

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

---

**NGUYỄN ĐỨC TÙNG**

**XÁC ĐỊNH PHẢN ỨNG ĐỘNG LỰC CỦA BỂ CHỨA CHẤT LỎNG**  
**CHỊU TÁC DỤNG ĐỘNG ĐẤT**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật Xây dựng Công trình Dân dụng & Công nghiệp**

Mã số: **60.58.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**GS.TSKH. NGUYỄN ĐĂNG BÍCH**

*Hải Phòng, 2015*

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong xây dựng dân dụng và công nghiệp, nhu cầu xây dựng các bể chứa chất lỏng, khí hóa lỏng ngày càng lớn. Yêu cầu tính toán thiết kế bể chứa làm việc an toàn trước mọi tác động là một yêu cầu cần thiết và cấp bách.

Bể chứa chất lỏng, nhất là bể chứa hóa chất độc hại cần an toàn đối với môi trường. Vì vậy tính toán thiết kế bể chứa cần phải kể đến tải trọng gió, tải trọng động đất. Đối với các bể chứa dung tích lớn cần kể đến cả những áp lực thủy tĩnh mà còn phải kể đến cả áp lực thủy động của chất lỏng chứa trong bể. Đó là lý do học viên chọn đề tài của luận văn này là: “Xác định phản ứng động lực của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng động đất”.

Mục đích đề tài là kiểm tra điều kiện ổn định của thành bể chứa axit Sunfuric 98% được thiết kế và dự kiến xây dựng ở Khu công nghiệp Đình Vũ, quận Hải An, thành phố Hải Phòng chịu tác dụng của tải trọng động đất; và áp lực thủy tĩnh cũng như thủy động của chất lỏng chứa trong bể.

*Em xin chân thành cảm ơn thầy: GS.TSKH. Nguyễn Đăng Bích  
Đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ em hoàn thành nội dung luận văn.*

## MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU .....	1
MỤC LỤC.....	3
MỞ ĐẦU.....	5
1. Tên đề tài và lý do chọn đề tài.....	5
2. Mục đích nghiên cứu. ....	5
3. Phương pháp nghiên cứu. ....	6
4. Đối tượng nghiên cứu. ....	6
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài.....	7
Chương 1: TỔNG QUAN.....	9
1.1 Tải trọng tính toán.....	9
1.1.1 Tĩnh tải .....	9
1.1.2 Hoạt tải.....	9
1.1.3 Tải trọng gió.....	9
1.2 Tính toán nền móng .....	9
1.2.1 Tính sức chịu tải của cọc .....	9
1.2.2 Tính toán móng cọc .....	10
1.3 Tính toán kết cấu thép thành bể.....	21
1.3.1 Tính dầm đáy bể.....	21
1.3.2 Tính thép đáy bể.....	22
1.3.3 Tính thép thành bồn .....	23
1.3.4 Tính thép mái bồn .....	24
Nhận xét về thuyết minh tính toán bồn chứa của tư vấn thiết kế đã thực hiện: .	24
II. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH CỦA THÀNH BỂ CHỨA DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ĐỘNG ĐẤT .....	25
1.1 Quy trình đơn giản cho bể hình trụ có đáy cố định: .....	25
1.1.1 Mô hình:.....	25
1.1.2 Phản ứng động đất: .....	26
1.2 Kiểm tra mất ổn định thành bể chứa:.....	27

1.2.1 Kiểm tra mất ổn định đàn hồi: .....	27
1.2.2 Phá hoại đàn – dẻo: .....	28
1.3 Tính nội lực thành bể: .....	29
1.3.1 Chu kỳ riêng của các phản ứng xung và đối lưu: .....	30
1.3.2 Xác định các khối lượng xung và đối lưu $m_i$ và $m_c$ , chiều cao kể từ đáy đến điểm tác động của hợp áp lực thủy động xung và đối lưu lên thành bể, $h_i$ , $h_c$ , $h_i^*$ , $h_c^*$ .....	31
1.3.3 Xác định nội lực:.....	31
1.3.4 Xác định lực dọc do khối lượng chất lỏng $m_i$ và $m_c$ gây ra: .....	34
1.4 Xác định ứng suất kéo vòng động lực và ứng suất nén dọc trục giới hạn Euler: .....	35
1.5 Kiểm tra mất ổn định đàn hồi: .....	35
1.6 Kiểm tra phá hoại đàn dẻo: .....	38
Chương 3:.....	39
TÍNH TOÁN ỨNG DỤNG SỐ TÌM PHẢN ỨNG ĐỘNG LỰC CỦA BỂ CHỨA CHẤT LỎNG CHỊU TÁC DỤNG ĐỘNG ĐẤT.....	39
1.1 Đặt vấn đề .....	39
1.2 Giới thiệu mô hình tính toán bể chứa của Haoroun.....	40
1.3 Phương trình chuyển động.....	44
1.3.1 Trường hợp I: Khi hệ không có cách chắn đáy vector dịch chuyển được xác định. ....	44
1.3.2 Trường hợp II: Khi hệ có cách chắn đáy: .....	45
1.4 Bài toán lấy làm ví dụ áp dụng: .....	47
1.4.1 Mô tả bài toán: .....	47
1.4.2 Lập hệ phương trình vi phân chuyển động: .....	48
1.4.3 Giải hệ phương trình vi phân chuyển động: .....	52
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....	58
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	59

# MỞ ĐẦU

## 1. Tên đề tài và lý do chọn đề tài.

Tên đề tài ***“Xác định phản ứng động lực của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng động đất”***

Như đã biết trong xây dựng dân dụng và công nghiệp hiện nay, nhu cầu xây dựng các bể chứa chất lỏng, khí hóa lỏng ngày càng lớn. Yêu cầu tính toán thiết kế bể chứa làm việc an toàn trước mọi tác động là một yêu cầu cần thiết và cấp bách.

Bể chứa chất lỏng, nhất là bể chứa hóa chất độc hại cần an toàn đối với môi trường. Vì vậy tính toán thiết kế bể chứa cần phải kể đến tải trọng gió, tải trọng động đất. Đối với các bể chứa dung tích lớn cần kể đến cả những áp lực thủy tĩnh mà còn phải kể đến cả áp lực thủy động của chất lỏng chứa trong bể.

Vì vậy việc nghiên cứu đề tài ***“Xác định phản ứng động lực của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng động đất”*** có tính thời sự và cần thiết trong thiết kế xây dựng.

## 2. Mục đích nghiên cứu.

Mục đích nghiên cứu giải quyết bài toán bao gồm:

Dựa trên thiết kế bể chứa axit Sunfuric 98% có sẵn trong thực tế tại Khu công nghiệp Đình Vũ, quận Hải An, thành phố Hải Phòng.

a. Kiểm tra điều kiện ổn định của thành bể chứa axit Sunfuric 98% dưới tác dụng của tải trọng động đất;

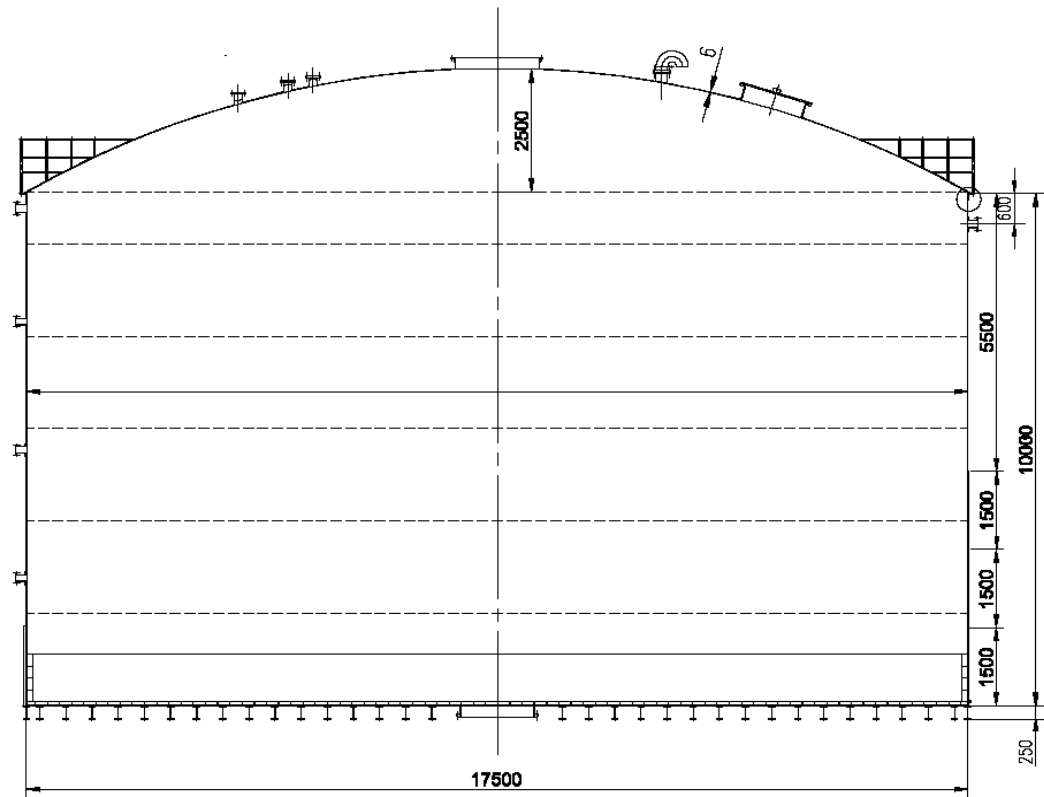
b. Tìm phản ứng động lực của bể chứa, và áp lực thủy tĩnh cũng như thủy động của axit sunfuric chứa trong bể.

### 3. Phương pháp nghiên cứu.

Phương pháp là nghiên cứu tài liệu, tổng hợp, sử dụng các tiêu chuẩn hiện hành kết hợp với chương trình phần mềm Mathematica 7.0 để giải quyết bài toán.

### 4. Đối tượng nghiên cứu.

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài này là bể chứa axit Sunfuric 98% bằng thép, kích thước hình dáng như hình vẽ:



*Hình 1: Hình dáng và kích thước bể chứa*

- + Bể làm bằng vật liệu thép
- + Chiều cao của thành bể: 10 m.
- + Đường kính bể: 17,5m.

+ Chiều dày thành bồn gồm: Tầng 1 dày 16 mm, cao 1,5 m tính từ đáy bồn; Tầng 2 dày 14 mm, cao 1,5 m; Tầng 3 dày 12 mm, cao 1,5 m; Tầng 4-7 dày 10 mm, cao 5,5 m.

+ Chiều dày nắp bể: 6 mm

+ Cường độ tính toán của vật liệu  $R=2100\text{kg/cm}^2$

+ Hệ số điều kiện làm việc  $\gamma = 0,9$

+  $f_y$  là cường độ chảy của vật liệu thành bể thép, đơn vị MPA,  $f_y = 275 \text{ MPa}$

+ Môđun đàn hồi của vật liệu làm bể  $E = 2.10^{11}\text{N/m}^2$

+ Khối lượng riêng của axit sunfuric 98%,  $\rho = 1840\text{kg/m}^3$

## **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài.**

Hiện nay đã có rất nhiều công trình bể chứa hóa chất đã được xây dựng cũng như đã có một số đề tài nghiên cứu tính toán bể chứa hóa chất, nhưng mới chỉ kể đến áp lực thủy tĩnh, chưa kể đến áp lực thủy động. Phạm vi tính toán nghiên cứu mới chỉ xét tới tác động gió và tác động của động đất theo phương nằm ngang được mô tả theo hai thành phần vuông góc được xem là độc lập và biểu diễn bằng cùng một phổ phản ứng. Vì vậy việc đánh giá công trình chưa sát với sự làm việc của công trình.

Với bài toán kiểm tra điều kiện ổn định của thành bể chứa axit Sunfuric 98% dưới tác dụng của tải trọng động đất và áp lực thủy tĩnh cũng như áp lực thủy động của chất lỏng chứa trong bể, ta sẽ xác định việc tính toán của tư vấn thiết kế thực hiện việc thiết kế bể chứa axit Sunfuric 98% với điều kiện địa chất tại khu vực Đình Vũ, thành phố Hải Phòng đã phù hợp hay chưa?

Ở Việt Nam cũng như trên thế giới việc áp dụng tính toán theo phương pháp này còn khá mới. Vì vậy đề tài là cần thiết và có thể là tài liệu tham khảo cho công tác tư vấn thiết kế bể chứa trong xây dựng dân dụng và công nghiệp.

Kết quả nghiên cứu sẽ cho chúng ta cái nhìn tổng quát về bể chứa chất lỏng chịu tác dụng đồng thời tải trọng động đất và áp lực thủy động. Do đó phản ánh được sự làm việc thực của kết cấu bể chứa.

Các kết quả nghiên cứu của luận văn có thể tham khảo trong quá trình thiết kế, và quản lý chất lượng công trình.



