm áp đặt hàm Diract's delta (x, y, z) lên bất kỳ điểm khảo sát (ξ, η, ζ).

Phương trình tích phân biên của mô hình được viết dưới dạng như sau:

$$\int_{SB} \left( -\phi \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{SF} \left( -\frac{1}{g} G(\phi^n) - \phi \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{SHB} \left( G(w') - \phi \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \frac{1}{2} \phi(x, z) = 0 \quad (25)$$

Miền biên được giả thuyết rời rạc N phần tử chữ nhật hằng. Giá trị của hàm thế và đạo hàm của nó được giả thiết là không đổi trên mỗi phần tử và bằng giá trị tại tâm của phần tử. Phương trình được đưa về dạng rời rạc cùng với các điều kiện biên.

$$\frac{1}{2} \phi(x, y, z) + \sum_{j=1}^N \left( \int \frac{\partial G}{\partial n}(z, y, z, \xi, \eta, \zeta) \right) d\Gamma_j \phi_j = \sum_{j=1}^N \left( \int G(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) \right) d\Gamma_j \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \quad (26), (27)$$

Với Γ<sub>j</sub> là biên phần tử thứ j  
Biên đáy biển Γ<sub>b</sub>, biên nhiều xạ Γ<sub>so</sub>, biên mặt thoáng Γ<sub>f</sub> và biên kết cấu Γ<sub>sh</sub> được đánh số lần lượt là 1, 2, 3 và 4.  
Phương trình tích phân biên được giải bằng phương pháp thế và được viết lại như bên dưới

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \phi_1(x, y, z) + \sum_{j=1}^N H_{1j} \phi_j = \sum_{j=1}^N \frac{G_{1j} \partial \phi_j}{\partial n} \\ \dots + \dots = \dots \\ \frac{1}{2} \phi_N(x, y, z) + \sum_{j=1}^N H_{Nj} \phi_j = \sum_{j=1}^N \frac{G_{Nj} \partial \phi_j}{\partial n} \end{cases} \quad (28)$$

với:

$$G_{ij} = \int_{S_n} (G) dS \quad (29)$$

$$H_{ij} = \int_{S_n} \left( \frac{\partial G}{\partial z} \right) dS = KG_{ij} \quad (29)$$

Phương trình được viết dưới dạng ma trận HΦ = Gq

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\Phi = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \Phi_3 \quad \Phi_4]^T \quad (33)$$

trong đó  $q = \frac{\partial \Phi}{\partial n}$

Hệ phương trình chuyển động của kết cấu tấm – nước cho như bên dưới:

$$M\ddot{w} + C\dot{w} + Kw = F + \rho L_2 \ddot{\phi} \quad (34)$$

$$H\Phi = G \frac{\partial \Phi}{\partial n} \quad (36)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (37)$$

Với M, K, C lần lượt là ma trận khối lượng, cản và độ cứng tổng thể, w là véctơ chuyển vị nút tổng thể, L<sub>2</sub> là ma trận chuyển đổi tải trọng phân bố đều trên mỗi panel thành các lực tập trung tại nút, F là véctơ tải trọng nút do hoạt tải bên trên tấm gây ra.

