



## TÍNH TOÁN KẾT CẤU GIÀN KHOAN TỰ NÂNG 400ft CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT, ĐIỀU KIỆN ĐỘNG ĐẤT TẠI BIỂN NAM VIỆT NAM

**Đinh Quang Cường<sup>1\*</sup>, Trần Thành Long<sup>2</sup>, Hoàng Tiến Dũng<sup>2</sup>, Mai Văn Mạnh<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Giàn khoan tự nâng là dạng công trình lớn. Trong trạng thái vận hành thân giàn được nâng lên cao với khối lượng tập trung trên thân khá lớn. Đây là một bất lợi khi công trình chịu tải trọng động đất. Bài báo này đề xuất một sơ đồ khối các bước tính kết cấu công trình biển cố định bằng thép và áp dụng để tính kết cấu giàn khoan biển tự nâng - trong trạng thái khai thác - chịu tải trọng động đất. Các vấn đề trong bài báo giải quyết bao gồm: Mô hình hóa kết cấu, mô hình hóa các điều kiện biên, tính dao động riêng giàn khoan tự nâng, thiết lập phổ gia tốc nền theo tiêu chuẩn ISO 19901-2:2004, tính toán, kiểm tra bền kết cấu giàn khoan tự nâng. Các tính toán này được thực hiện trên giàn khoan tự nâng 400ft trong điều kiện cụ thể tại Việt Nam.

**Từ khóa:** Giàn khoan tự nâng 400ft; tải trọng động đất.

### Analyses of 400 ft jack up platform under earthquake load condition of South Vietnam sea

**Abstract:** Self-elevating unit is a type of floating marine structure with large dimensions. In operating condition, the hull is pulled up with relatively large concentrated mass. This is an unfavourable factor as the structure is subjected to earthquake loads. This article outlined a flow chart of steps for analyzing fixed steel marine structure and applying to calculate self-elevating structure subjected to earthquake load in operating condition. The issues are dealt with included: Structural modeling, modeling of boundary conditions, computing natural oscillation of self-elevating unit, establishing spectrum of ground acceleration according to ISO 19901-2:2004 standard, calculation and strength checking of self-elevating structure. All calculations are carried out on 400ft self-elevating unit in specific sea condition of Vietnam.

**Keywords:** Self-elevating unit; seismic loads.

Nhận ngày 31/08/2017; sửa xong 20/9/2017; chấp nhận đăng 26/9/2017

Received: August 31<sup>th</sup>, 2017; revised: September 20<sup>th</sup>, 2017; accepted: September 26<sup>th</sup>, 2017



### 1. Giới thiệu chung về giàn khoan tự nâng 400 ft

Xu hướng khai thác dầu khí của Việt Nam và thế giới đang trong giai đoạn tiến ra biển xa hơn, thăm dò và khai thác dầu khí trong những điều kiện phức tạp hơn. Giàn khoan tự nâng với sự linh hoạt của nó đã và đang là một trong những lựa chọn hiệu quả cho xu hướng này. Giàn khoan tự nâng 400ft (Hình 1) có khối lượng khá lớn (khoảng 18000 tấn), bao gồm các kết cấu chính: thân, chân, khối nhà ở, sân bay, cụm tháp khoan và nhiều thiết bị công nghệ phục vụ công tác khoan thăm dò và phục vụ các hoạt động nâng, hạ, di chuyển giàn khoan tự nâng.

Một số thông số chính của giàn khoan tự nâng 400ft như sau. Giàn khoan tự nâng 400ft có



**Hình 1.** Hình ảnh thực tế của kết cấu giàn tự nâng 400 ft

<sup>1</sup> PGS.TS, Viện Xây dựng Công trình biển. Trường Đại học Xây dựng.

<sup>2</sup> KS, Viện Xây dựng Công trình biển. Trường Đại học Xây dựng.

