

---

# HƯỚNG DẪN PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH BIỂN

## A GUIDE OF ANALYSIS AND DESIGN OCEAN ENGINEERING

KS. PHẠM VĂN SỸ  
Khoa Công trình thủy, Trường ĐHHH

### Tóm tắt

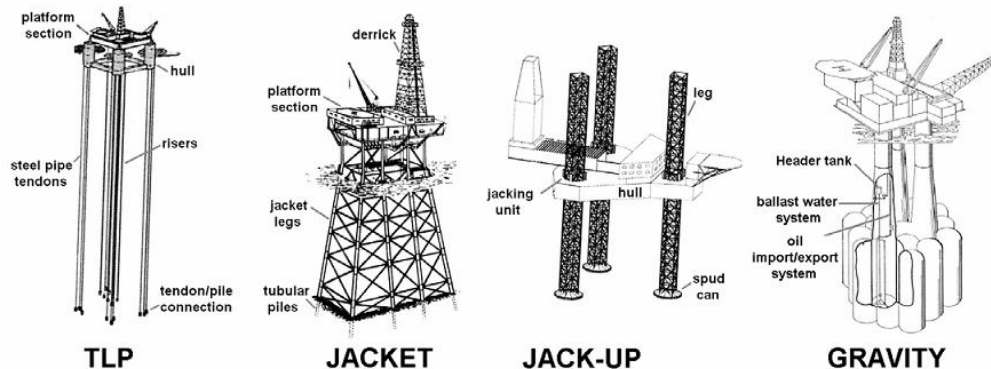
Bài báo này cung cấp một cái nhìn tổng quan về một số các yếu tố quan trọng trong phân tích, thiết kế công trình biển của kỹ sư công trình biển. Bài báo nêu một số lý thuyết sóng cho các khu nước khác nhau, sự ảnh hưởng qua lại lẫn nhau của chất môi trường nước và kết cấu công trình để tìm ra giá trị cực trị từ phương pháp phổ.

### Abstract

This paper provides a broad overview of some of the key factors in the analysis and design of offshore structures to be considered by an engineer uninitiated in the field of offshore engineering. Topics covered range from water wave theories, structure-fluid interaction in waves to the prediction of extreme values of response from spectral modeling approaches

## 1. Giới thiệu

Phân tích, thiết kế và thi công công trình Biển là một trong những nhiệm vụ được thực hiện bởi các kỹ sư có kinh nghiệm. Trong thiết kế ngoài những điều kiện và những tình huống như những công trình trên đất liền, người kỹ sư công trình Biển còn phải xác định thêm điều kiện môi trường tại khu vực xây dựng công trình như tương giữa nước biển với công trình, động học là một trong những yếu tố quan trọng trong thiết kế công trình. Hơn nữa, công trình Biển có nhiều dạng kết cấu như Tension Leg Platform thiết kế ở cho vùng nước sâu, một số các công trình truyền thống như giàn thép, sàn tự nâng và công trình biển trọng lực.



Hình 1.

## 2. Thủy lực và lý thuyết sóng

Thủy lực học là nghiên cứu về chuyển động của nước. Trong nội dung nghiên cứu của môi trường công trình Biển, còn quan tâm đến độ mặn của nước biển. Chuyển động của những hạt nước (động học của hạt nước) bắt nguồn từ một số những điều kiện khác nhau bao gồm sự thay đổi chậm của dòng chảy từ sự nhiễu ảnh hưởng của thủy triều, từ ảnh hưởng của nhiệt độ và những giao động từ sóng được tạo bởi gió.

Các thông số của dòng chảy và sóng phụ thuộc rất nhiều vào khu vực, những giá trị nguy hiểm được sử dụng để thiết kế công trình biển.

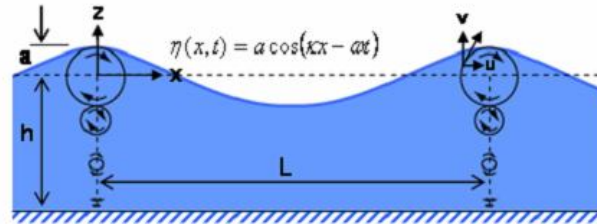
Địa hình đáy biển cũng ảnh hưởng đến động học của các hạt nước như sự thay đổi chiều sâu từ khu vực sâu hơn đến khu vực nông hơn, ảnh hưởng này được biết đến như hiệu ứng nước nông, một giả thiết có ý nghĩa quan trọng đối với kỹ thuật công trình ven biển. Đối với khu nước có chiều sâu khu nước lớn hơn một nửa bước sóng được coi là khu nước sâu, với khu nước này địa hình đáy biển được coi là ảnh hưởng ít đến động học của hạt nước.