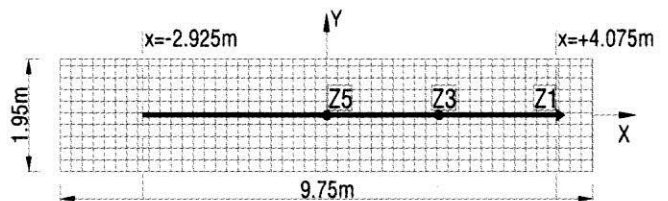
3. Ví dụ số

3.1. Kiểm chứng mô hình tấm chịu tải di động

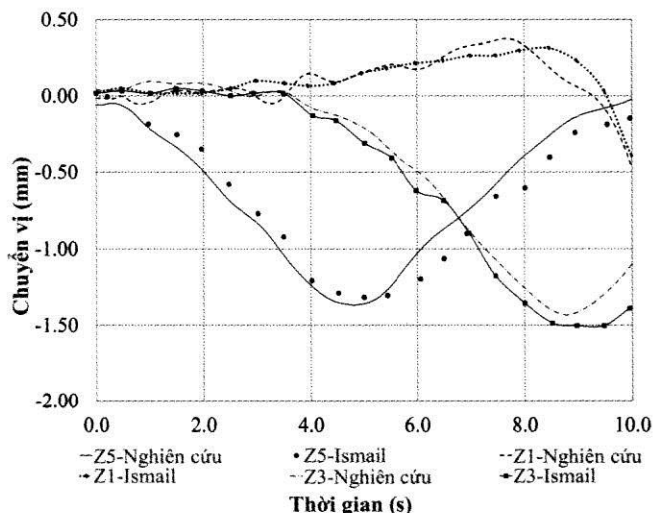
Trong phần này, tấm nổi được phân tích không kể đến ảnh hưởng của hệ neo và kết quả phân tích được so sánh với kết quả của Ismail .

Bảng 1. Bảng thông số kết cấu tấm theo mô hình của Ismail

Thông số	Giá trị
Độ cứng uốn	17.53 kNm <sup>2</sup>
Modul đàn hồi	6.66 × 10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup>
Hệ số Poisson	0.3
Khối lượng riêng tương đương	0.256 T/m <sup>3</sup>
Độ sâu của biển	1.9 m
Khối lượng của xe	0.069 kN
Vận tốc	0.61 m/s
Chiều dày tấm	0.053m
Phần chìm trong nước	0.0163m



Hình 4. Kích thước tấm dùng kiểm chứng thí nghiệm của Ismail [7]



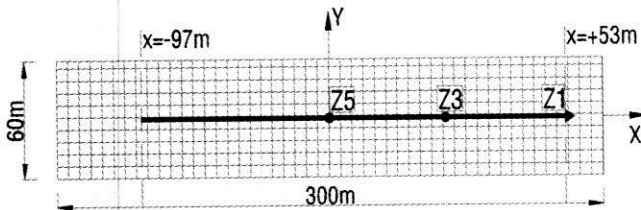
Hình 5. So sánh chuyển vị tấm của chương trình BEM-FEM và nghiên cứu của Ismail

**3.2. Phân tích ứng xử tấm có neo khi thay đổi vận tốc**

Thông số của tấm khảo sát được tham khảo trong nghiên cứu của Endo và được trình bày như Bảng 2.

**Bảng 2.** Thông số tấm theo Endo

Thông số hình học	Giá trị
Chiều dày của tấm VLFSS	2 m
Modul đàn hồi	$1.195 \times 10^7$ kN/m <sup>2</sup>
Độ cứng tương đương	$4.78 \times 10^8$ kNm
Hệ số Poisson	$\nu = 0.13$
Khối lượng riêng tương đương	$0.256$ T/m <sup>3</sup>
Độ sâu đáy biển	58.5 m
Khối lượng của xe	30 kN
Vận tốc khảo sát	10 m/s
Phản chìm trong nước	0.5 m
Độ cứng neo khảo sát	$1.9 \times 10^4$ kN/m