# Chương 1: TỔNG QUAN

## I. GIỚI THIỆU THUYẾT MINH TÍNH TOÁN BỒN CHỨA TU' VẤN ĐÃ THỰC HIỆN:

### 1.1 Tải trọng tính toán

#### 1.1.1 Tĩnh tải

- Tải trọng bản thân kết cấu bồn chứa: xác định theo kích thước và tính chất vật liệu, hệ số tính toán là 1,1:

+ Kết cấu BTCT: cọc, đài móng, vách đỡ;

+ Kết cấu thép: Dầm, đáy bồn, thành bồn, mái, các chi tiết (cửa, ống, lan can...);

- Tải trọng các vật liệu công nghệ (cao su bọc lót, sơn, gạch chịu acid...): xác định theo kích thước và tính chất vật liệu, hệ số tính toán là 1,2.

#### 1.1.2 Hoạt tải

- Hoạt tải dài hạn: thiết bị gắn trên bồn chứa (van, đồng hồ đo...);

- Hoạt tải ngắn hạn:

+ Sản phẩm chứa trong bồn (acid): xác định theo tính chất sản phẩm và chiều cao chứa;

+ Hoạt tải sửa chữa, vận hành (người, máy móc): lấy 200kg/cm<sup>2</sup>, hệ số tính toán là 1,2

#### 1.1.3 Tải trọng gió

- Tải trọng gió tác dụng lên bồn chứa theo phương vuông góc với thành bồn, Giá trị tính toán được xác định theo TCVN 2737-1995, vùng IV,B, địa hình A.

### 1.2 Tính toán nền móng

#### 1.2.1 Tính sức chịu tải của cọc

- Thông số cọc:

- + Cọc ống BTCT dự ứng lực, đường kính cọc D400/250;
- + Cốt thép chủ 10 $\phi$ 7,1, cốt thép đai  $\phi$ 3,2;
- + Bê tông mác M600.

- Sức chịu tải của cọc theo vật liệu:

$$P = \varphi \cdot (R_s \cdot F_s + R_b \cdot F_b) = 0,365 \cdot (14200 \cdot 3,96 + 250 \cdot 766) = 90,42 \text{ (T)}$$

Trong đó:

+  $\varphi$ : là hệ số uốn dọc của cọc,  $\varphi = 0,365$  (tra bảng, phụ thuộc vào chiều dài tính toán của cọc  $l_{tt}$ );

+  $l_{tt}$ : là chiều dài tính toán của cọc,  $l_{tt} = 10 + 6D = 12 + 6 \cdot 0,4 = 14,4\text{m}$ ;

+  $l_o = 10,3\text{m}$  (là chiều dài cọc từ đáy đài đến đáy lớp đất yếu);

+  $R_s$ : là cường độ chịu nén tính toán của thép dọc,  $R_s = 14200 \text{ kG/cm}^2$ ;

$F_s$ : là diện tích tiết diện ngang của cốt thép dọc,  $F_s = 3,96\text{cm}^2$ ;

+  $R_b$ : là cường độ chịu nén tính toán của bê tông,  $R_b = 250\text{kG/cm}^2$ ;

+  $F_b$ : là diện tích tiết diện ngang của bê tông,  $F_b = 766 \text{ cm}^2$ .

- Sức chịu tải của cọc theo đất nền: được thiết kế đảm bảo  $\geq 80$  tấn. Chiều dài cọc dự kiến là 35 m để đảm bảo sức chịu tải thiết kế của cọc. Chiều dài thực tế của cọc được xác định sau khi có kết quả nén tĩnh và trong quá trình ép đại trà (theo lực ép tối thiểu là 150T).

## **1.2.2 Tính toán móng cọc**

### **1.2.2.1 Vật liệu sử dụng:**

- Bê tông móng M300 có:

+ Cường độ chịu nén:  $R_b = 130\text{kG/cm}^2$ ;

+ Mô đun đàn hồi:  $E_b = 290000\text{kG/cm}^2$ .

- Cốt thép nhóm AII có:

+ Cường độ chịu nén:  $R_s = 2800\text{kG/cm}^2$ ;

+ Mô đun đàn hồi:  $E_s = 210000\text{kG/cm}^2$ .

### 1.2.2.2 Nội lực tính toán:

Nội	N (T)	Q <sub>y</sub> (cm)	M <sub>x</sub> (T.m)
Trị số tính toán	6233,3	54,34	407,7
Trị số tiêu chuẩn	5240,2	47,28	354,6

### 1.2.2.3 Xác định số lượng cọc:

- Số lượng cọc trong đài móng là:

$$n = k \cdot N / P = 1,2 \cdot 6233,3 / 80 = 93,5 \text{ cọc}$$

Trong đó:

+ k: là hệ số kể đến sự chịu tải lệch tâm;

+ N: là tổng lực đứng tác dụng lên nền cọc;

+ P: là sức chịu tải tính toán của cọc.

Căn cứ vào số lượng cọc tính toán và diện tích đáy đài tối thiểu (D = 20,7m) → chọn số lượng cọc là 104 cọc bố trí theo các đường tròn đồng tâm.

### 1.2.2.4 Kiểm tra sức chịu tải của cọc

- Chiều cao đài móng: h = 0,6m.

- Lực truyền xuống các đầu cọc:

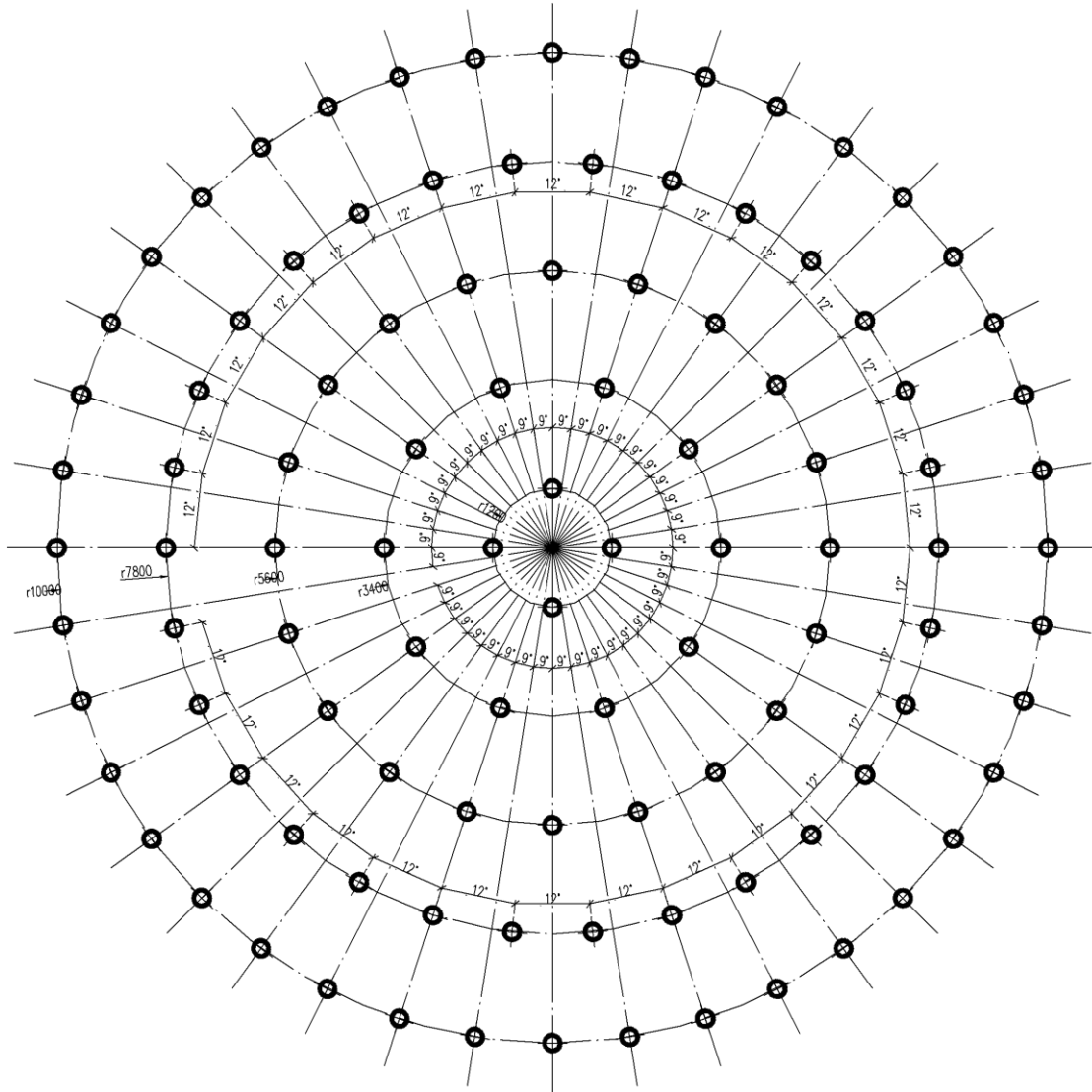
$$P_{\max}^{tt} = \frac{N^{tt}}{n_c} \pm \frac{M_x^{tt} \times y_{\max}}{\sum_{i=1}^n y_i^2}$$

Trong đó:

+ n<sub>c</sub>: là số lượng cọc trong đài móng (n<sub>c</sub> = 104);

+ y<sub>max</sub>: là khoảng cách lớn nhất từ tim cọc biên đến trục x (trục vuông góc với phương tính và đi qua tâm đài móng);

+  $y_i$ : là khoảng cách từ tim cọc thứ  $i$  đến trục x.



**Mặt bằng bố trí cọc trong đài móng**

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 = 4 * (0,82^2 + 1,05^2 + 1,56^2 + 1,73^2 + 2,41^2 + 2,75^2 + 3,09^2 + 3,29^2 + 3,9^2 + 4,53^2 + 4,54^2 + 5,22^2 + 5,33^2 + 5,88^2 + 6,31^2 + 7,07^2 + 7,13^2 + 7,63^2 + 8,09^2 + 8,91^2 + 9,51^2 + 9,88^2) + 2 * (1,2^2 + 3,4^2 + 5,6^2 + 7,8^2 + 10,0^2) = 3287,456\text{m}^2$$

$$M_X^{\text{tt}} = 409,79 + 0,6 * 54,372 = 440,413(\text{T.m})$$

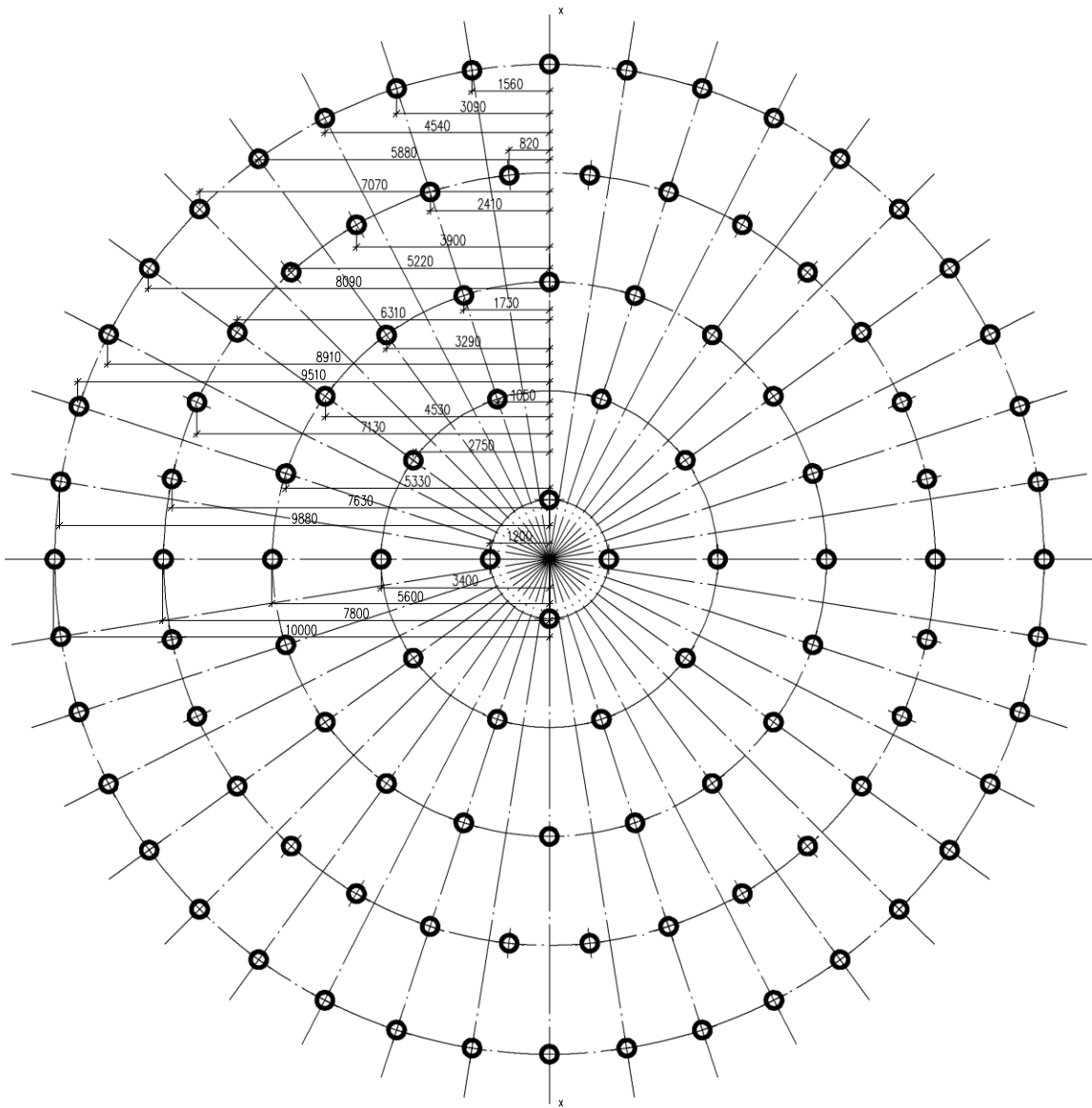
$$y_{\text{max}} = 10,0(\text{m})$$

$$P_{min}^{tt} = \frac{6223,3}{104} \pm \frac{440,413.10}{3287,456}$$

$$P_{max}^{tt} = 61,275 (T)$$

$$P_{min}^{tt} = 58,595 (T)$$

$$P_{tb}^{tt} = 59,935 (T)$$



**Mặt bằng xác định  $y_i$**

- Trọng lượng tính toán của cọc:

$$P_c = 1,1.2,5.3,14.(0,4^2 - 0,25^2)/4.35 = 7,37 \text{ (T)}$$

$$P_{max}^{tt} + P_c = 61,275 + 7,37 = 68,645 \text{ (T)} < P = 80 \text{ (T)}$$

Vậy thỏa mãn điều kiện áp lực lớn nhất truyền xuống cọc biên, Áp lực nhỏ nhất tác dụng lên cọc là  $P_{min}^{tt} > 0$  nên không cần kiểm tra điều kiện chống nhổ..

#### 1.2.2.5 Kiểm tra cường độ nền đất

Độ lún của móng cọc được tính theo độ lún của khối móng quy ước hình trụ, có mặt cắt là hình chữ nhật.

Trị tính toán thứ 2 trung bình trung bình của trọng lượng thể tích đất tính từ đáy khối móng quy ước trở lên:

$$\gamma'_{II} = \frac{\sum_i^n \gamma_i \times h_i}{\sum_i^n h_i}$$

Giá trị trung bình của góc ma sát của các lớp đất tính từ đáy khối móng quy ước trở lên:

$$\varphi_{tb} = \frac{\sum_i^n \varphi_i \times h_i}{\sum_i^n h_i}$$

Trong đó:

- +  $\varphi_i$ : là trị số góc ma sát của lớp đất thứ  $i$  nằm trong phạm vi khối móng quy ước;
- +  $h_i$ : là chiều dày lớp đất thứ  $i$  nằm trong phạm vi khối móng quy ước.

**Bảng tính giá trị  $\gamma'_{II}$ ,  $\varphi_{tb}$**

<b>TT</b>	<b>Lớp đất</b>	<b><math>h_i</math> (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (T/m)</b>	<b><math>h_i</math> (m)</b>	<b><math>\varphi</math> (<math>^{\circ}</math>C)</b>
1	Cát lấp	3,00	1,500	3,00	0,00
2	Sét pha lẫn vỏ sò, dẻo chảy đến dẻo	8,00	1,670	8,00	6,57
3	Sét màu xám, dẻo chảy đến dẻo mềm	12,67	1,550	12,67	6,30
4	Sét kẹp cát, dẻo cứng đến nửa cứng	5,33	1,800	5,33	14,2
5	Cát mịn đến nhỏ, chặt vừa	5,12	1,85	5,12	29,52
6	Cát hạt vừa lẫn sạn, chặt vừa đến chặt	>6,16	1,850	>6,16	29,50
<b>Kết quả</b>		<b><math>\gamma'_{II} =</math></b>	<b>1,687</b>	<b><math>\varphi_{tb} =</math></b>	<b>11,594</b>

Góc truyền tải của cọc vào trong đất nền nhờ lực ma sát là:

$$\alpha = \frac{\varphi_{tb}}{4} = \frac{11,594}{4} = 2,899 \text{ độ}$$

Chiều sâu từ đáy đài đến đáy khối móng quy ước:

$$H_M = 35 - 0,15 = 34,85 \text{ m}$$

Khoảng cách giữa hai tim cọc ngoài cùng theo phương đường kính của đài móng:

$$D_0 = 20,00 \text{ m}$$

Đường kính khối móng quy ước:

$$D_0 = D_0 + 2H_M t g \alpha = 20 + 2 \times 34,85 \times t g 2,899 = 23,530 \text{ m}$$

Diện tích đáy khối móng quy ước:

$$S_M = 3,14 \times D_M^2 = 3,14 \times 23,52^2 = 434,624 \text{ m}^2$$

Chiều cao khối móng quy ước:

$$H = h + H_M = 0,6 + 34,85 = 35,45 \text{ m}$$

Trị tiêu chuẩn của trọng lượng khối móng quy ước được tính toán và thể hiện trong bảng:

**Bảng tính trọng lượng khối móng quy ước**

STT	Đại lượng tính toán	Ký hiệu	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	h (m)	K. lượng (T)
1	Trị tiêu chuẩn của trọng lượng cọc (không kể phần nằm trong đài móng)	$P^{tc}$ C	2,5	34,75	6,649
2	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi từ đáy lớp bê tông lót móng đến đáy lớp cát lấp	$N^{tc}$ 2	1,500	2,30	1454,388
3	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi lớp sét pha lẫn vỏ sò, dẻo chảy đến dẻo mềm	$N^{tc}$ 3	1,670	8,00	5632,063
4	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi lớp sét màu xám, dẻo chảy đến dẻo mềm	$N^{tc}$ 4	1,550	12,67	8278,837
5	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi lớp sét kẹp cát, dẻo cứng đến nửa cứng	$N^{tc}$ 5	1,800	5,33	4044,462
6	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi lớp cát mịn đến nhỏ, chặt vừa	$N^{tc}$ 6	1,850	5,12	3993,031
7	Trọng lượng khối móng quy ước trong phạm vi lớp cát hạt vừa lẫn sạn, chặt vừa đến chặt	$N^{tc}$ 7	1,850	1,58	1232,225
12	Trọng lượng khối móng quy ước	$N^{tc}$ qu			25326,502

Trị tiêu chuẩn của lực dọc xác định đến đáy khối móng quy ước:

$$N^{tc} = N_0^{tc} + N_{qu}^{tc} = 5420,217 + 25326,502 = 30746 T$$

Mômen tiêu chuẩn ứng với trọng tâm đáy khối móng quy ước:

$$M_x^{tc} = M_{0x}^{tc} + Q_{0y}^{tc} \cdot H_M + h_d = 354,6 + 47,28 \cdot (34,855 + 0,6) = 2030,676 T$$



Độ lệch tâm:

$$e_x = \frac{M_{0x}^{tc}}{N^{tc}} = \frac{2030,68}{30746,7} = 0,066 \text{ m}$$

Áp lực tiêu chuẩn đáy móng:

$$P_{max,min}^{tc} = \frac{N^{tc}}{S_M} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e_x}{D_M}\right) = \frac{30746,72}{434,624} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,066}{23,53}\right)$$

$$P_{max}^{tc} = 71,934 \text{ T/m}^2$$

$$P_{min}^{tc} = 69,553 \text{ T/m}^2$$

$$P_{tb}^{tc} = 70,744 \text{ T/m}^2$$

Cường độ tính toán của đất nền dưới đáy khối quy ước:

$$R = \frac{m_1 \cdot m_2}{K_{tc}} \cdot (1,1 \cdot A \cdot B_M \cdot \gamma_{II} + 1,1 \cdot B \cdot H \cdot \gamma'_{II} + 3 \cdot D \cdot c_{II})$$

Trong đó:

+  $m_1$ ;  $m_2$ : lần lượt là hệ số điều kiện làm việc của nền và của công trình, tra bảng;

$$m_1 = 1,3 \text{ và } m_2 = 1$$

+ A, B, D: là các hệ số phụ thuộc vào trị tính toán thứ hai của góc ma sát trong của đất, tra bảng với  $\varphi_{II} = 29,50$  độ;

$$A = 1,108; \quad B = 5,425; \quad D = 7,812;$$

+  $\gamma_{II}$ : là trị tính toán thứ hai của trọng lượng thể tích của lớp đất nằm trực tiếp dưới đáy khối móng quy ước:  $\gamma_{II} = 1,850 \text{ T/m}^3$ ;

+  $\gamma'_{II}$ : là trị tính toán thứ hai trung bình của trọng lượng thể tích của đất kể từ đáy khối móng quy ước trở lên:  $\gamma'_{II} = 1,687 \text{ T/m}^3$ ;

+  $c_{II}$ : là trị tính toán thứ hai của lực dính đơn vị của lớp đất nằm trực tiếp dưới đáy khối khối móng quy ước:  $c_{II} = 0,11 \text{ T/m}^2$ ;

+  $K_{tc}$ : là hệ số tin cậy,  $K_{tc} = 1$

$$R = \frac{1,3 * 1}{1} * (1,1 * 1,108 * 434,624 * 1,85 + 1,1 * 5,425 * 35,45 * 1,687 + 3 * 7,812 * 0,11) = 1741,273 \left(\frac{T}{m^2}\right)$$

Kiểm tra điều kiện bền:

$$R = 1741,273 \text{ (T/m}^2\text{)} > 70,744 \text{ T/m}^2$$

$$1,2 * R = 1,2 * 1741,273 = 2089,5276 \text{ (T/m}^2\text{)} > 71,934 \text{ T/m}^2$$

Cường độ đất nền dưới đáy móng được đảm bảo, vậy có thể tính toán được độ lún của nền theo quan niệm nền biến dạng tuyến tính.

#### 1.2.2.6 Kiểm tra độ lún của móng cọc

**Bảng tính ứng suất bản thân nền**

STT	Tại đáy lớp đất	z (m)	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	h <sub>i</sub> (m)	$\sigma_z^{bt}$ (T/m <sup>2</sup> )
1	Cát lấp	3,00	1,500	3,00	4,500
2	Sét pha lẫn vỏ sò, dẻo chảy đến dẻo	11,00	1,670	8,00	17,860
3	Sét màu xám, dẻo chảy đến dẻo mềm	23,67	1,550	12,67	37,493
4	Sét kẹp cát, dẻo cứng đến nửa cứng	29,00	1,800	5,33	47,093
5	Cát mịn đến nhỏ, chặt vừa	34,12	1,850	5,12	56,559
6	Cát hạt vừa lẫn sạn, chặt vừa đến chặt	35,45	1,850	1,33	59,026
Tại đáy khối móng quy ước			59,026 (T/m <sup>2</sup> )		

Ứng suất gây lún ở đáy khối quy ước:

$$\sigma_{z=0}^{gl} = p_{tb}^{tc} + \sigma^{bt} = 70,7435 - 59,026 = 11,718 \text{ T/m}$$

Chia nền dưới đáy khối móng quy ước thành các lớp có chiều dày bằng:

$$h = \frac{D_M}{5} = \frac{23,53}{5} = 4,706 \text{ m}$$

**Bảng tính phạm vi tác dụng gây lún của móng**

Điểm	z (m)	2z/B <sub>M</sub>	K <sub>0</sub>	$\sigma_{zi}^{gl} = K_0 \cdot \sigma^{glz} = 0$ (T/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{zi}^{gl} = \sum \gamma_i \cdot h_i$ (T/m <sup>2</sup> )
1	0	0	1,0000	11,718	59,026
2	4,706	0,0108	0,9986	11,701	67,732
3	9,412	0,0217	0,9972	11,685	76,438
4	14,118	0,0325	0,9959	11,669	85,144
5	18,824	0,0433	0,9945	11,653	93,850
6	23,53	0,0541	0,9931	11,637	102,557
7	28,236	0,065	0,9917	11,620	111,263
8	32,942	0,0758	0,9903	11,604	119,969
9	37,648	0,0866	0,9890	11,589	128,675

Tại điểm 9 có  $\sigma^{bt} > 10 * \sigma^{gl} \rightarrow$  giới hạn nền được lấy đến điểm 9 với độ sâu z = 37,648m kể từ đáy khối móng quy ước.