Một số lý thuyết sóng đã được phát triển để miêu tả động học hạt nước kết hợp với sóng biển thay đổi theo mức độ phức tạp của bài toán và mức độ chấp nhận được trong cộng đồng kỹ sư công trình Biển. Trong số đó có lý thuyết sóng tuyến tính Airy, sóng Stocks bậc hai và cao hơn, lý thuyết sóng Cnoidal.

Trạng thái biển thực kết hợp với điều kiện bão trong môi trường biển thường được mô tả như là một tập hợp sóng Airy có biên độ, bước sóng thay đổi. Do đó việc nghiên cứu lý thuyết sóng Airy không chỉ là một lý thuyết sóng đơn giản nhất mà còn có vai trò trong mô phỏng các đặc trưng của trạng thái biển thực.

Lý thuyết sóng Airy.

Sóng Airy là sóng tuyến tính, cao độ bề mặt của sóng có biên độ tại thời điểm bất kỳ tại vị trí nằm ngang theo phương X theo phương di chuyển của sóng, được ký hiệu là  $\eta(x,t)$ .



Hình 2.

$$\eta(x,t) = a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1)$$

Trong đó:  $k=2 \cdot \pi/L$  : là số sóng ;  $L$  : Chiều dài sóng ;  $\omega=2 \cdot \pi/T$  : tần số góc ;  $T$  : Chu kỳ sóng.

Vận tốc sóng theo phương dọc và phương ngang tại vị trí bất kỳ so với mặt nước lặng được xác định bởi công thức sau :

$$u(x,t) = \frac{a \cdot \omega \cdot \cosh(k \cdot (z + h))}{\sinh k \cdot h} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$v(x,t) = \frac{a \cdot \omega \cdot \sinh(k \cdot (z + h))}{\sinh k \cdot h} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Ta có quan hệ giữa số sóng với tần số góc theo công thức sau.

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh k \cdot h$$

Trong đó;  $g$ : là gia tốc trọng trường lấy bằng  $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ .

Gia tốc sóng theo phương ngang được xác định bằng cách đạo hàm theo thời gian của hàm vận tốc sóng.

$$\dot{u}(x,t) = \frac{a \cdot \omega^2 \cdot \cosh(k \cdot (z + h))}{\sinh k \cdot h} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Các công thức trên là công thức tính trong điều kiện nước nông, trong điều kiện nước sâu các công thức trên được viết lại như sau:

$$u(x,t) = a \cdot \omega \cdot e^{kz} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$v(x,t) = a \cdot \omega \cdot e^{kz} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\omega^2 = g \cdot k$$

$$\dot{u}(x,t) = a \cdot \omega^2 \cdot e^{kz} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

### 2.1. Lý thuyết sóng phi tuyến

Có một số lý thuyết sóng phi tuyến đã được đề cập để làm giảm những hạn chế của lý thuyết sóng Airy. Trong số đó, đáng chú ý nhất là lý thuyết sóng Stock bậc 2 và cao hơn, lý thuyết sóng Cnoidal.

Năm 1970 một lý thuyết sóng được gọi là “kéo giãn” được giới thiệu bởi Wheeler, cũng như tên gọi của lý thuyết, nó sử dụng kết quả của lý thuyết sóng Airy với giả thiết biên độ sóng là nhỏ, để thành lập lên biểu đồ kết quả những vùng hữu hạn các mức cao độ từ vị trí đáy biển so với vị trí hiện tại, chủ yếu là thay “z” bằng “z/(1+n/h)” trong phương trình của lý thuyết sóng Airy.

Le Mehaute (1969) cung cấp một biểu đồ chi tiết áp dụng của lý thuyết sóng khác nhau bằng cách sử dụng độ dốc sóng so với thông số độ sâu trong các mô tả của ông, thể hiện như hình dưới. (Các biểu tượng cho độ sâu của nước được lấy làm d thay vì h để được nhất quán.)