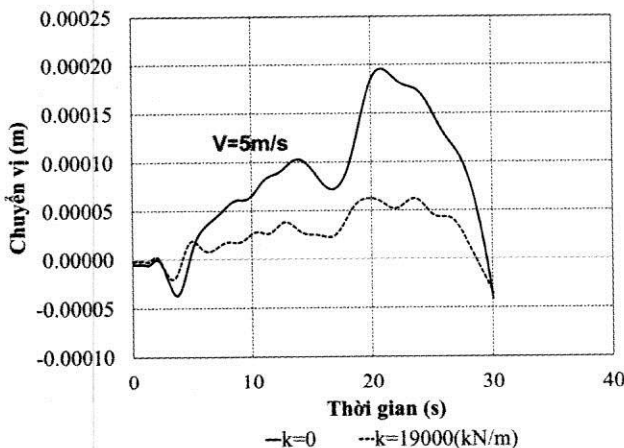


**Hình 6.** Kích thước tấm khảo sát theo mô hình của Endo

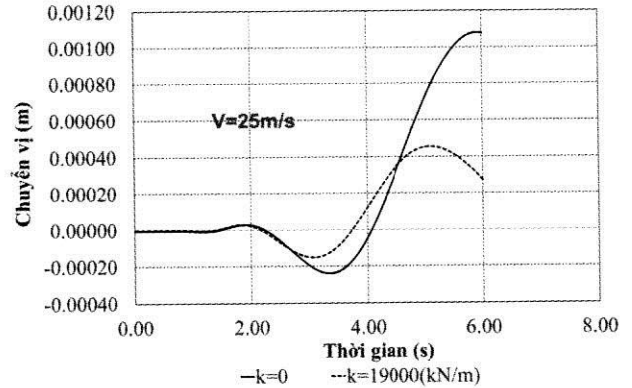
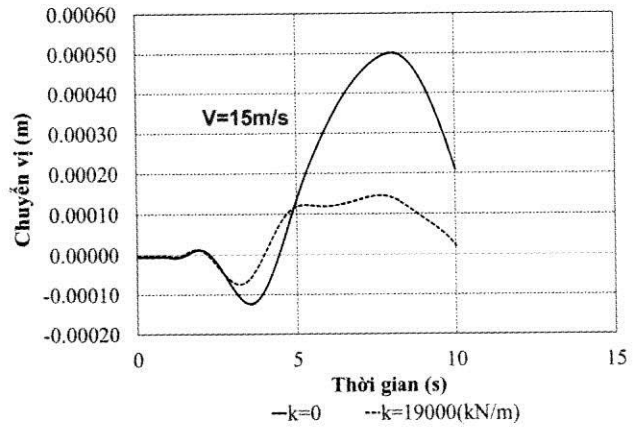
Từ ứng xử tấm không neo khi thay đổi vận tốc tải trọng tham khảo trong nghiên cứu của Takizawa, ứng xử tấm khi có hệ neo được khảo sát với các vận tốc khác nhau. Thông số kích thước tấm được lấy như Bảng 2. Vị trí neo khảo sát trong bài toán này được bố trí tại cuối tấm.

Dựa vào thông số của bài toán, dựa trên nghiên cứu của Takizawa [14] vận tốc giới hạn tính được như sau  $V_c = 22.6$ m/s. Khảo sát bài toán với các vận tốc tải trọng tăng dần từ  $V=5$ m/s 25m/s với bước tăng vận tốc mỗi lần là 10m/s.

Từ kết quả trên Hình 7 cho thấy rằng khi vận tốc tăng dần, tùy vào giá trị vận tốc mà tấm có ứng xử khác nhau. Khi vận tốc tải trọng di động có giá trị lân cận giá trị vận tốc giới hạn, bề rộng vùng lõm của tấm giảm, vùng ảnh hưởng của neo lên tấm giảm, dẫn đến hệ neo



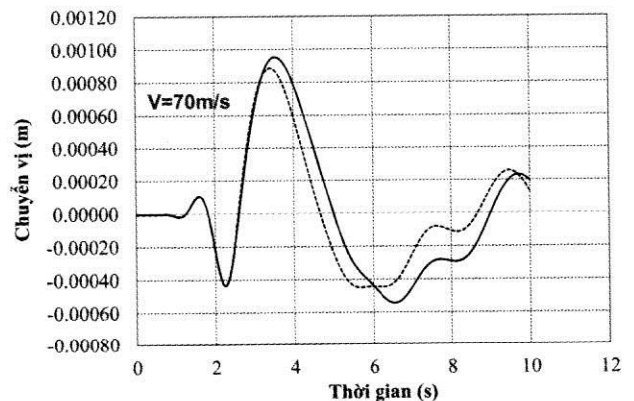
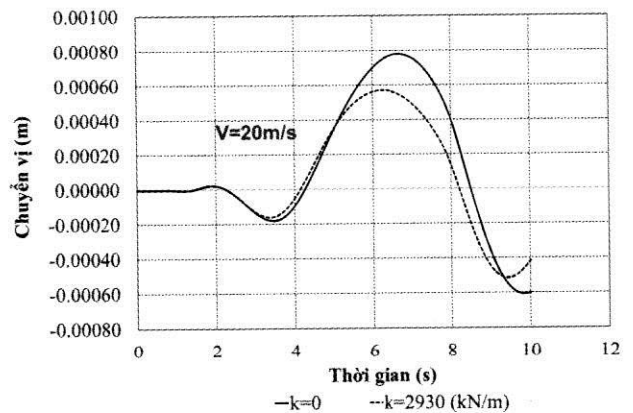
**Hình 7.** Chuyển vị điểm Z1 khi thay đổi vận tốc