Độ lún của nền tính theo công thức:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{E_{oi}} \times h_i \times \sigma_i^{gl}$$

$$= \frac{0,8 * 4,706}{7000} * \left( \frac{11,718}{2} + 11,701 + 11,685 + 11,669 + 11,653 + 11,637 + 11,620 \right. \\ \left. + 11,604 + \frac{11,589}{2} \right)$$

$$= 0,0501 \text{ (m)} = 5,01 \text{ (cm)} < [S_{gh}] = 8\text{cm}$$

Trong đó:

- +  $\beta_i$ : là hệ số. Theo quy phạm, lấy  $\beta_i = 0,8$ ;
- +  $\mu_i$ : là hệ số nở hông của lớp đất thứ i;
- +  $\sigma_i$ : là ứng suất gây lún ở giữa lớp phân tổ thứ i;
- +  $h_i$ : là chiều dày lớp phân tổ thứ i, ( $h_i = 4,706\text{m}$ );

+  $E_{0i}$ : là môđun biến dạng của lớp đất thứ  $i$ , ( $E_{0i} = 7000T/m^2$ ).

### 1.3 Tính toán kết cấu thép thành bể

#### 1.3.1 Tính dầm đáy bể

- Chọn dầm đỡ đáy bồn là dầm I250x125x6x9 có:

+ Trọng lượng bản thân:  $g = 29,6 \text{ kg/m}$ ;

+ Mô men chống uốn:  $W_x = 311,5 \text{ cm}^3$ ;

+ Cường độ tính toán của vật liệu:  $R = 2100\text{kg/cm}^2$ ;

+ Hệ số điều kiện làm việc:  $\gamma = 0,9$

- Tải trọng tác dụng:

$$q = n \cdot q_s \cdot L_i = 1,2 \cdot 17,63 \cdot 0,5 = 10,578 \text{ T/m.}$$

Trong đó:

+  $n$ : là hệ số vượt tải ( $n = 1,2$ );

+  $q_s$ : là tải trọng phân bố trên sàn đáy bồn (kể cả trọng lượng thép – chiều dày tôn đáy chọn là 16mm):

$$q_s = q_{sp} + q_{kct} = 10 \cdot 1,75 + 0,016 \cdot 7,85 = 17,63 \text{ T/m}^2$$

+  $L_i$ : là khoảng cách giữa các dầm ( $L_i = 0,5\text{m}$ ).

- Nội lực dầm:

$$M = \frac{(g + q)}{8} \cdot L^2 = \frac{\frac{29,6}{1000} + 10,578}{8} \cdot 2,1^2 = 5,848 \text{ (T.m)}$$

- Mô men chống uốn yêu cầu của tiết diện dầm là:

$$W_x = \frac{M}{\gamma \cdot R} = \frac{5,848 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 2100} = 309,418 \text{ (cm}^3) < 311,5 \text{ (cm}^3)$$

Vậy tiết diện đã chọn đảm bảo yêu cầu chịu lực.

### 1.3.2 Tính thép đáy bể

- Chiều dày đáy bồn chọn là tôn dày 16mm có:

+ Cường độ tính toán của vật liệu:  $R = 2100 \text{ kg/cm}^2$ ;

+ Hệ số điều kiện làm việc:  $\gamma = 0,9$ .

Cắt 1 dải có bề rộng 1m để tính toán. Sơ đồ tính là dầm đơn giản kê trên dầm đáy bồn, kích thước tiết diện 1000x16mm.

- Mô men chống uốn của tiết diện:

$$J_x = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{100 \times 1,6^3}{12} = 34,133 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{2 \times J_x}{h} = \frac{2 \times 34,133}{1,6} = 42,666 \text{ cm}^3$$

- Tải trọng tác dụng:

$$q = n \cdot q_s \cdot b = 1,2 \cdot 17,63 \cdot 1 = 21,156 \text{ T/m.}$$

Trong đó:

+ n: là hệ số vượt tải ( $n = 1,2$ );

+  $q_s$ : là tải trọng phân bố trên sàn đáy bồn, theo mục 3.1;

+ b: là bề rộng dầm quy ước tính toán.

- Nội lực dầm:

$$M = \frac{q}{8} \cdot L^2 = \frac{21,156}{8} \cdot 0,5^2 = 0,661 \text{ (T.m)}$$

- Mô men chống uốn yêu cầu của tiết diện dầm là:

$$W_x = \frac{M}{\gamma \cdot R} = \frac{0,661 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 2100} = 34,79 \text{ (cm}^3) < 42,666 \text{ (cm}^3)$$

Vậy tiết diện đã chọn đảm bảo yêu cầu chịu lực.

### 1.3.3 Tính thép thành bồn

- Thành bồn chịu áp lực giảm dần theo chiều cao. Vậy để giảm trọng lượng bản thân và giảm chi phí, chiều dày thành bồn gồm:

- + Thép dày 16 mm (tầng 1, cao 1,5m tính từ đáy bồn);
- + Thép dày 14 mm (tầng 2, cao 1,5m);
- + Thép dày 12 mm (tầng 3, cao 1,5m);
- + Thép dày 10 mm (tầng 4-7 cao 5,5m).

- Thông số vật liệu

+ Cường độ tính toán của vật liệu:  $R = 2100\text{kg/cm}^2$ ;

+ Hệ số điều kiện làm việc:  $\gamma = 0,9$ .

- Sơ đồ tính:

+ Do áp lực hàng hóa (sản phẩm chứa trong bồn) là các lực pháp tuyến phân bố đều theo diện tích xung quanh thành bồn, chiều cao bể nhỏ so với chiều rộng và tải trọng gió là nhỏ so với trọng lượng bản thân bồn nên không cần và gia cường hệ khung và tính ổn định.

+ Lực nén theo phương đứng là nhỏ ( $1\text{ tấn}/1\text{m}$  thành bồn) < cường độ vật liệu.

+ Áp lực sản phẩm và tải trọng gió tác dụng lên thành bồn gây ra nội lực kéo, nén trong thành bồn, vậy cần kiểm tra điều kiện về cường độ kéo, nén của vật liệu.

- Khả năng chịu kéo (N) của tiết diện:

- Tải trọng tác dụng: Trường hợp nguy hiểm nhất gồm tổ hợp tải trọng bản thân, tải trọng hàng hóa chứa đầy ( $q_h$ ) và tải trọng gió chiều ( $q_g$ ) tạo ra lực kéo, nén trong kết cấu thành bể.

	Vị trí tính toán: Tại vị trí đáy tầng						
	1	2	3	4	5	6	7
$q_h^t(\text{T/m}^2)$	19,250	16,363	13,475	10,588	7,700	4,813	1,925
$q_g^t(\text{T/m}^2)$	0,147	0,155	0,161	0,165	0,171	0,176	0,191
$\Sigma q^t(\text{T/m}^2)$	19,397	16,518	13,636	10,753	7,871	4,989	2,116
$N^t = \Sigma q^t * b * D/2$ (T)	174,573	148,662	122,724	96,777	70,839	44,901	19,044
$d = N^t / \gamma * b / R_s$ (mm)	9,24	7,87	6,49	5,12	3,75	2,38	1,01
Kết quả	Tiết diện đã chọn đảm bảo yêu cầu chịu lực						

### **1.3.4 Tính thép mái bồn**

Do sản phẩm chứa trong bồn không bay hơi nên không tạo ra áp suất đối với kết cấu mái. Mặt khác, áp suất không khí tự nhiên là nhỏ nên kết cấu mái chọn theo cấu tạo và đảm bảo chịu được tải trọng bản thân. Chọn mái có dạng vòm để tăng cường khả năng chịu lực (chuyển lực đứng về lực nén trong kết cấu).

Kết cấu mái chọn: Mái làm bằng thép tấm dày 6mm, hệ khung sườn gia cường bằng thép thanh có tiết diện 60x6mm bố trí theo đường tròn đồng tâm và đường nối đỉnh và chu vi thành bồn.

**Nhận xét về thuyết minh tính toán bồn chứa của tư vấn thiết kế đã thực hiện:**

- Về tải trọng: không tính đến tải trọng động đất và áp lực thủy động của chất lỏng chứa trong bể.
- Kiểm tra bền và ổn định: có kiểm tra bền, không kiểm tra ổn định đàn hồi và đàn dẻo của thành bể.



## II. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH CỦA THÀNH BỂ CHỨA DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ĐỘNG ĐẤT

### 1.1 Quy trình đơn giản cho bể hình trụ có đáy cố định:

#### 1.1.1 Mô hình:

Hệ bể-chất lỏng được mô hình hóa bằng hai hệ một bậc tự do, hệ thứ nhất tương ứng với thành phần xung chuyển động cùng với thành bể mềm, hệ thứ hai tương ứng với thành phần đối lưu. Phản ứng xung và đối lưu được tổ hợp bằng cách tính tổng số học của chúng.

Chu kỳ riêng của các phản ứng xung và đối lưu theo đơn vị giây được tính theo Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E) như sau:

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_i$

$$T_i = C_i \cdot \frac{\sqrt{\rho \cdot H}}{\sqrt{\frac{s}{R} \cdot \sqrt{E}}}$$

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_c$

$$T_c = C_c \cdot \sqrt{R}$$

Trong đó:

H là chiều cao tính đến bề mặt tự do của chất lỏng

R là bán kính bể

s là chiều dày tương đương của thành bể (trung bình trọng lượng theo chiều cao bị thấm ướt của thành bể, trọng lượng có thể được lấy tỉ lệ với biên dạng trong thành bể, với giá trị lớn nhất tại đáy bể)

$\rho$  là khối lượng riêng của chất lỏng

E là môđun đàn hồi của vật liệu làm bể.

**Bảng A.2-**Các hệ số  $C_i$  và  $C_c$  đối với chu kỳ riêng, khối lượng  $m_i$  và  $m_c$  và chiều cao  $h_i$  và  $h_c$  kể từ đáy đến điểm tác động của hợp áp lực trên thành bể đối với các thành phần xung và đối lưu

H/R	$C_i$	$C_c$ (s/m <sup>1/2</sup> )	$m_i/m$	$m_c/m$	$h_i/H$	$h_c/H$	$h_i'/H$	$H_c'/H$
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,64	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,46	1,517
0,7	6,97	1,6	0,414	0,586	0,401	0,571	1,009	1,011
1,0	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,69	0,555	0,734
2,0	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,500	0,764
2,5	6,56	1,48	0,81	0,190	0,452	0,794	0,480	0,796
3,0	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

Các hệ số  $C_i$  và  $C_c$  xác định từ bảng A.2. Các hệ số  $C_i$  là vô hướng, trong đó nếu R đo bằng mét, thì  $C_c$  biểu thị bằng s/m<sup>1/2</sup>.

Các khối lượng xung và đối lưu  $m_i$  và  $m_c$  được cho trong bảng A.2 là một phần trong tổng khối lượng chất lỏng m, dọc theo chiều cao kể từ đáy đến điểm tác động của hợp áp lực thủy động xung và đối lưu lên thành bể,  $h_i$  và  $h_c$

### 1.1.2 Phản ứng động đất:

Tổng lực cắt đáy là:

$$Q = (m_i + m_w + m_r)S_e(T_i) + m_c S_e(T_c)$$

Trong đó:

$m_w$  là khối lượng của thành bể

$m_r$  là khối lượng của nắp bể

$S_e(T_i)$  là phổ gia tốc dạng xung thu được từ phổ phản ứng đàn hồi với giá trị cần phù hợp với trạng thái giới hạn

$S_e(T_c)$  là phổ gia tốc đối lưu, bằng 0,5% của phổ phản ứng đàn hồi

Mô men lật ngang phía trên bản đáy là:

$$M = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r)S_e(T_i) + m_c h_c S_e(T_c)$$

Với  $h_w$  và  $h_r$  theo thứ tự là chiều cao trọng tâm thành bể và nắp bể

Mômen lật ngang phía dưới đáy bể là:

$$M' = (m_i h'_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) + m_c h'_c S_e(T_c)$$

## 1.2 Kiểm tra mất ổn định thành bể chứa:

### 1.2.1 Kiểm tra mất ổn định đàn hồi:

Dạng mất ổn định này đã quan sát thấy ở những phần của thành bể nơi có chiều dày bị giảm so với chiều dày của đáy và/hoặc áp lực bên trong (có tác dụng ổn định) cũng bị giảm so với giá trị lớn nhất đạt tới ở đáy. Đối với bể có chiều dày thành không đổi hoặc thay đổi, việc kiểm tra mất ổn định đàn hồi được thực hiện tại đáy cũng như thành phía trên đáy. Do tác dụng ổn định của áp lực trong, việc kiểm tra cần dựa trên giá trị nhỏ nhất có thể của áp lực bên trong với tình huống thiết kế chịu động đất.