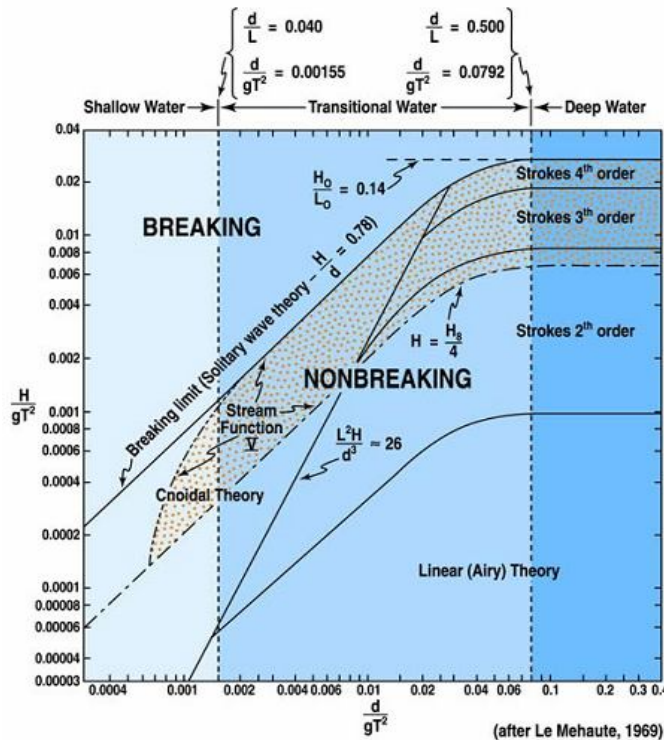
### 2.2. Lý thuyết sóng thực

Sóng biển chủ yếu được tạo bởi gió mặc dù các đặc tính của chúng xuất hiện bất thường, nhưng các đặc trưng này có đặc điểm phụ thuộc vào tần số phù hợp với một dạng phổ.

Pierson và Moskowitz (1964), đã đề xuất một dạng phổ cho một tập hợp các dữ liệu đầy đủ thu được ở biển Đại tây dương.

$$S(\omega) = \frac{a \cdot g^2}{\omega^5} \cdot e^{-\beta \cdot \left(\frac{\omega^4}{g}\right)}$$

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , f: tần số sóng,  $a = 8,1 \cdot 10^3$ ,  $\beta = 0,74$ ,  $\omega_0 = g/U_{19,5}$ ,  $U_{19,5}$ : vận tốc gió ở độ cao 19,5m so với mực nước biển.



Hình 3.

## 3. Tải trọng tác dụng lên công trình

### 3.1. Tải trọng sóng

Tải trọng sóng tác dụng lên các phần tử của công trình Biển phụ thuộc vào hình dạng của phần tử (kích thước của phần tử quan hệ với chiều dài sóng và phương lan truyền sóng), các điều kiện thủy lực, liên kết của các phần tử. Một cấu kiện được coi là lớn khi ta so sánh tỷ số  $D/L > 0,2$

(D: đường kính phần tử, L bước sóng) thì phần tử đó được xác định theo lý thuyết sóng nhiễu xạ, còn ngược lại các phần tử được coi là đủ nhỏ thì xác định theo công thức Morison.

### 3.1.1. Phương trình Morison

Lực phân bố trên một đơn vị  $f(z,t)$  của một thanh hình trụ, thẳng đứng liên kết cứng được xác định theo công thức Morison như sau.

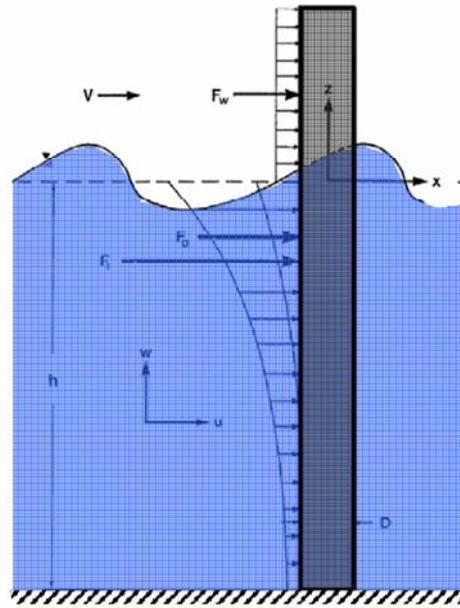
$$f(z,t) = fI(z,t) + fD(z,t)$$

Trong đó

$$fI(z,t) = \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot C_M \cdot D^2 \cdot \dot{u}(z,t)$$

$$fD(z,t) = 0,5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot u(z,t) \cdot |u(z,t)|$$

Trong đó:  $\rho$ : Trọng lượng riêng nước biển, D đường kính của phần tử,  $C_M$ ,  $C_D$  là hệ số.