**Hình 7.** Chuyển vị điểm Z1 khi thay đổi vận tốc

chỉ ảnh hưởng đến các điểm nằm lân cận vị trí bố trí neo.

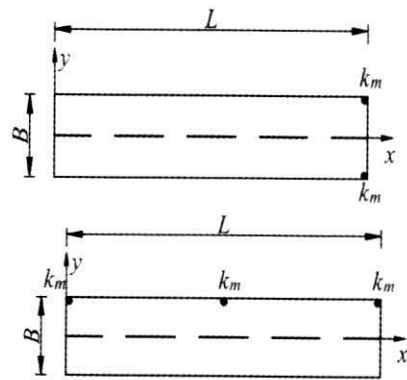
Do sau khi tải trọng ngừng tác dụng lên tấm, tấm vẫn dao động một thời gian rồi mới ngừng lại nên ứng xử của



**Hình 8.** Chuyển vị điểm Z1 khi phân tích với cùng 1 khoảng thời gian

tấm trong cùng một khoảng thời gian tác động là  $t=10s$  với 2 cấp vận tốc là  $V = 20m/s$  và  $70m/ss$  tiếp tục được khảo sát.

Từ Hình 7 rút ra kết luận sau khi tải trọng di động ngừng tác dụng, phần nước vẫn tiếp tục chuyển động về phía trước, tương tác với hệ neo sinh ra sóng phản xạ ngược chiều chuyển động. Dẫn đến làm thay đổi chuyển vị của tấm.

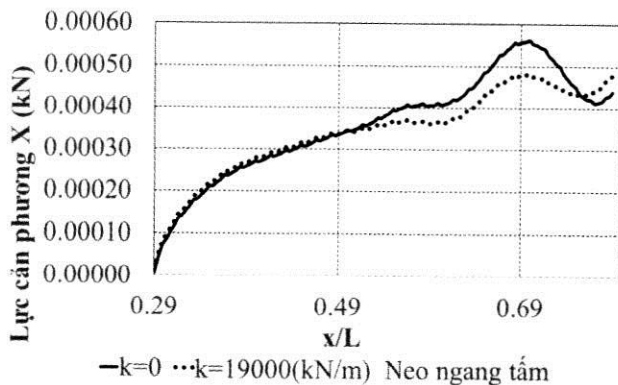


Hình 9. Hai mô hình khảo sát ảnh hưởng của vị trí neo lên tấm

### 3.3. Phân tích ứng xử tấm có neo thay đổi vị trí neo

Để phân tích ảnh hưởng của vị trí bố trí hệ neo lên ứng xử của tấm, ảnh hưởng của lực cản lên tấm với hai trường hợp neo như Hình 8 với các cấp vận

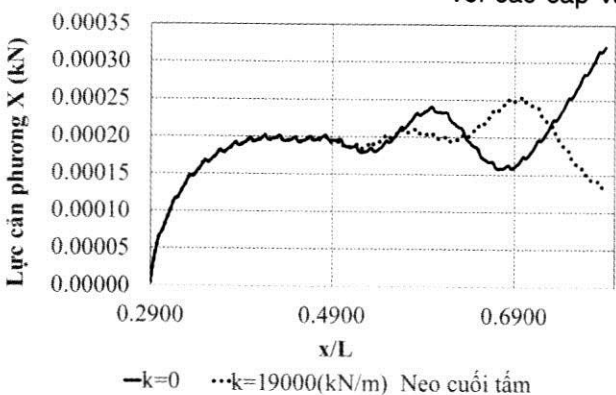
tốc  $V=21; 34m/s$  tương ứng với vận tốc giới hạn của tấm  $V_c=22.6m/s$  sẽ được phân tích. Độ cứng neo khảo sát được tham khảo trong nghiên cứu của Nguyen và lấy  $k = 1.9 \times 10^4 kN/m$ .