Việc kiểm tra có thể được thực hiện theo EN 1998-4: 2006

Có thể kiểm tra theo bất đẳng thức sau:

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{c1}} \leq 0,19 + 0,81 \frac{\sigma_p}{\sigma_{c1}}$$

Trong đó  $\sigma_m$  là ứng suất màng lớn nhất theo phương thẳng đứng,

$$\sigma_{c1} = 0,6E \frac{S}{R}$$

$\sigma_{c1}$  là ứng suất mất ổn định tới hạn lý tưởng đối với hình trụ chịu nén dọc trục, và

$$\sigma_p = \sigma_{c1} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\bar{p}}{5} \right)^2 \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{c1}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq \sigma_{c1}$$

Trong đó

$$\bar{p} = \frac{pR}{s\sigma_{c1}} < 5, p = \frac{\rho H}{s}$$

Với  $p$  là ký hiệu cho áp lực bên trong nhỏ nhất có thể trong tình huống thiết kế chịu động đất,

$$\sigma_0 = f_y \left( 1 - \frac{\lambda^2}{4} \right); \text{ nếu } \lambda^2 = \frac{f_y}{\sigma_{c1}} \leq 2$$

$$\sigma_0 = \bar{\sigma}\sigma_{c1} \text{ nếu } \lambda^2 \geq 2$$

Với:

$$\bar{\sigma} = 1 - 1,24 \left(\frac{\delta}{s}\right) \left[ \left(1 + \frac{2}{1,24\left(\frac{\delta}{s}\right)}\right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

Và  $\delta/s$  ký hiệu là tỷ số của biên độ sai sót lớn nhất so với chiều dày thành

bê:

$$\left(\frac{\delta}{s}\right) = \frac{0,06}{a} \sqrt{\frac{R}{s}}$$

Trong đó

$a = 1$  đối với công trình thông thường

$a = 1,5$  đối với công trình có chất lượng

$a = 2,5$  đối với công trình có chất lượng cao

### **1.2.2 Phá hoại đàn – dẻo:**

Dạng mất ổn định này (“chân voi”) thường xuất hiện gần đáy bê, do tổ hợp ứng suất nén thẳng đứng và ứng suất kéo vòng gây ra trạng thái ứng suất hai trục không đàn hồi. Trong bê có chiều dày thành thay đổi, việc kiểm tra đối với dạng mất ổn định này không được giới hạn ở tiết diện gần đáy bê, mà cần mở rộng tới tiết diện đáy của tất cả các phần thành bê có chiều dày không đổi.

Phương trình thực nghiệm được thiết lập dùng để kiểm tra dạng mất ổn định này là:

$$f_{pb}(\sigma_m) = \sigma_{c1} \left[ 1 - \left(\frac{PR}{sf_y}\right)^2 \right] \left(1 - \frac{1}{1,12 + r^{1,15}}\right) \left[\frac{r + \frac{f_y}{250}}{r + 1}\right]$$

Trong đó

$$PR = \sqrt{N_1^2 + N_c^2}$$

$$r = \frac{\frac{R}{s}}{400}$$

$f_y$  là cường độ chảy của vật liệu thành bể, đơn vị MPA

$P$  là áp lực bên trong lớn nhất có thể trong tình huống thiết kế chịu động đất, đơn vị MPA

### 1.3 Tính nội lực thành bể:

Lực cắt, Mômen, Lực dọc dưới tác dụng của tải trọng động đất.

Cường độ tính toán của vật liệu  $R=2100\text{kg/cm}^2$

Hệ số điều kiện làm việc  $\gamma=0,9$

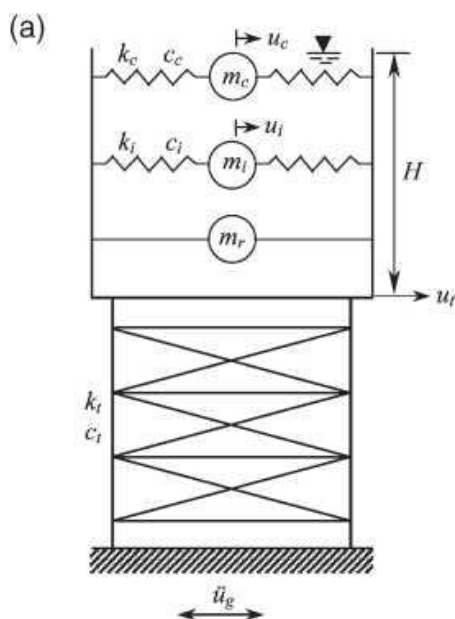
Đáy bể chịu tác dụng của động đất; Gia tốc nền  $u_g$

Áp lực của chất lỏng trong bể bao gồm:

+ Áp lực thủy tĩnh

+ Áp lực thủy động

Chất lỏng trong bể được chia thành 03 phần, mỗi phần được đặc trưng bằng khối lượng  $m_r, m_i, m_c$ , độ cứng  $k_i, k_c$ , độ cản  $c_i, c_c$ , mỗi khối lượng có một dịch chuyển  $u_i, u_c$



Hình 1. Bể chứa chất lỏng đặt trên giá đỡ xem như móng bể

### 1.3.1 Chu kỳ riêng của các phản ứng xung và đổi lưu:

Hệ bể-chất lỏng được mô hình hóa bằng hai hệ một bậc tự do, hệ thứ nhất tương ứng với thành phần xung chuyển động cùng với thành bể mềm, hệ thứ hai tương ứng với thành phần đổi lưu. Phản ứng xung và đổi lưu được tổ hợp bằng cách tính tổng số học của chúng.

Chu kỳ riêng của các phản ứng xung và đổi lưu theo đơn vị giây được tính theo Tiêu chuẩn EN 1998-4: 2006 (E) như sau:

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_i$

$$T_i = C_i \cdot \frac{\sqrt{\rho} \cdot H}{\sqrt{R} \cdot \sqrt{E}}$$

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_c$

$$T_c = C_c \cdot \sqrt{R}$$

Trong đó:

H là chiều cao tính đến bề mặt tự do của chất lỏng (m)

R là bán kính bể (m)

S là chiều dày tương đương của thành bể (m)

$\rho$  là khối lượng riêng của chất lỏng ( $\text{kg/m}^3$ )

E là môđun đàn hồi của vật liệu làm bể

Ta có:

$$H=10\text{m} \quad R=8,75\text{m} \quad \rho=1840\text{kg/m}^3$$

$$E=2 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$$

Chiều dày tương đương của thành bể:

$$S = \frac{0,016 \times 1,5 + 0,014 \times 1,5 + 0,012 \times 1,5 + 0,01 \times 5,5}{10} = 0,0118 \text{ (m)}$$

Nội suy từ bảng A.2, Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E) với tỷ số  $H/R = 10/8,75 = 1,14$  ta được

Hệ số  $C_i$  đối với chu kỳ riêng,  $C_i=6,276$

Hệ số  $C_c$  đối với chu kỳ riêng,  $C_c=1,51 \text{ (s/m}^{1/2}\text{)}$

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_i$

$$T_i = C_i \cdot \frac{\sqrt{1840 \cdot 10}}{\sqrt{\frac{0,0118}{8,75} \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{11}}}} = 6,267 \cdot \frac{\sqrt{1840 \cdot 10}}{\sqrt{\frac{0,0118}{8,75} \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{11}}}} = 0,1563 \text{ (s)}$$

Chu kỳ dao động riêng của khối lượng  $m_c$

$$T_c = C_c \cdot \sqrt{R}$$

$$T_c = 1,51 \cdot \sqrt{R} = 1,51 \cdot \sqrt{8,75} = 4,466 \text{ (s)}$$

**1.3.2 Xác định các khối lượng xung và đối lưu  $m_i$  và  $m_c$ , chiều cao kể từ đáy đến điểm tác động của hợp áp lực thủy động xung và đối lưu lên thành bể,  $h_i$ ,  $h_c$ ,  $h_{i'}$ ,  $h_{c'}$**

Tính khối lượng  $m$  của chất lỏng trong bể (axit  $H_2SO_4$  98%):

$$+ \text{ Thể tích của bể: } V = \pi \cdot R^2 \cdot H = 3,14 \cdot 8,75^2 \cdot 10 = 2404,063 \text{ m}^3$$

$$+ \text{ Khối lượng của chất lỏng trong bể (axit } H_2SO_4 \text{ 98%): } m = V \cdot \rho = 2404,063 \cdot 1840 = 4,423 \cdot 10^6 \text{ (kg)}$$

Xác định các đại lượng:  $m_i$ ,  $m_c$ ,  $h_i$ ,  $h_c$ ,  $h_{i'}$ ,  $h_{c'}$  bằng phương pháp nội suy từ bảng A.2, Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E) với tỷ số  $H/R = 10/8,75 = 1,14$ :

$$\frac{m_i}{m} = 0,58664 \Rightarrow m_i = 0,58664 \cdot m = 2,594 \cdot 10^6 \text{ (kg)}$$

$$\frac{m_c}{m} = 0,41336 \Rightarrow m_c = 0,41336 \cdot m = 1,282 \cdot 10^6 \text{ (kg)}$$

$$\frac{h_i}{H} = 0,4334 \Rightarrow h_i = 0,4334 \cdot H = 0,4334 \cdot 10 = 4,334 \text{ (m)}$$

$$\frac{h_c}{H} = 0,66928 \Rightarrow h_c = 0,66928 \cdot H = 0,66928 \cdot 10 = 6,6928 \text{ (m)}$$

$$\frac{h_{i'}}{H} = 0,675 \Rightarrow h_{i'} = 6,75 \text{ (m)}$$

$$\frac{h_{c'}}{H} = 0,7707 \Rightarrow h_{c'} = 7,71 \text{ (m)}$$

**1.3.3 Xác định nội lực:**

- Tổng lực cắt đáy (theo công thức A.37 của Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E)):

$$Q = (m_i + m_w + m_r) S_e(T_i) + m_c S_e(T_c)$$

Trong đó:

$m_w$  là khối lượng của thành bể

$m_r$  là khối lượng của nắp bể

$S_e(T_i)$  là phổ gia tốc dạng xung thu được từ phổ phản ứng đàn hồi với giá trị cân phù hợp với trạng thái giới hạn

$S_e(T_C)$  là phổ gia tốc đối lưu, bằng 0,5% của phổ phản ứng đàn hồi theo TCVN 9386:2012

Công trình thuộc khu vực quận Hải An, thành phố Hải Phòng. Căn cứ kết quả khảo sát địa chất và bảng 3.1 TCVN 9386:2012: Nền loại C

Giá trị của các tham số mô tả các phổ phản ứng đàn hồi  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  lấy theo Bảng 3.2 TCVN 9386:2012 đối với nền loại C

$$T_B=0,2 \quad T_C=0,6 \quad T_D=2$$

Phổ phản ứng đàn hồi  $S_e(T)$  được xác định bằng công thức theo TCVN 9386:2012

$$0 < T_i < T_B:$$

$$S_e(T_i) = a_g \cdot S \left[ 1 + \frac{T_i}{T_B} (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$S_e(T_C) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_b}{T_C^2} \right]$$

$a_g$ : gia tốc nền thiết kế trên nền loại C. Gia tốc nền lấy theo phụ lục H - TCVN 9386:2012: tính cho khu vực quận Hải An, thành phố Hải Phòng:

$$a_g = 0,1291 \cdot g = 0,1291 \cdot 9,81 = 1,26647 \left( \frac{m}{s} \right)$$

S là hệ số nền (nền loại C):  $S=1,15$

$\eta$  là hệ số điều chỉnh độ cản,  $\eta = 1$  khi độ cản 5%

Vậy:

$$S_e(T_i) = 0,1291 \cdot 9,81 \cdot 1,15 \left[ 1 + \frac{0,1563}{0,2} \cdot 1,15 \right] = 3,1637 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$S_e(T_C) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_b}{T_C^2} \right]$$

$$S_e(T_C) = 0,1291 \cdot 9,81 \cdot 1,15 \cdot 2,5 \left[ \frac{0,6 \cdot 2}{4,466^2} \right] = 0,219 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Momen lật ngang phía trên bản đáy (theo công thức A.38 của Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E)):



$$M = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) + m_c h_c S_e(T_c)$$

Với  $h_w$  và  $h_r$  theo thứ tự là chiều cao trọng tâm thành bể và nắp bể

Khối lượng của thành bể (bể thép):

$$m_w = 23285,02 \text{ kg} = 0,02328502 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

Khối lượng nắp bể thép:

$$m_r = 7309,242 \text{ kg} = 0,007309,242 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

Chiều cao trọng tâm của thành bể:

$$h_w = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 + m_4 h_4}{m_w}$$

Trong đó: khối lượng của thành bể tính theo chiều dày tầng

$$m_1 = 5173,924 \text{ kg}$$

$$m_2 = 4527,442 \text{ kg}$$

$$m_3 = 3880,886 \text{ kg}$$

$$m_4 = 9702,771 \text{ kg}$$

Suyra

$$h_w = \frac{5173,924 \cdot 0,75 + 4527,442 \cdot 2,25 + 3880,886 \cdot 3,75 + 9702,771 \cdot 7,25}{23285,02}$$

$$h_w = \frac{64035,85}{23285,02} = 2,75 \text{ (m)}$$

Chiều cao trọng tâm của nắp bể:

$$h_r = 10 + \frac{2,5}{2} = 11,25 \text{ (m)}$$

Thay các giá trị vào công thức tính M:

$$m_i = 2,594 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

$$m_c = 1,828 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

$$m_w = 0,02328502 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

$$m_r = 0,007309,242 \cdot 10^6 (\text{kg})$$

$$h_w = 2,75 \text{ (m)}$$

$$h_r = 11,25 \text{ (m)}$$

$$h_i = 4,334 \text{ (m)}$$

$$h_c = 6,6928 \text{ (m)}$$

$$S_e(T_i) = 3,1637 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$S_e(T_c) = 0,219 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$M = 21518544 \text{ kg} \cdot \frac{m^2}{s^2} = 21,52 \text{ MNm}$$