Hình 4.

Hệ số  $C_M$ ,  $C_D$  có thể tìm được dựa vào hệ số Reynold (Re) và số KeuleganCarpenter (KC) và biến số  $\beta$ .

$$KC = \frac{u_m \cdot T}{D}$$

$$\beta = \frac{Re}{KC}$$

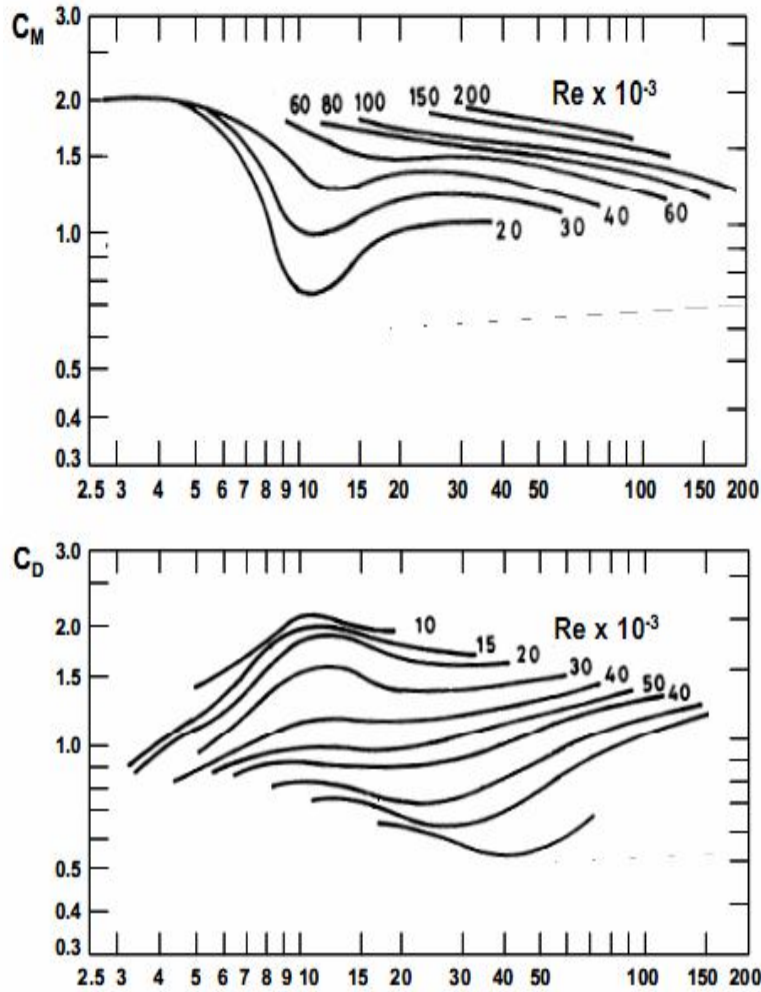
Trong đó:

$u_m$ : vận tốc nước lớn nhất.

Nếu ta có  $KC < 10$  thì lực quán tính chiếm ưu thế,  $10 < KC < 20$  cả lực quán tính và lực kéo chiếm ưu thế,  $KC > 20$  thì lực kéo chiếm ưu thế.

Sarpkaya's (1976) đã tiến hành thử nghiệm trên một thiết bị hình trụ nằm ngang trong một ống U kiểm soát dao động mực nước để thăm dò hệ số lực Morison đã được xuất bản. Từ những kết quả này cung cấp một chỉ dấu của các hệ số hiệu lực đối với KC và Re. Theo quy định của ngón tay cái, có thể nói rằng  $C_M$  giảm khi  $C_D$  tăng lên, và ngược lại, và cả hai giá trị nói chung nằm trong khoảng 0,8-2,0. Các hệ số lực kéo cũng bị ảnh hưởng bởi độ nhám trên các xi lanh. (Sự tăng

trường của Hà đặc biệt rắc rối trong vấn đề này vì nó không chỉ làm tăng đường kính hiệu quả của hình trụ, nhưng sự gia tăng thô ráp thường dẫn đến sự gia tăng kéo hệ số,  $C_D$ ).