\*Tác giả chính. E-mail: cuongdq.vctb@gmail.com.



khả năng hoạt động trong vùng biển sâu tối đa 400ft (~120m nước), với độ cao nâng thân tối đa 132m (kể từ mặt đáy biển); Giếng khoan sâu nhất có thể đạt 9000m; Khả năng chất tải tới 2.995 tấn - bao gồm các thiết bị và các khối lượng dằn để phục vụ mục đích nâng, hạ giàn khoan và dằn phục vụ bài toán ổn định khi di chuyển; Tổng khối lượng thân giàn là 10.000 tấn, tổng khối lượng giàn khoảng 18.000 tấn.

**2. Bài toán động lực học giàn khoan tự nâng chịu tải trọng động đất**

Khi nền đất chuyển động do động đất, phần gối đỡ của hệ kết cấu gắn với mặt đất cũng dao động cưỡng bức theo với gia tốc bằng gia tốc nền và gây lên lực quán tính. Phương trình (1) là phương trình động lực học tổng quát của hệ nhiều bậc tự do chịu tác động động đất [1].

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -Mr\ddot{u}_g(t) \tag{1}$$

trong đó: Các ma trận  $M$  là ma trận khối lượng tổng thể của kết cấu (bao gồm cả khối lượng hà bám và khối lượng nước kèm);  $C$  là ma trận cản của hệ thống kết cấu;  $K$  là ma trận độ cứng của hệ thống kết cấu;  $\ddot{u}(t)$  là vector gia tốc;  $\dot{u}(t)$  là vector vận tốc;  $u(t)$  là chuyển vị của phần ứng kết cấu;  $\ddot{u}_g(t)$  là vector gia tốc nền hay là đạo hàm bậc hai của chuyển vị đất nền do động đất gây ra;  $r$  là vector cosin chỉ phương góc giữa chuyển vị đất nền và hướng chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể.

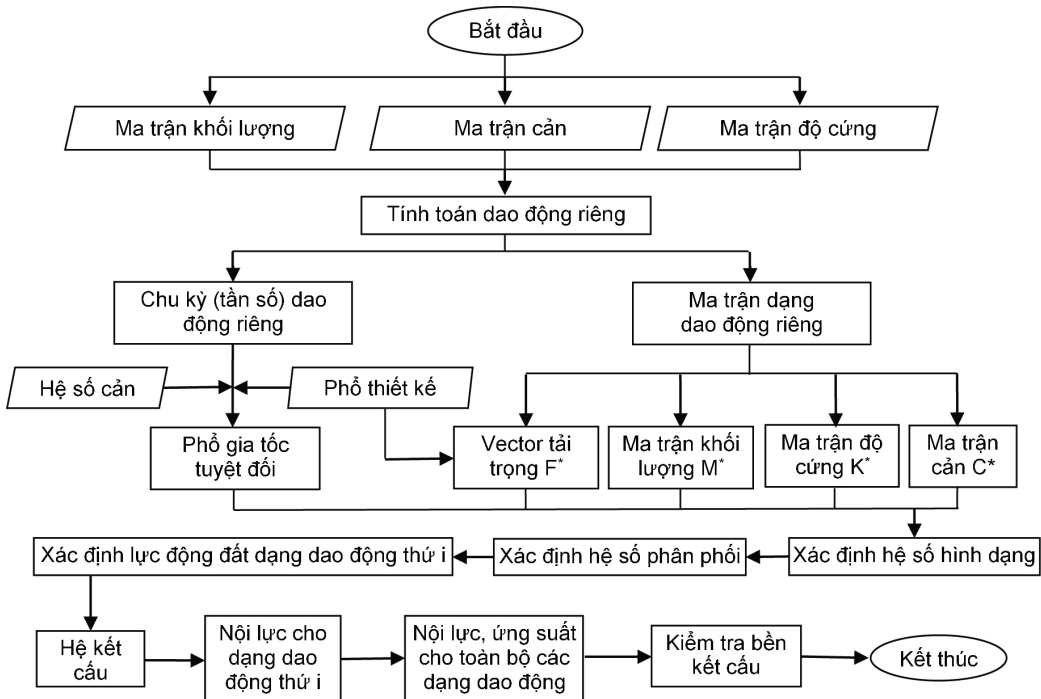
Để giải phương trình (1), đối với hệ tuyến tính có thể sử dụng phương pháp chòng nghiệm, bằng cách xác định các dạng dao động riêng, sau đó đưa hệ về tọa độ suy rộng bằng cách chéo hóa các ma trận thành phần của phương trình (1). Khi đó ta sẽ có hệ các phương trình dao động độc lập một bậc tự do. Bài toán dao động riêng của hệ thống kết cấu - công nghệ của giàn khoan tự nâng được thực hiện khi giải phương trình (2):