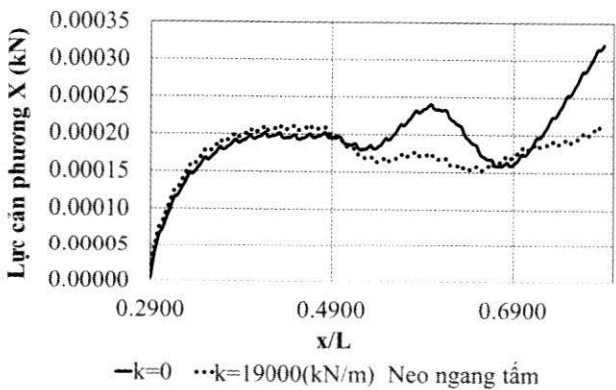
Hình 11. Lực cản tấm khi vận tốc  $V = 34 m/s$

Từ kết quả lực cản của tấm khi bố trí hệ neo đàn hồi theo hai sơ đồ khảo sát, khi bố trí hệ neo theo phương ngang tấm có xu hướng giảm lực cản lên tấm khi vận tốc nhỏ hơn vận tốc giới hạn và trên toàn bộ đường đi chuyển của tải trọng. Khi vận tốc lớn hơn vận tốc giới hạn thì hệ neo theo phương ngang chỉ thay đổi lực cản khi hệ neo nằm trong bề rộng vùng ảnh hưởng của tải trọng. Nếu hệ neo bố trí cuối tấm thì lực cản chỉ giảm khi hệ neo nằm trong bề rộng ảnh hưởng. Ngoài ra do hệ neo bố trí cuối tấm nên có thời điểm lực cản gia tăng, làm ảnh hưởng đến chuyển động của tải trọng.

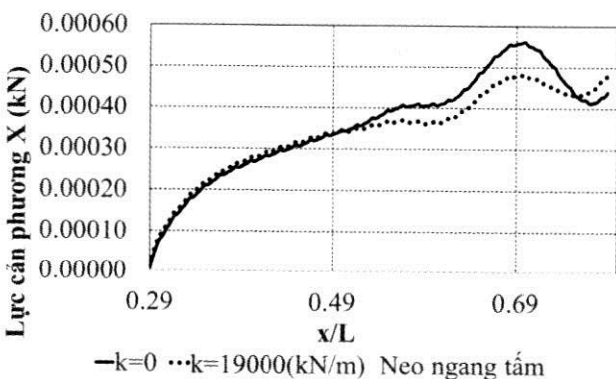
Để xem xét rõ hơn về vị trí vùng lõm của tấm, ta phân tích chuyển vị tấm tại một số thời điểm tải trọng đặt trên tấm. Ứng xử tấm được thể hiện từ Hình 11 đến Hình 12.