Hình 5.

Phương trình Morison là một dạng cơ bản trong tính toán phần các công trình biển trên thế giới, nên quan trọng với kỹ sư công trình biển là hiểu và dùng phương trình này.

### 3.1.2. Tải trọng sóng nâng

Tải trọng nâng có thể xuất hiện tác động lên các cấu kiện của công trình biển khi xuất hiện xoáy trong môi trường nước biển. Lực này thường kết hợp với lực cản trong khi hệ số  $KC > 12$  Tần số xoáy ( $n$ ) được xác định bởi số Strouhal ( $N_s$ ), giá trị của  $N_s$  phụ thuộc vào hình dạng của kết cấu và hệ số Reynol (thường thì giá trị này được lấy bằng 0,2 đối với trụ tròn khi hệ số Reynold thỏa mãn điều kiện.  $2.5 \times 10^2 < Re < 2.5 \times 10^5$ ) và được xác định bởi.

$$N_s = \frac{N \cdot D}{U_m}$$

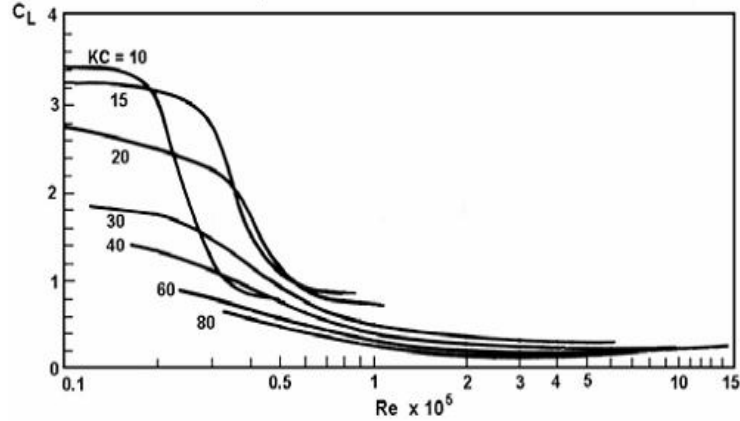
Với  $U_m$  là vận tốc sóng lớn nhất theo phương lan truyền sóng;  $D$ : đường kính cấu kiện.

Tải trọng sóng nâng trên một đơn vị chiều dài có thể được xác định theo công thức sau

$$fL = 0,5 \cdot \rho \cdot C_L \cdot D \cdot U \cdot |U|$$

Trong đó  $C_L$ : Hệ số lực nâng phụ thuộc vào điều kiện dòng chảy.

Sarpkaya's (1976), lại tiến hành thử nghiệm trong U-tube, điều khiển giao động của nước, và cũng cung cấp đầy đủ hệ số lực nâng, kết quả đó được thể hình như hình dưới.



Hình 6.

### 3.1.3. Tải trọng sóng nhiễu xạ

Tải trọng sóng nhiễu xạ xảy ra khi đường kính của cầu kiện so với chiều dài sóng lớn hơn 0,2 và có thể tìm được bằng cách kết hợp tải trọng phân bố tại thời điểm nguy hiểm với khả năng của sóng nhiễu xạ. Kết hợp với momen do áp lực phân bố tính tại điểm quay. Kết quả ta có công thức tính lực sóng nhiễu xạ và momen sóng nhiễu xạ.

$$F(t) = \frac{2 \cdot \rho \cdot g \cdot H}{K^2} \cdot A(k, a) \cdot \tanh(k \cdot h) \cdot \cos(\omega t - \alpha)$$

$$M(t) = \frac{2 \cdot \rho \cdot g \cdot H}{K^2} \cdot A(k, a) \cdot [k \cdot h \cdot \tanh(k \cdot h) + \operatorname{sech}(k \cdot h) - 1] \cdot \cos(\omega t - \alpha)$$

Trong đó.

$$A(k, a) = [J_1'^2(k, a) + Y_1'^2(ka)]^{0.5}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{J_1'(k, a)}{Y_1'(ka)} \right)$$

a: bán kính cầu kiện.