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = 0 \tag{2}$$

Trong thực tế, khi tính toán dao động riêng cho giàn khoan tự nâng, ảnh hưởng của lực cản đến dao động riêng không đáng kể vì vậy để đơn giản hóa bài toán ta bỏ qua ảnh hưởng của cản trong tính toán dao động riêng. Phương trình dao động riêng không cản viết lại như phương trình (3):

$$M\ddot{u}(t) + Ku(t) = 0 \tag{3}$$

Các bước để tính kết cấu công trình biển cố định bằng thép nói chung và tính kết cấu công trình giàn khoan tự nâng 400ft - trong trạng thái khai thác - nói riêng, chịu tải trọng động đất được hiện theo sơ đồ sau (Hình 2):



Hình 2. Sơ đồ khối các bước tính kết cấu công trình giàn khoan biển tự nâng chịu tải trọng động đất

Các ma trận  $M^*$ ,  $C^*$ ,  $K^*$ ,  $F^*$  lần lượt là các ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng, ma trận tải trọng động đất trong hệ tọa độ suy rộng. Các ma trận này thu được bằng cách chéo hóa các ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng tương ứng theo các ma trận dạng dao động riêng thu được sau khi giải dao động riêng của hệ kết cấu. Qua quá trình biến đổi, ta có thể tìm được lực động đất tác dụng vào công trình theo từng dạng dao động và từ đó xác định được nội lực của hệ ứng với từng dạng dao động riêng biệt và của toàn bộ các dạng dao động thông qua số lượng phản ứng của các dạng dao động.

### 3. Tính kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft chịu tải trọng động đất

#### 3.1 Số liệu đầu vào để tính kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft

##### 3.1.1 Các số liệu về kết cấu và thiết bị chính của giàn khoan tự nâng 400ft

Các số liệu ban đầu của kết cấu và các thiết bị chính của giàn khoan tự nâng 400ft được cho trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Đặc điểm công trình và thông số tính toán

Quy mô kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft	Vật liệu	Số liệu tính toán
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chiều dài lớn nhất của thân: 70,4 m</li> <li>- Bề rộng lớn nhất của thân: 76 m</li> <li>- Chiều cao của thân: 9,5 m</li> <li>- Số lượng chân giàn: 3 chân</li> <li>- Chiều dài của một chân: 168 m</li> <li>- Tổng khối lượng kết cấu, hàng hóa thiết bị mang theo: 20995 tấn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mô đun đàn hồi: <math>E = 20000 \text{ kN/cm}^2</math></li> <li>- Mô đun đàn hồi trượt: <math>G = 8000 \text{ kN/cm}^2</math></li> <li>- Giới hạn bền: <math>F_y = 34.5 \text{ kN/cm}^2</math></li> <li>- Khối lượng riêng: <math>\gamma = 78.5 \text{ KN/m}^3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Độ sâu nước: 122m</li> <li>- Độ chôn sâu đế chân: 3m</li> <li>- Độ tĩnh không: 12.2 m</li> <li>- Chiều dày hà bóm: 1.2 cm</li> <li>- Khối lượng kết cấu: 18000 tấn</li> <li>- Khối lượng hàng hóa thiết bị: 2995 tấn</li> </ul>

##### 3.1.2 Các số liệu địa chất công trình

Số liệu địa chất lựa chọn ở đây là địa chất công trình tại mỏ Thiên Ưng, với lớp đất chịu lực trong vùng cắm đế chân của giàn khoan tự nâng là cát hạt nhỏ chặt vừa. Từ dữ liệu này, theo [2] đã tính được số liệu về độ cứng các lò xo liên kết (Bảng 2) để đưa vào mô hình tính kết cấu.