Tính mômen lật ngang phía dưới đáy bể (theo công thức A.39 của Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E)):

$$M' = (m_i h'_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) + m_c h'_c S_e(T_c)$$

Thay các giá trị đã tính được vào công thức, ta có:

$$M' = 32712824 \text{ kg} \cdot \frac{m^2}{s^2} = 32,71 \text{ MNm}$$

#### 1.3.4 Xác định lực dọc do khối lượng chất lỏng $m_i$ và $m_c$ gây ra:

$$\text{Tỷ số } \frac{D}{H} = \frac{17,5}{10} = 1,75 > 1,333$$

Lực dọc do khối lượng chất lỏng  $m_i$  và  $m_c$  gây ra tính theo API 650:

$$N_i = 8,48 A_i G D H \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right)$$

$$N_c = \frac{1,85 A_c G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]}$$

Y là khoảng cách từ mặt chất lỏng đến điểm khảo sát:

$$Y = 10 - 0,3 = 9,7 \text{ (m)}$$

Hệ số  $A_i$ ,  $A_c$  được xác định bằng các công thức

$$A_i = \frac{S_e(T_i)}{a_g} = \frac{3,1637}{1,26647} = 2,49805$$

$$A_c = \frac{S_e(T_c)}{a_g} = \frac{0,219}{2,26647} = 0,172922$$

$$N_i = 8.48 * 0.249805 * 1.84 * 17.5 * 10 * (0.97 - 0.5 * 0.97^2) * \text{Tanh}[1.5155] = 309,368 \text{ (kN/m)}$$

$$N_c = 1.85 * 0.0172922 * 1.84 * 17.5^2 * \text{Cosh}[3.68 * 0.3/17.5] / \text{Cosh}[36.8/17.5] = 4,34633 \text{ (kN/m)}$$

## 1.4 Xác định ứng suất kéo vòng động lực và ứng suất nén dọc trục giới hạn Euler:

Lực vòng tĩnh:  $N_h = yR\rho = 18.4 * 9.7 * 17.5/2 = 1561,7$

Ứng suất kéo vòng động lực tính theo API 650:

$$\sigma_t = \frac{N_h + \sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t_w}$$

$t_w = s = 11,8$

$\sigma_t = 1532.03/11.8 + \text{Sqrt}[309.368^2 + 4.34633^2]/11.8 = 156,053 \text{ MPa}$

Ứng suất nén dọc trục giới hạn Euler:

$$\sigma_c = \frac{0,605 \cdot E_w \cdot t_w}{R}$$

$= 0.605 * 2 * 10^5 * 11.8/8750$

$= 163,177 \text{ MPa}$

## 1.5 Kiểm tra mất ổn định đàn hồi:

Theo Tiêu chuẩn EN 1998-4:2006 (E)

$$\sigma_m \leq 0,19\sigma_{c_1} + 0,81\sigma_p \quad (\text{A.62})$$

$\sigma_m$  là ứng suất nén dọc do nội lực của thành bể gây nên

$0,19\sigma_{c_1} + 0,81\sigma_p$  là ứng suất cho phép

$$\sigma_{c_1} = 0,6E \frac{S}{R} \quad (\text{A.63})$$

$$\sigma_{c_1} = 0,6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{11,8}{8750} = 163,177 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_p = \sigma_{c_1} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\bar{P}}{5} \right)^2 \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{c_1}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.64})$$

Áp dụng công thức A.65 (EN 1998:2006 (E)) và công thức (3.2.1.4a), (3.2.4.4a) của API 650, ta có:

$$\bar{P} = \frac{1}{48} \cdot \frac{\rho \cdot H \cdot D^2}{t_w^2}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{48} \cdot \frac{1,84 \cdot 10 \cdot 17,5^2}{11,8^2} = 0,843 < 5$$

Tính  $\sigma_0$

$$\text{Có } \lambda^2 = \frac{f_y}{\bar{\sigma}\sigma_{c_1}} = \frac{275}{0,301247 \cdot 163,177} = 5,5 > 2$$

Với  $f_y$  là hệ số chảy dẻo của thép,  $f_y = 275 \text{ MPa}$

$$\bar{\sigma} = 1 - 1,24 \left( \frac{\delta}{S} \right) \left[ \left( 1 + \frac{2}{1,24 \left( \frac{\delta}{S} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (\text{A.67})$$

$$\left( \frac{\delta}{S} \right) = \frac{0,06}{a} \sqrt{\frac{R}{S}} \quad (\text{A.68})$$

Lấy  $a = 2,5$  đối với công trình có chất lượng cao

$$\left( \frac{\delta}{S} \right) = \frac{0,06}{2,5} \sqrt{\frac{R}{S}} = \frac{0,06}{2,5} \sqrt{\frac{8750}{11,8}} = 0,653543$$

$$\bar{\sigma} = 1 - 1,24 \cdot 0,653563 \left[ \left( 1 + \frac{2}{1,24 \cdot 0,653563} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] = 0,301247$$

$\lambda^2 > 2$ , nên áp dụng công thức (A.66b)

$$\sigma_0 = \bar{\sigma}\sigma_{c_1} = 49,1566 \text{ (MPa)}$$

Thay các giá trị vào công thức (A.64) có

$$\sigma_p = 132,819 \text{ MPa}$$

Vậy ứng suất cho phép  $0,19\sigma_{c_1} + 0,81\sigma_p = 163,177 \cdot 0,19 + 0,81 \cdot 132,819 = 138,587 \text{ MPa}$

$$\text{Xác định } \sigma_m = \left( \frac{W_r + W_w + W_L}{0,607 - 0,18667 \cdot J^{2,3}} - W_L \right) \cdot \frac{1}{t_w \cdot t_a}$$

$$t_w = S = 11,8 \text{ mm}$$

$t_a = t_1 = 16 \text{ mm}$  là chiều dày thành bể sát đáy bể

Ta có theo API 650

$$W_r = \frac{W_r}{2\pi R} = \frac{m_r \cdot g}{2\pi \cdot 8,75} = \frac{0,007309 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,75} = 1304,18$$

$$W_w = \frac{W_w}{2\pi R} = \frac{m_w \cdot g}{2\pi \cdot 8,75} = \frac{0,02328502 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,75} = 4154,86$$

$$W_L = 99 t_a \sqrt{f_y \rho H}$$

$$W_L = 99 \cdot 0,016 \sqrt{275 \cdot 1,84 \cdot 10} = 2003,76$$

$$\text{Hệ số truyền } J = \frac{M}{D^2 (W_r + W_w + W_L)}$$

M là mô men lật ngang phía trên bản đáy,  $M = 21,52 \text{ MNm}$

$$J = \frac{21,52 \cdot 10^5}{17,5^2(1304,18 + 4154,86 + 2003,76)} = 0,9415$$

$$0,785 < J < 1,54$$

$$\sigma_m = \left( \frac{W_r + W_w + W_L}{0,607 - 0,18667 \cdot J^{2,3}} - W_L \right) \cdot \frac{1}{t_w \cdot t_a}$$

$$\sigma_m = \left( \frac{1304,18 + 4154,86 + 2003,76}{0,607 - 0,18667 \cdot 0,9415^{2,3}} - 2003,76 \right) \cdot \frac{1}{11,8 \cdot 16} = 92,4187 \text{ MPa}$$

Với kết quả tính toán như trên ta có:

$$\sigma_m = 92,4187 \text{ MPa} < 0,19\sigma_{c_1} + 0,81\sigma_p = 138,587 \text{ MPa}$$

**Thỏa mãn bất đẳng thức trên có thể kết luận: thành bể ổn định đàn hồi**

## 1.6 Kiểm tra phá hoại đàn dẽo:

Theo API 650, phương trình thực nghiệm được giới hạn dùng để kiểm tra dạng bất ổn định này là:

$$f_{pb}(\sigma_m) = \sigma_{c1} \left[ 1 - \left( \frac{PR}{Sf_y} \right)^2 \right] \left( 1 - \frac{1}{1,12 + r^{1,15}} \right) \left[ \frac{r + \frac{f_y}{250}}{r + 1} \right]$$

$$\text{Trong đó: } r = \frac{\frac{R}{s}}{400} = \frac{\frac{8,75}{0,0118}}{400} = 1,8538$$

$f_y$  là cường độ chảy của vật liệu thành bể, đơn vị MPA,  $f_y = 275 \text{ MPA}$

P là áp lực bên trong lớn nhất có thể trong tình huống thiết kế chịu động đất, đơn vị MPA

Ta có  $\frac{PR}{S} = \frac{\sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t_w}$  là áp lực thủy động tác dụng lên thành bể

$$\frac{PR}{S} = \frac{\sqrt{309,368^2 + 4,34633^2}}{11,8} = 26,2202 \text{ MPA}$$

$$f_{pb}(\sigma_m) = 114,292 \text{ MPA}$$

So sánh ứng suất kéo vòng động lực và ứng suất cho phép ta có:

$$\sigma_t = 156,053 \text{ MPA} > f_{pb}(\sigma_m) = 114,292 \text{ MPA}$$

**Thỏa mãn bất đẳng thức trên có thể kết luận: thành bể mất ổn định đàn dẽo.**

## Chương 3:

# TÍNH TOÁN ỨNG DỤNG SỐ TÌM PHẢN ỨNG ĐỘNG LỰC CỦA BỂ CHỨA CHẤT LỎNG CHỊU TÁC DỤNG ĐỘNG ĐẤT

EN1998-4 là phần thứ 4 của Tiêu chuẩn châu Âu – EC8 hướng dẫn thiết kế công trình chịu động đất liên quan đến silo, bể chứa, đường ống. Tại phụ lục A, mục 3 hướng dẫn quy trình phân tích ứng xử động đất đối với bể chứa nêu rõ việc lựa chọn quy trình, thuật toán, mô hình phân tích đáp ứng động đất phụ thuộc vào người thiết kế. Chương này giới thiệu quy trình và kết quả phân tích đáp ứng động đất của bể chứa theo một trong các mô hình mà EC8.4 gợi ý, đó là mô hình do Haroun đề xuất vào năm 1983 [2] và giải số trực tiếp bằng phần mềm Mathematica.7, nhằm làm rõ việc lựa chọn quy trình và công cụ tính toán bể chứa chất lỏng chịu tác động động đất.

### 1.1 Đặt vấn đề

Bể chứa chất lỏng phổ biến là bể trụ đứng. Dưới tác động của động đất, có sự tương tác rất phức tạp liên quan đến tác động của ba thành phần là chất lỏng, kết cấu bể chứa và liên kết bể chứa với đất nền (móng). Các mô hình tính toán đơn giản hóa sự tương tác phức tạp giữa chất lỏng và bể chứa bằng cách thay thế chất lỏng bằng các khối lượng liên kết với thành bể thông qua các lò xo. Từ đó ta có thể dự đoán được đáp ứng động đất của bể chứa thông qua các giá trị đặc trưng như: lực cắt đáy, mômen lật, chiều cao lớn nhất của sóng sloshing, dịch chuyển của bể...

Các nghiên cứu về đáp ứng động đất của bể chứa chất lỏng đã có từ hơn 30 năm. Housner, 1963 đã đề xuất mô hình đơn giản dạng lò xo (mass spring model) và mô hình này vẫn còn sử dụng rộng rãi đến ngày nay. Chất lỏng được chia thành 2 phần: thành phần xung cứng (impulsive) sát với đáy bể, gắn cố định với thành bể coi là tuyệt đối cứng; thành phần đối lưu (convective hay sloshing) gắn với mặt thoáng của chất lỏng, gắn với thành bể bằng các lò xo. Trong nghiên cứu tiếp theo, Housner đã điều chỉnh mô hình trên khi kể tới độ mềm của

thành bể (hay biến dạng của thành bể), áp lực thủy động lên thành bể mềm được ghi nhận là lớn hơn so với thành bể cứng và phụ thuộc vào hiệu ứng tương tác giữa thành bể - chất lỏng bên trong (fluid structure interaction – FSI) và được Veletsos và Yang, 1976 phát triển. Thành phần xung cứng được điều khiển bởi tương tác thành bể - chất lỏng và phụ thuộc lớn vào biến dạng của thành bể, trong khi thành phần xung mềm gây ra hiện tượng sóng bề mặt sloshing.

Haroun, 1983 [2] xây dựng mô hình bằng cách chia thành phần xung cứng thành 2 phần như hình 1, một phần liên kết gắn cứng với đáy bể và một phần còn lại tham gia vào quan hệ dịch chuyển có kể tới biến dạng thành bể cùng với thành phần đối lưu.