## 3.2. Lực tác động lên công trình trong điều kiện sóng thực

### 3.2.1. Lực quán tính

Công thức tính FI(t) được tính trong điều kiện tuyến tính nó không gây nhiều khó khăn khi mô hình trong điều kiện thủy lực thay đổi.

Trong điều kiện biển thực nó là một chuỗi Fourier của lý thuyết sóng Airy phù hợp với miêu tả của phổ sóng P-M. Vận tốc sóng được tính theo công thức sau

$$\dot{u}(z, t) = \sum_{n=0}^{N/2} \left( \frac{-\omega^2 \cdot \cosh(k_n \cdot (z + h))}{\sinh(k_n \cdot h)} \right) \sqrt{\frac{2 \cdot S_n(f)}{T}} \cos \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} - \phi_n \right)$$

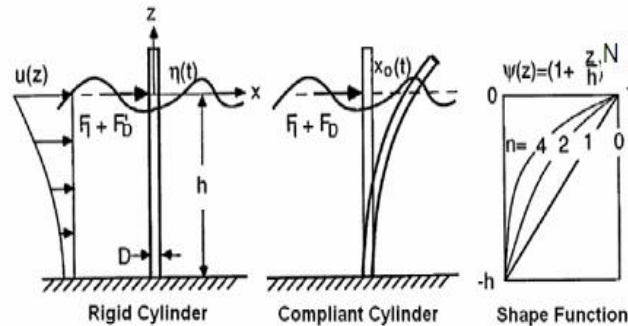
Lực quán tính được tính toán bằng công thức.

$$fI(z, t) = \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot C_M \cdot D^2 \cdot \sum_{n=0}^{N/2} (I_N(k_n, h)) \sqrt{\frac{2 \cdot S_n(f)}{T}} \cos \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} - \phi_n \right)$$

$$I_N(k_n, h) = I_o(k, h) - \frac{N}{kn \cdot h} \left( 1 - \frac{N-1}{kn \cdot h} I_{N-2}(kn, h) \right)$$

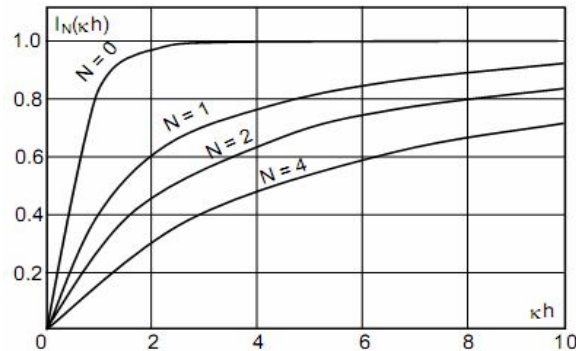
$$I_o(k, h) = \tanh(kn \cdot h)$$

$$I_1(k, h) = I_o(kn, h) - \frac{1}{kn \cdot h} \left( 1 - \frac{1}{\cosh(kn \cdot h)} \right)$$



Hình 7.

Hình dưới miêu tả sự thay đổi của  $I_N(kn \cdot h)$ , với  $N=0$  nó phù hợp với lực quán tính tác dụng lên một trụ liên kết cứng.



Hình 8.

Theo quan sát như trên hình ta thấy  $I_N(kh)$  gần tiến đến giá trị 1 và  $I_0(\pi)$  gần tiến đến giá trị của lý thuyết sóng Airy, với  $N>0$  thì  $I_N(kh)$  gần tiến đến 1 khi  $kh$  gần bằng  $\pi$ . Nói chung bậc  $N$  cao làm giảm lực gia tốc.

#### 4. Kết luận

Bài báo này cung cấp tổng quan về các yếu tố quan trọng trong phân tích và thiết kế công trình biển. Nhấn mạnh với mô hình thủy lực phù hợp với kết cấu thẳng đứng theo thuyết sóng Morison.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Văn Khôi, *Tuổi thọ môi kết cấu thép ngoài biển*.
- [2] PGS. TS. Vũ Uyên Dĩnh, *Môi trường biển tác động lên công trình*.
- [3] Vol 1 Subrarak K Chakrabarti, *Handbook of offshore engineering*.
- [4] Michael E. McCormick, *Ocean Engineering Mechanics with Application*.
- [5] Y. goda, *Random seas and design of maritime structures*.
- [6] Robert T. Hudspeth, *Waves and Wave Forces on Coastal and Ocean Structures*.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Trung