##### 3.1.3 Phổ gia tốc nền và hệ số cản

Giá trị của gia tốc phổ tính toán lấy theo công thức sau:  $S_{a,ALE}(T) = N_{ALE} * S_{a,site}(T)$  (4)

trong đó:  $S_{a,site}(T)$  là phổ gia tốc nền ứng với chu kỳ lặp 1000 năm đối với hệ một bậc tự do chu kỳ dao động riêng là  $T$ ;  $N_{ALE}$  là hệ số điều kiện bất thường quy định theo mức độ quan trọng của công trình (Bảng 2);  $S_{a,ALE}(T)$  là giá trị phổ gia tốc nền tính toán. Với số lượng 140 người và có bố trí sơ tán chọn mức độ rủi ro L1 [3] cho giàn khoan tự nâng 400ft.

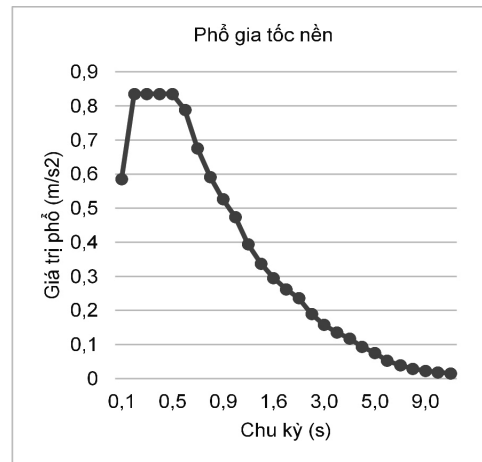
Hệ số cản tổng cộng lấy 7% theo [2] (Bảng 3). Phổ gia tốc thiết kế (Bảng 4), (Hình 3) được xác định theo [4].

**Bảng 2.** Hệ số  $N_{ALE}$

Mức độ rủi ro	Hệ số tỷ lệ mức độ động đất bất thường $N_{ALE}$
L3	0.85
L2	1.15
L1	1.60

**Bảng 3.** Hệ số cản

Thành phần	Hệ số cản lớn nhất
Kết cấu	2 %
Nền móng	3 %
Lực cản thủy động	2 %



**Hình 3.** Phổ gia tốc thiết kế

**Bảng 4.** Số liệu đầu vào phổ thiết kế

STT	Chu kỳ	Gia tốc	STT	Chu kỳ	Gia tốc
	(s)	(m/s <sup>2</sup> )		(s)	(m/s <sup>2</sup> )
1	0.1	0.585	15	2.0	0.237
2	0.2	0.836	16	2.5	0.189
3	0.3	0.836	17	3.0	0.158
4	0.4	0.836	18	3.5	0.135
5	0.5	0.836	19	4.0	0.118
6	0.6	0.789	20	4.5	0.094
7	0.7	0.677	21	5.0	0.076
8	0.8	0.592	22	6.0	0.053
9	0.9	0.526	23	7.0	0.039
10	1.0	0.474	24	8.0	0.030
11	1.2	0.395	25	9.0	0.023
12	1.4	0.338	26	10.0	0.019
13	1.6	0.296	27	11.0	0.016
14	1.8	0.263			

### 2.2 Mô hình hóa kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft

Các kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft bao gồm thân, chân và đế chân được mô hình hóa theo phương pháp phần tử hữu hạn bằng các phần tử thanh và các phần tử tấm. Phần tử thanh dùng loại phần tử hai nút và phần tử tấm dùng các tấm ba nút, bốn nút [5]. Các kết cấu phụ (khối nhà ở, cụm tháp khoan, sân bay trực thăng và các hệ thống kết cấu công nghệ khác) được mô tả như khối lượng đặt tại trọng tâm của chính kết cấu phụ đó.