Tiếp theo là mô hình do Veletsos, 1984 đề xuất phát triển từ mô hình của Haroun, 1963 chia chất lỏng thành các phần bao gồm thành phần xung cứng gắn cố định với thành bể, còn thành phần đối lưu được chia thành  $n$  phần gắn với thành bể bằng các lò xo. Mô hình này cũng tính đến biến dạng của thành bể. Mô hình của Malhotra, 2000 đã làm đơn giản hóa mô hình của Veletsos, 1984.

EC8.4 đã giới thiệu tất cả các mô hình trên trong phần phụ lục A. Bài báo này sẽ giới thiệu mô hình của Haroun [2] khi phân tích đáp ứng động đất của bể chứa chất lỏng đặt trên cao được cách chân đáy.

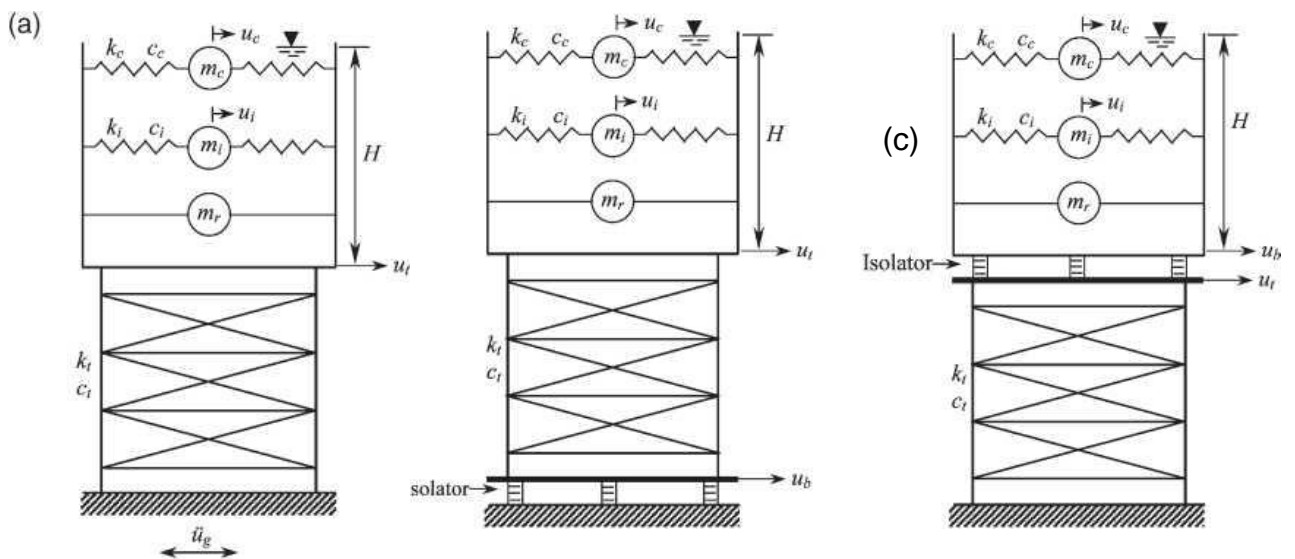
## **1.2 Giới thiệu mô hình tính toán bể chứa của Haoroun**

Haroun, 1983 [2] đề xuất mô hình ba bậc tự do của bể chứa trụ đứng (hình 1a). Chất lỏng trong bể chứa được giả thiết không nén được, không nhớt và không xoáy. Khi đó tương tác chất lỏng – kết cấu được đại diện bởi các khối lượng tương đương của chất lỏng. Trong quá trình chịu lực tác động động đất, khối lượng tổng cộng của chất lỏng dao động chia thành 3 phần riêng biệt:  $m_c$  khối lượng sloshing hay đối lưu (phần nằm ngay dưới mặt thoáng, làm thay đổi mặt thoáng của chất lỏng);  $m_i$  khối lượng xung cứng (phần chất lỏng ở khoảng giữa, dao động dọc theo thành bể);  $m_r$  khối lượng gắn cứng với đáy bể (phần dưới cùng, chuyển động như vật thể rắn cùng thành bể). Khối lượng  $m_c$ ,  $m_i$  liên



kết với thành bể bằng những lò xo có độ cứng tương ứng là  $k_c$ ,  $k_i$  và có độ cản tương ứng là  $c_c$ ,  $c_i$ .

Trong mô hình này, phần chất lỏng mi chuyển động độc lập với thành bể, ngược với chuyển động đối lưu do mc gây ra. Khi kể tới độ mềm của thành bể, ngoài thành phần mi chuyển động độc lập với thành bể thì khối lượng còn lại  $m_r$  chuyển động qua lại cùng với thành bể. Thành phần mi chính là đặc trưng cho tương tác chất lỏng – kết cấu.



Hình 2. Mô hình tính toán theo đề xuất của Haroun

$u_c$ ,  $u_i$  và  $u_t$  là các dịch chuyển tuyệt đối của khối lượng đối lưu, khối lượng xung cứng và trụ đỡ theo phương tác động ngang của kích động động đất.

Sau đây khảo sát hai trường hợp của bể chứa trên cao đặt trên trụ đỡ theo mô hình đề xuất.

Trường hợp I: bể chứa có trụ đỡ coi là cố định vào nền (hình 2.a)

Trường hợp II: bể chứa trụ đỡ đặt trên cao, cách chẵn theo 2 dạng ( hình 2.b, 2.c):

+ Dạng 1: Gói cách chẵn được đặt giữa đáy của trụ đỡ và móng (hình 2.b)

+ Dạng 2: Gói cách chấn được đặt giữa đáy của bể chứa và đỉnh của trụ đỡ (hình 2.c).

Trong trường hợp II, bể chứa có thêm 1 bậc tự do tương ứng với biến dạng của hệ cách chấn được ký hiệu là  $u_b$ . Hệ cách chấn được đề cập là gói cao su dạng tấm với các lớp xen kẽ là các tấm thép và cao su. Các tấm thép có tác dụng làm tăng độ cứng chống lại dịch chuyển ngang. Quan hệ lực – biến dạng của gói cách chấn là tuyến tính có kể tới cản nhớt. Ảnh hưởng của dịch chuyển và rung lắc không được kể đến. Trọng lượng bản thân của trụ đỡ, hệ cách chấn được giả thiết tương ứng bằng 10%; 5% của khối lượng chất lỏng [3].

Các khối lượng hiệu dụng  $m_c$ ,  $m_i$ ,  $m_r$  được xác định theo các tham số không thứ nguyên:

$$m_c = Y_c \cdot m$$

$$m_i = Y_i \cdot m$$

$$m_r = Y_r \cdot m$$

trong đó:  $Y_c$ ,  $Y_i$ ,  $Y_r$  là tỷ số khối lượng tương ứng với các thành phần đối lưu, xung cứng và gắn cứng;  $m = \pi R^2 H \rho_w$  là khối lượng chất lỏng tại chiều cao  $H$ ;  $\rho_w$  trọng lượng riêng của chất lỏng;  $\omega_c$  và  $\omega_i$  tần số dao động tự nhiên tương ứng của thành phần đối lưu và xung cứng;

Các tham số  $Y_c$ ,  $Y_i$ ,  $Y_r$  và  $P$  là các hàm số của tỷ số hình dạng  $S=H/R$  (trong đó  $P$  là tham số không thứ nguyên nhằm xác định tần số tự nhiên của khối lượng xung cứng), lấy từ các đường cong điều chỉnh trong các biểu đồ cho trường hợp

$t_h/R=0.004$  được xác định theo các biểu thức đề xuất bởi Haroun, 1983 [2]

thông qua thực nghiệm:

$$\begin{Bmatrix} Y_c \\ Y_t \\ Y_r \\ P \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.01327 & -0.8757 & 0.35708 & 0.06692 & 0.00439 \\ -0.15467 & 1.21716 & -0.62839 & 0.14434 & -0.0125 \\ -0.01599 & 0.86356 & -0.30941 & 0.04083 & 0 \\ 0.037085 & 0.084302 & -0.05088 & 0.012523 & -0.0012 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ S \\ S^2 \\ S^3 \\ S^4 \end{Bmatrix}$$

(1.2)

Các tần số tự nhiên của khối lượng xung cứng và đối lưu cũng được xác định theo phương trình đề xuất bởi Haroun, 1983 [2]:

$$\omega_i = \frac{P}{H} \sqrt{\frac{E}{\rho_s}} \cdot \frac{1}{2\pi} \quad (2)$$

$$\omega_c = \sqrt{1,84 \left(\frac{g}{R}\right) \tanh(1,84S)} \cdot \frac{1}{2\pi} \quad (3)$$

Trong đó:  $\rho_s$  là trọng lượng riêng của thành bể; E là môđun đàn hồi của vật liệu thành bể; g là gia tốc trọng trường.

Độ cứng tương đương, độ cản của khối lượng đối lưu và xung cứng được xác định theo [3]:

$$k_c = m_c \omega_c^2 \quad (4)$$

$$k_i = m_i \omega_i^2 \quad (5)$$

$$c_c = 2\xi_c m_c \omega_c \quad (6)$$

$$c_i = 2\xi_i m_i \omega_i \quad (7)$$

Với  $\xi_i, \xi_c$  lần lượt là tỷ số cản của khối lượng đối lưu, khối lượng xung cứng tương ứng được lấy bằng các giá trị 0,5% và 2% tương ứng [3].

### 1.3 Phương trình chuyển động

Phương trình chuyển động của bể chứa chất lỏng dưới tác động của kích động động đất theo phương ngang được mô tả theo [3], đây là phương trình động lực học quen thuộc trên cơ sở áp dụng nguyên lý Hamilton:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = -[m]\{r\}\ddot{u}_g \quad (8)$$

Trong đó  $\{x\}$  và vectơ dịch chuyển;  $[m]$ ,  $[c]$  và  $[k]$  lần lượt là ma trận khối lượng, độ cản và độ cứng của hệ;  $\{r\}$  là vectơ hệ số ảnh hưởng;  $\ddot{u}_g$  là gia tốc nền theo phương ngang.

**1.3.1 Trường hợp I: Khi hệ không có cách chấn đáy vector dịch chuyển được xác định.**

$$\{x\} = \{x_c, x_i, x_t\}^T$$

Trong đó  $x_c = u_c - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;  $x_i = u_i - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;  $x_t = u_t - u_g$  là dịch chuyển tương đối của trụ đỡ với đất nền. Các ma trận được xác định như sau theo [3]:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c \\ 0 & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M + m_b \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[c] = \text{diag}[c_c, c_i, c_t] \quad (10)$$

$$[k] = \text{diag}[k_c, k_i, k_t] \quad (11)$$

$$\{r\} = \{0, 0, 1\}^T \quad (12)$$

Trong đó  $M = m_c + m_i + m_r$  là khối lượng hiệu dụng của bể chứa;  $m_b = 0,05m$  (hay 5% khối lượng chất lỏng) là khối lượng móng bể, tham số các ma trận trên được tính theo các công thức từ (1.1) đến (7), (13), (14).

Độ cứng  $k_t$  và độ cản  $c_t$  của trụ đỡ được xác định như sau:

$$k_t = \left(\frac{2\pi}{T_t}\right)^2 (M + 0.05m) \quad (13)$$

$$c_t = 2\xi_t(M + 0.05m)\omega_t \quad (14)$$

Trong đó:  $T_t, \xi_t$  lần lượt là chu kỳ, tỉ số cản của kết cấu trụ đỡ.

### 1.3.2 Trường hợp II: Khi hệ có cách chấn đáy:

1.3.2.1 Dạng 1: Khi cách chấn được đặt giữa đáy của trụ đỡ và móng.

$$\{x\} = \{x_c, x_i, x_t, x_b\}^T$$

Trong đó  $x_c = u_c - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;  $x_i = u_i - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;  $x_t = u_t - u_g$  là dịch chuyển tương đối của trụ đỡ;  $x_b = u_b - u_g$  là dịch chuyển tương đối của gối. Các ma trận được xác định theo [3]:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c & m_c \\ 0 & m_i & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M + m_b & M + m_b \\ m_c & m_i & M + m_b & M + 3m_b \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$[c] = \text{diag}[c_c, c_i, c_t, c_b] \quad (16)$$

$$[k] = \text{diag}[k_c, k_i, k_t, k_b] \quad (17)$$

$$\{r\} = \{0, 0, 0, 1\}^T \quad (18)$$

Độ cứng  $k_b$  và độ cản  $c_b$  của gối cách chấn được xác định như sau:

$$k_b = \left(\frac{2\pi}{T_b}\right)^2 (M + 0.15m) \quad (19)$$

$$c_b = 2\xi_b(M + 0.05m)\omega_b \quad (20)$$

Trong đó:  $T_b, \xi_b$  lần lượt là chu kỳ, tỉ số cản của hệ gối cách chân;  $\omega_b$  là tần số của hệ gối cách chân, tham số các ma trận trên được tính theo các công thức từ (1.1) đến (7), (13), (14), (19), (20).