—k=0 ...k=19000(kN/m) Neo cuối tấm

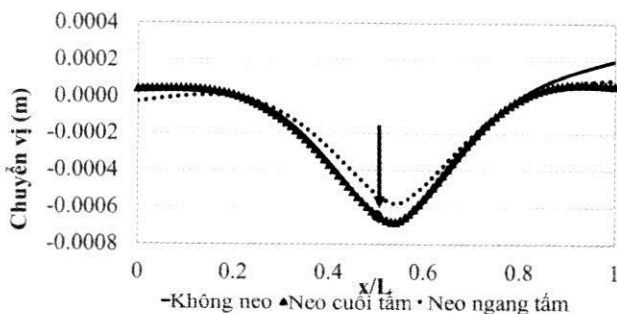


—k=0 ...k=19000(kN/m) Neo ngang tấm

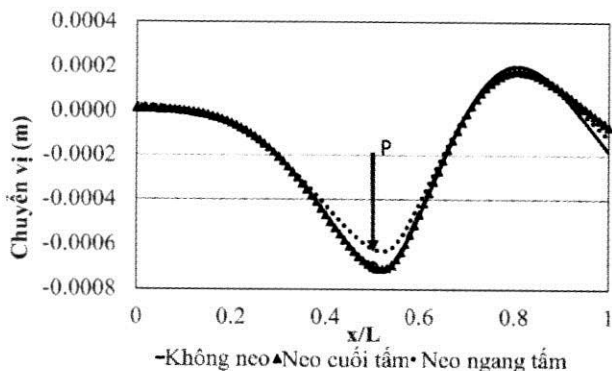


—k=0 ...k=19000(kN/m) Neo ngang tấm

Hình 10. Lực cản tấm khi vận tốc  $V = 21 m/s$



Hình 12. Chuyển vị tấm khi tải trọng di chuyển đến giữa tấm với  $V=10 m/s$



Hình 13. Chuyển vị tấm khi tải trọng di chuyển đến giữa tấm với  $V=21 m/s$

Từ kết quả khảo sát trên Hình 11 và Hình 12 cho thấy khi vận tốc tải di động nhỏ, vị trí sâu nhất của vùng lõm

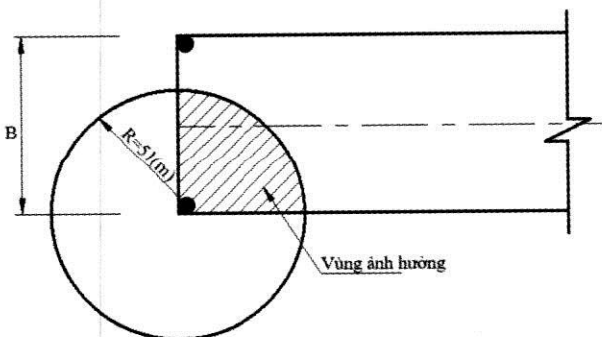
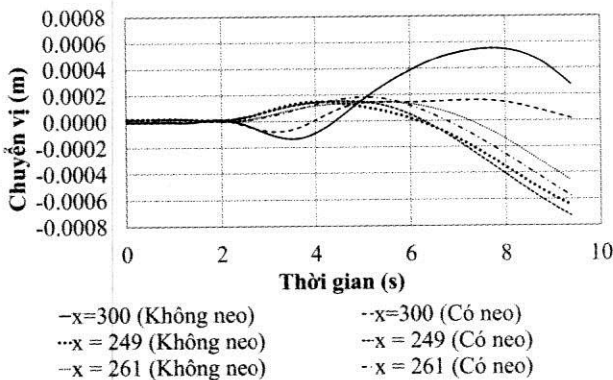
nằm ở trước tải trọng. Tuy nhiên khi vận tốc tải trọng tăng vượt giá trị vận tốc giới hạn, do ảnh hưởng của sóng phản xạ làm tấm có xu hướng bị nảy lên, dẫn đến bề rộng vùng lõm tăng lên và vị trí sâu nhất nằm sau vị trí tải trọng.

Để xem xét khoảng ảnh hưởng của hệ neo lên tấm, tác giả khảo sát chuyển vị của nhiều điểm khác nhau và so sánh giữa hai trường hợp có và không xét đến hệ neo.

**Bảng 3.** Bảng so sánh chuyển vị của tấm khi xét đến hệ neo

Vị trí	Hệ không neo	Hệ neo cuối tấm	Chênh lệch (%)
$x = 249$ m	-0.7198	-0.7470	3.77%
$x = 261$ m	-0.5907	-0.6209	5.11%
$x = 300$ m	0.29	0.0979	66.2%

Từ kết quả so sánh chuyển vị tại các điểm, với độ cứng  $k=1.910 \cdot 10^6$  kN/m thì bán kính ảnh hưởng của hệ neo là  $R=51$ m. Hình 13 cho thấy rằng bán kính ảnh hưởng của hệ neo lên tấm. Vì thế để tăng ảnh hưởng của hệ neo lên tấm có thể tăng độ cứng hệ neo hoặc tăng thêm số hệ neo để đạt được kết quả tốt nhất