Các điều kiện biên gồm liên kết chân - thân và liên kết nối đất được mô hình hóa theo tiêu chuẩn SNAME [2]. Liên kết chân và thân của giàn khoan tự nâng gồm hệ thống thanh răng, các thanh dẫn hướng và các chốt chuyên dụng.

Giữa thanh dẫn hướng và thanh răng luôn có một khoảng hở. Khoảng hở (GAP) được mô tả thông qua các phần tử chỉ chịu nén. Khi chân hay thân chuyển vị quá khoảng hở cho phép thì liên kết mới làm việc [4]. Liên kết chính của chân và thân sẽ được giải phóng toàn bộ các phương xoay và chỉ chịu lực theo phương đứng và phương ngang trong mặt phẳng chứa thanh răng và chi tiết ngàm của hệ thống thủy lực.

Liên kết nối đất được mô tả bằng 2 phương án. Phương án thứ nhất bao gồm các lò xo phân bố trên mặt dưới của đế chân theo các cụm ba lò xo bao gồm hai lò xo theo phương ngang và một lò xo theo phương đứng, đặt tại các nút của lưới phần tử hữu hạn. Độ cứng của các lò xo trong mỗi cụm được tính trên diện tích phần tử đế chân mà lò xo đó đại diện. Phương án thứ hai là khớp dạng lò xo tại điểm mũi của đế chân, khi đế chân chỉ tựa trên nền tại một điểm duy nhất ở mũi mỗi đế chân. Mỗi mũi đế chân được gán ba lò xo, hai lò xo theo phương ngang và một lò xo theo phương đứng. Độ cứng của các lò xo này được tính trên diện tích hiệu dụng bề mặt tiếp xúc của đế chân với nền.

Các tính toán dao động riêng trong bài báo sẽ được thực hiện với hai phương án liên kết nêu trên, so sánh dao động riêng đối với hai phương án và sẽ tính toán động đất cho giàn khoan đối với phương án cho chu kỳ dao động riêng lớn nhất.

### 2.3 Xác định độ cứng liên kết kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft với nền

Độ cứng của các lò xo liên kết được tính toán theo [2]. Kết quả tính toán thể hiện trong Bảng 5.

$$\text{Độ cứng lò xo phương đứng: } K_1 = \frac{2G_v B}{(1-\nu)} \quad (5)$$

$$\text{Độ cứng lò xo theo phương ngang: } K_2 = \frac{16G_H B(1-\nu)}{(7-8\nu)} \quad (6)$$

trong đó:  $B$  là đường kính hiệu dụng lớn nhất của phần spudcan tiếp xúc với đất;  $\nu$  là hệ số Poisson;  $G_v$  là mô đun kháng cắt đối với tải trọng theo phương đứng và  $G_H$  là mô đun kháng cắt đối với tải trọng theo phương ngang.

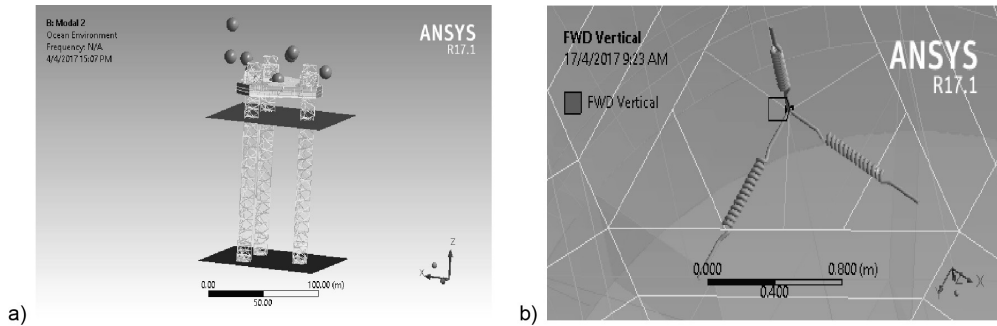
$$\text{Mô đun kháng cắt đối với tải trọng theo phương đứng: } G_v = 1500 \left( \frac{V_{L_0}}{A} \right)^{0.55} \quad (7)$$

$$\text{Mô đun kháng cắt đối với tải trọng theo phương ngang: } G_H = 150 \left( \frac{V_{L_0}}{A} \right)^{0.55} \quad (8)$$

trong đó:  $A$  là diện tích hiệu dụng của spudcan;  $V_{L_0}$  là tải trọng lớn nhất theo phương đứng tác dụng lên spudcan.

**Bảng 5.** Kết quả tính độ cứng lò xo theo phương án thứ hai

B (m)	$V_{L_0}$ (KN)	A (m <sup>2</sup> )	$\nu$	$G_v$ (KN/m <sup>2</sup> )	$G_H$ (KN/m <sup>2</sup> )	$K_1$ (KN/m)	$K_2$ (KN/m)
17.985	97920	257.48	0.3	39369.7	3936.97	2023038	172398



**Hình 4.** Sơ đồ tính kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft

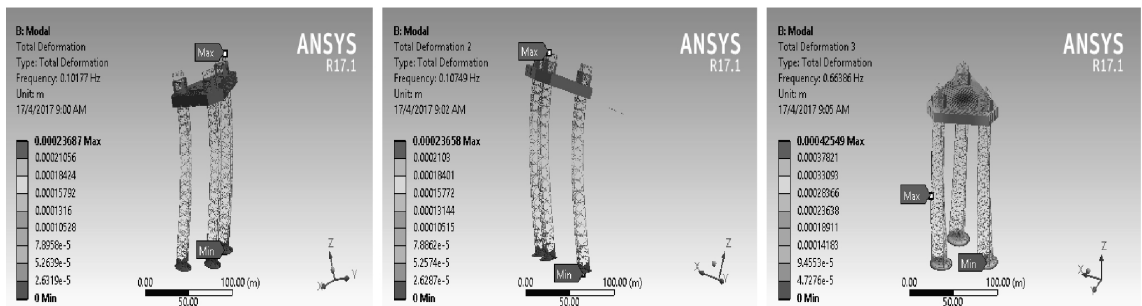
a) Sơ đồ kết cấu theo phương pháp phân tử hữu hạn; b) Lò xo liên kết đế chân với nền.

#### 2.4 Tính dao động riêng của kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft

Dao động riêng của kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft được tính nhờ chương trình phần mềm ANSYS [5]. Trên thực tế bài báo đã tính 10 dạng dao động riêng khi mà khối lượng tham gia dao động đã đạt trên 90%. Bảng 6 liệt kê các kết quả của ba dạng đầu tiên. Hình 5 mô tả ba dạng dao động riêng đầu tiên của giàn khoan tự nâng 400ft.