**Hình 14.** Khảo sát chuyển vị các vị trí và bán kính ảnh hưởng của hệ neo

**3.4. Phân tích ứng xử tấm khi thay đổi độ cứng hệ neo**

Trong phần này sẽ tập trung khảo sát các độ cứng của hệ neo tấm để tìm ra độ cứng liên kết đàn hồi tối ưu cho tấm. Trong bài toán này vị trí neo nằm ở cuối tấm được xem xét. Phương pháp thử dần được áp dụng với nhiều bước độ cứng  $k$  khác nhau. Khi chuyển vị tấm giữa các độ cứng hệ neo không thay đổi nhiều được xem như đó là giá trị độ cứng tối ưu của tấm.

**Bảng 4.** Kết quả khảo sát chuyển vị

Độ cứng khảo sát (kN/m)	Chuyển vị Z3 (mm)	Chênh lệch so với độ cứng $k=10^7$ kN/m
$k = 1.2 \times 10^5$	0.1574	2.44
$k = 3 \times 10^5$	0.1552	1.06
$k = 6 \times 10^5$	0.1544	0.53
$k = 9 \times 10^5$	0.1541	0.35
$k = 1 \times 10^6$	0.1541	0.31
$k = 2 \times 10^6$	0.1540	0.28
$k = 3 \times 10^6$	0.1540	0.24
$k = 4 \times 10^6$	0.1539	0.21
$k = 5 \times 10^6$	0.1539	0.17
$k = 6 \times 10^6$	0.1538	0.14
$k = 7 \times 10^6$	0.1538	0.10
$k = 8 \times 10^6$	0.1537	0.07
$k = 9 \times 10^6$	0.1537	0.03
$k = 1 \times 10^7$	0.1536	-

**3. Kết luận**

Mô hình dùng phân tích trong nghiên cứu đã phản ánh đúng sự làm việc thực tế của kết cấu tấm nổi khi có xét đến hệ neo đàn hồi. Mô hình này đảm bảo độ tin cậy, sự chính xác và hợp lý trong việc xác định ứng xử động lực học của kết cấu tấm nổi liên kết đàn hồi với đáy biển chịu tải trọng di động. Nghiên cứu đã làm rõ ảnh hưởng của hệ neo đến ứng xử động lực học của kết cấu tấm nổi khi thay đổi các đặc trưng của tấm. Từ đó đưa ra hướng giải quyết giảm dao động của hệ tấm nổi khi sử dụng kết cấu neo giữ. □

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG TP.HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T-KTXD-2020-24: “Ảnh hưởng liên kết đàn hồi trong phân tích động lực học tấm nổi chịu tải trọng động”.

**Tài liệu tham khảo**

1. C. M. Wang, Zhi Yung Tay, (2011), “Very Large Floating Structures: Applications, Research and Development”, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction.
2. Cheng Y., Zhai. G.J, and Ou, (2014), “Direct time domain numerical analysis of transient behavior of a VLFS during unsteady external loads in waves condition”, Abstract and Applied Analysis, pp. 1-17.
3. H. Endo, K. Yago, (1998), “Time history response of a large floating structure subjected to dynamic load”, J Soc Naval Arch Jpn, 186, pp. 369-376.
4. H.P Nguyen, J. Dai, C.M. Wang, V.H. Luong, (2018), “Reducing hydroelastic responses of pontoon-type VLFS using vertical elastic mooring lines”, Marine Structures, 59, pp. 251-270.
5. Hamamoto .T, Suzuki .A, and Fujita .K, (1997), “Hybrid dynamic analysis of large tension legfloating structures using plate elements”, Proceedings of 7th International Offshore and Polar Engineering Conference Honolulu 1, pp. 285-292.
6. Hishayoshi Endo, (2000), “The behavior of a VLFS and an airplane during takeoff/landing in wave condition”, Marine Structures 13, pp. 477-491.

*(Xem tiếp trang 72)*