**Bảng 6.** Các chu kỳ dao động riêng của giàn khoan tự nâng 400ft ứng với các điều kiện biên

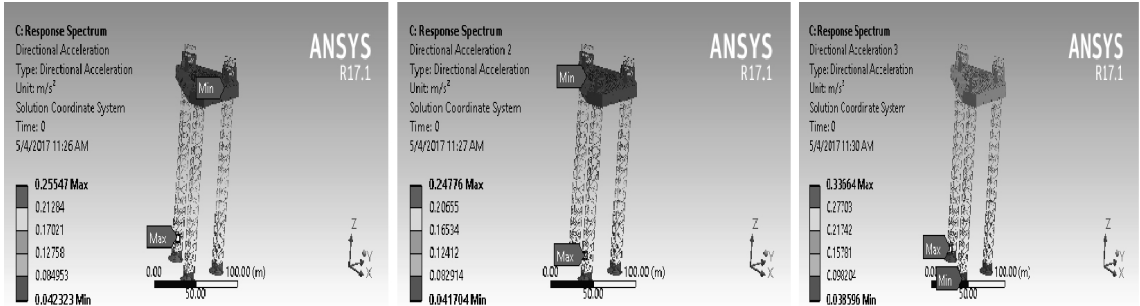
Phương án	Loại liên kết	Chu kỳ dao động riêng (s)			Số lượng mode tính toán	Tỷ lệ khối lượng tham gia dao động (%)
		Mode 1	Mode 2	Mode 3		
1	Lò xo phân bố tại mặt đế chân	6.25	6.08	1.5	10	92.64
2	Lò xo tại điểm mũ của đế chân	9.82	9.3	1.5	10	92.85



**Hình 5.** Ba dạng dao động riêng đầu tiên của kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft

### 2.5 Tính kết cấu giàn khoan tự nâng chịu tải trọng động đất

Việc tính toán kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft được thực hiện nhờ chương trình phần mềm Ansys. Về nguyên tắc, phải tính toán kiểm tra kết cấu đối với cả hai điều kiện biên như đã liệt kê trong Bảng 8. Tuy nhiên, trong khuôn khổ của bài báo, chỉ để cập tính toán kiểm tra với phương án thứ hai. Hình 6 dưới đây là một số kết quả chính của bài toán.



Hình 6. Kết quả gia tốc phần ứng theo các phương X, Y, Z

### 2.6 Kiểm tra bền một số phần tử có nội lực lớn của giàn

Áp dụng tiêu chuẩn API [6] để tiến hành kiểm tra bền cho kết cấu. Phần tử ống chính có nội lực lớn nhất nằm tại phần giao với đế chân. Phần tử tấm có ứng suất lớn nhất là tấm đứng thuộc đế chân. Kiểm tra nút bằng phần mềm Ansys tại vị trí lực dọc trong thanh ống nhánh lớn gần dưới đế chân (Hình 7).

Bảng 7. Kết quả kiểm tra bền phần tử thanh thuộc ống chính

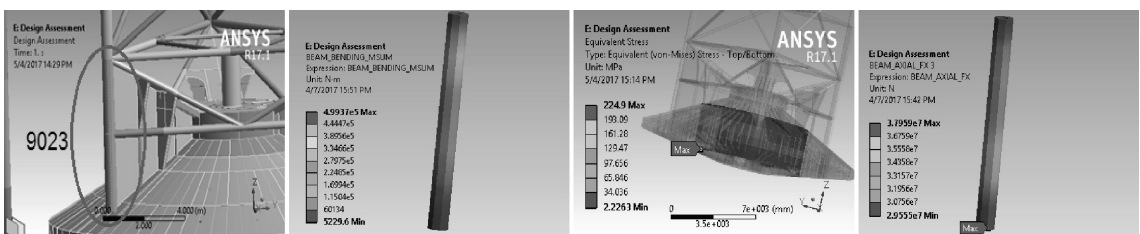
Loại phần tử	Số hiệu phần tử	Lực dọc (N)	Momen (Nm)	UC	Kết luận
Ống chính	9023	$3.7959 \times 10^7$	5229.6	0.546	Đạt

Bảng 8. Kết quả kiểm tra bền phần tử tấm thuộc đế chân

Loại phần tử	Số hiệu phần tử	Ứng suất tương đương (MPa)	Ứng suất chảy của vật liệu $1.33F_y$ (MPa)	Ứng suất cho phép $0.931F_y$ (MPa)	Kết luận
Vách đứng	52994	224.9	355	330.505	Đạt

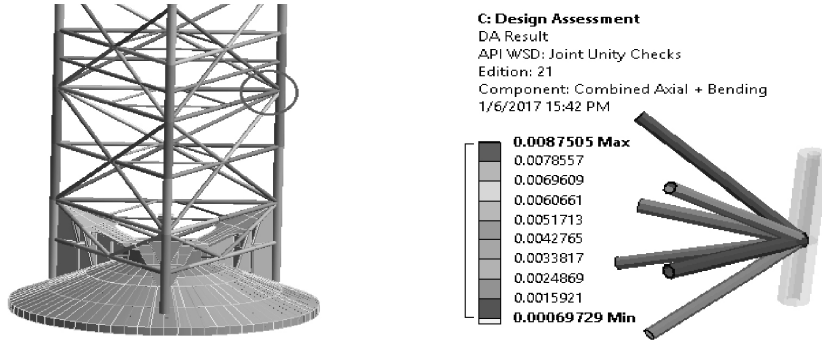
Bảng 9. Kết quả kiểm tra bền nút

Nội lực (N) - (Nm)			Khả năng chống chọc thủng (N) - (Nm)			UC
Lực dọc	Momen uốn ngoài mặt phẳng	Momen uốn trong mặt phẳng	Lực dọc	Momen uốn ngoài mặt phẳng	Momen uốn trong mặt phẳng	
$-6.94 \times 10^5$	$6.41 \times 10^3$	$-1.94 \times 10^4$	$8.41 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$1.04 \times 10^7$	0.01



Hình 7. Những vị trí nội lực ứng suất lớn trên kết cấu giàn tự nâng 400ft





Hình 8. Kiểm tra bền nút



#### 4. Kết luận

Bài báo đã đưa ra được sơ đồ khối các bước tính kết cấu công trình giàn khoan biển tự nâng chịu tải trọng động đất theo phương pháp phổ và áp dụng thành công để tính toán cụ thể công trình giàn khoan tự nâng 400ft chịu tải trọng động đất theo phân vùng động đất tại Việt Nam bằng phần mềm Ansys.

Sơ đồ tổng thể của hệ thống kết cấu giàn khoan tự nâng 400ft được xây dựng trong bài báo này theo phương pháp phần tử hữu hạn bao gồm hệ thống kết cấu thân, chân và đế chân. Các kết cấu khác, bao gồm khối nhà ở, cụm tháp khoan, sân bay và các hệ thống công nghệ,... được coi là các khối lượng tập trung cùng tham gia dao động trong sơ đồ tổng thể.

Các liên kết của hệ thống kết cấu với nền được mô hình hóa dạng lò xo theo các kịch bản khác nhau nhằm phân tích hệ thống kết cấu theo các trường hợp cụ thể, dự đoán sẽ xảy ra khi khai thác công trình giàn khoan tự nâng.

Kết quả tính toán cũng cho thấy, giàn tự nâng 400ft có đủ khả năng vận hành an toàn trong điều kiện xảy ra động đất ở vùng biển Việt Nam, trong trường hợp nguy hiểm nhất khi coi đế chân chỉ tựa trên nền đất tại một điểm.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo là nghiên cứu, tính toán hệ thống kết cấu công trình giàn khoan tự nâng chịu tải trọng động đất với các điều kiện biên khác nhau và so sánh để lựa chọn mô hình liên kết phù hợp với một số điều kiện địa chất điển hình trong khu vực biển Việt Nam. Hướng nghiên cứu này đang được tiếp tục thực hiện trong đề tài cấp Nhà nước SPQG02b.01.01.

#### Tài liệu tham khảo

1. Barltrop N.D.P, Adams A.J. (1991), *Dynamics of Fixed marine structures*, London.
2. SNAME T&R 5-5A (2002), *Guidelines for Site Specific Assessment of Mobile Jack-up Units*, New Jersey.
3. ISO 19902:2007 E (2007), *Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures*, Switzerland.
4. ISO 19901-2:2004 (2005), *Petroleum and naturalgas industries - Specific requirements for offshore structures - Part 2: Seismic design procedures and criteria*.
5. Ansys Inc (2013), *Theory Manual*.
6. API-RP-2A-WSD (2005), *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Off-shore Platforms - Working stress Design*, American Petroleum Institute.