*1.3.2.2 Dạng 2: Khi cách chân được đặt giữa đáy của bể chứa và đỉnh của trụ đỡ.*

$$\{x\} = \{x_c, x_i, x_t, x_b\}^T$$

Trong đó  $x_c = u_c - u_b$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;  $x_i = u_i - u_b$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;  $x_b = u_b - u_t$  là dịch chuyển tương đối của gối;  $x_t = u_t - u_g$  là dịch chuyển của trụ đỡ. Các ma trận được xác định theo [3]:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c & m_c \\ 0 & m_i & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M + m_b & M + m_b \\ m_c & m_i & M + m_b & M + 2m_b \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$[c] = \text{diag}[c_c, c_i, c_t, c_b] \quad (22)$$

$$[k] = \text{diag}[k_c, k_i, k_t, k_b] \quad (23)$$

$$\{r\} = \{0, 0, 0, 1\}^T \quad (24)$$

Độ cứng  $k_b$  và độ cản  $c_b$  của gối cách chân được xác định như sau:

$$k_t = \left(\frac{2\pi}{T_t}\right)^2 (M + 0.1m) \quad (25)$$

$$k_b = \left(\frac{2\pi}{T_b}\right)^2 M \quad (26)$$

$$c_t = 2\xi_t(M + 0.1m)\omega_t \quad (27)$$

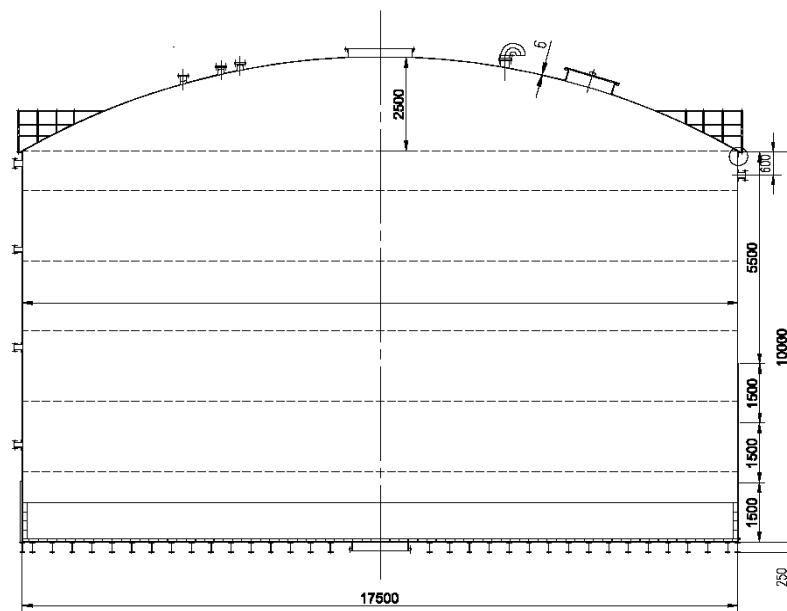
$$c_b = 2\xi_b M \omega_b \quad (28)$$

tham số các ma trận trên được tính theo các công thức từ (1.1) đến (7), (25), (26), (27), (28).

## 1.4 Bài toán lấy làm ví dụ áp dụng:

### 1.4.1 Mô tả bài toán:

Bài toán lấy làm ví dụ áp dụng ở đây là bể chứa axit Sunfuric 98% bằng thép, kích thước hình dáng như hình vẽ:



Hình 3. Hình dáng và kích thước bể chứa

- + Bể làm bằng vật liệu thép
- + Chiều cao của thành bể: 10 m.
- + Đường kính bể: 17,5m.
- + Chiều dày thành bồn gồm: Tầng 1 dày 16 mm, cao 1,5 m tính từ đáy bồn; Tầng 2 dày 14 mm, cao 1,5 m; Tầng 3 dày 12 mm, cao 1,5 m; Tầng 4-7 dày 10 mm, cao 5,5 m.
- + Chiều dày nắp bể: 6 mm

+ Cường độ tính toán của vật liệu  $R=2100\text{kg/cm}^2$

+ Hệ số điều kiện làm việc  $\gamma = 0,9$

+  $f_y$  là cường độ chảy của vật liệu thành bê thép, đơn vị MPA,  $f_y = 275\text{MPa}$

+ Môđun đàn hồi của vật liệu làm bê  $E = 2.10^{11}\text{N/m}^2$

+ Khối lượng riêng của axit sunfuric 98%,  $\rho = 1840\text{kg/m}^3$

### **1.4.2 Lập hệ phương trình vi phân chuyển động:**

*1.4.2.1 Tính toán các phần tử của các ma trận khối lượng, độ cứng, độ cản:*

$$\rho=0.0184$$

$$s=h/r$$

$$y_c=1.01327-0.8757*s+0.35708*s^2+0.06692*s^3+0.00439*s^4$$

$$y_i=-0.15467+1.21716*s-0.62839*s^2+0.14434*s^3-0.0125*s^4$$

$$y_r=-0.01599+0.863565*s-0.30941*s^2+0.04083*s^3$$

$$p=0.037085+0.084302*s-0.05088*s^2+0.012523*s^3-0.0012*s^4$$

$$m=3.1416*r^2*h*\rho$$

$$44.2573$$

$$m_c=y_c*m$$

$$m_i=y_i*m$$

$$m_r=y_r*m$$

$$M=m_c+m_i+m_r$$

$$m_b=0.05*m$$



$$\omega_c = (1/2/3.1416) * \text{Sqrt}[1.841 * 9.81 * \text{Tanh}[1.841 * s]/r]$$

$$\omega_i = (1/2/3.1416) * (p/h) * \text{Sqrt}[2 * 10^{10}/7900]$$

$$k_c = m_c * \omega_c^2$$

$$1.31672$$

$$k_i = m_i * \omega_i^2$$

$$c_c = 2 * 0.005 * m_c * \omega_c$$

$$c_i = 2 * 0.02 * m_i * \omega_i$$

$$k_t = (2 * 3.1416 / 0.5)^2 * (M + m_b)$$

$$c_t = 2 * 1.0 * (M + m_b) * 2$$

Với

$$h = 10$$

$$r = 8.75$$

ta có:

$$m_c = 25.9455;$$

$$m_i = 26.9858;$$

$$M = 80.7143;$$

$$m_b = 2.21286;$$

$$c_c = 0.058449;$$

$$c_i = 2.28576;$$

$$c_t = 208.419;$$

$$k_c = 1.31672;$$

$$k_i = 121.005;$$

$$k_t = 13095.4;$$

Phương trình chuyển động có dạng :

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = -[m]\{r\}\ddot{u}_g \quad (8)$$

trong đó

$$\{x\} = \{x_c, x_i, x_t\}^T$$

$x_c = u_c - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;  $x_i = u_i - u_t$  là dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;  $x_t = u_t - u_g$  là dịch chuyển tương đối của trụ đỡ với đất nền,

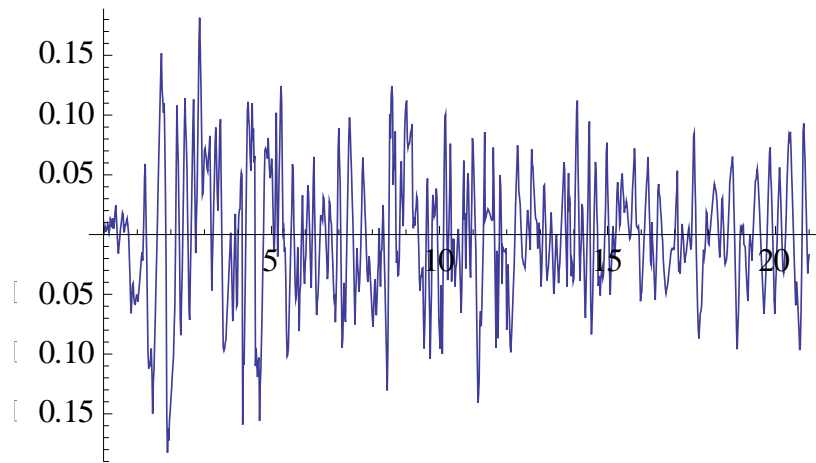
$$[m] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c \\ 0 & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M + m_b \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[c] = \text{diag}[c_c, c_i, c_t] \quad (10)$$

$$[k] = \text{diag}[k_c, k_i, k_t] \quad (11)$$

$$\{r\} = \{0, 0, 1\}^T \quad (12)$$

$\ddot{u}_g$  là gia tốc nền theo phương ngang trong bài toán gia tốc nền theo phương ngang lấy theo trận động đất El Centro 1940



Hình 4. Giảm đồ gia tốc nền theo phương ngang lấy theo trận động đất El Centro 1940

Bảng 1. Bảng số giá trị gia tốc nền theo phương ngang lấy theo trận động đất El Centro 1940 trong 5s đầu tiên

$\{0.* 10^0 + 000,3.0591 * 10^{-004}\}, \{2.* 10^{-002}, 1.9374299 * 10^{-003}\}$   
 $\{4.* 10^{-002}, 6.93396 * 10^{-003}\}, \{6.* 10^{-002}, 2.95713 * 10^{-003}\},$   
 $\{8.* 10^{-002}, 2.95713 * 10^{-003}\}, \{1.* 10^{-001}, 5.5063799 * 10^{-003}\}$   
 $\{1.2 * 10^{-001}, 8.4635099 * 10^{-003}\}, \{1.4 * 10^{-001}, 5.40441 * 10^{-003}\}$   
 $\{1.6 * 10^{-001}, 1.4275799 * 10^{-003}\}, \{1.8 * 10^{-001}, 5.40441 * 10^{-003}\}$   
 $\{2.* 10^{-001}, 1.3663979 * 10^{-002}\}, \{2.2 * 10^{-001}, 1.2644279 * 10^{-002}\}$   
 $\{2.4 * 10^{-001}, 6.7300197 * 10^{-003}\}, \{2.6 * 10^{-001}, 6.2201697 * 10^{-003}\},$   
 $\{2.8 * 10^{-001}, 1.356201 * 10^{-002}\}, \{3.* 10^{-001}, 4.9965299 * 10^{-003}\}$   
 $\{3.2 * 10^{-001}, 9.78912 * 10^{-003}\}, \{3.4 * 10^{-001}, 1.9170359 * 10^{-002}\},$   
 $\{3.6 * 10^{-001}, 2.4778708 * 10^{-002}\}, \{3.8 * 10^{-001}, 1.356201 * 10^{-002}\},$   
 $\{4.* 10^{-001}, 4.6906197 * 10^{-003}\}, \{4.2 * 10^{-001}, -8.2595701 * 10^{-003}\}$   
 $\{4.4 * 10^{-001}, -1.590732 * 10^{-002}\}, \{4.6 * 10^{-001}, -8.6674497 * 10^{-003}\}$   
 $\{4.8 * 10^{-001}, -3.1610698 * 10^{-003}\}, \{5.* 10^{-001}, 4.0787999 * 10^{-003}\}$

### 1.4.3 Giải hệ phương trình vi phân chuyển động:

#### 1.4.3.1 Tìm dịch chuyển:

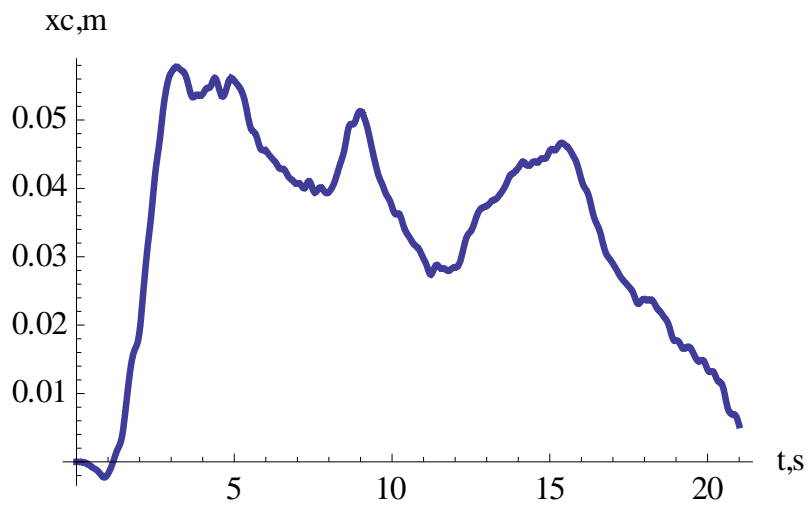
```
nghiemso=NDSolve[{mc*xc'[t]+mc*xt'[t]+cc*xc[t]+kc*
xc[t]□-
mc*ug'',mi*xi'[t]+mi*xt'[t]+ci*xi[t]+ki*xi[t]□-
mi*ug'',mc*xc'[t]+mi*xi'[t]+(M+mb)*xt'[t]+ct*xt'[t]
]+kt*xt[t]□-
(M+mb)*ug'',xc[0]□0,xt[0]□0,xi[0]□0,xc'[0]□0,xt'[0]□0
,xi'[0]□0},{xc,xi,xt},{t,0,21},MaxSteps→∞]

Plot[xc[t]/.nghiemso,{t,0,21},PlotStyle→{Thick},AxesL
abel→{"t,s","xc,m"}]

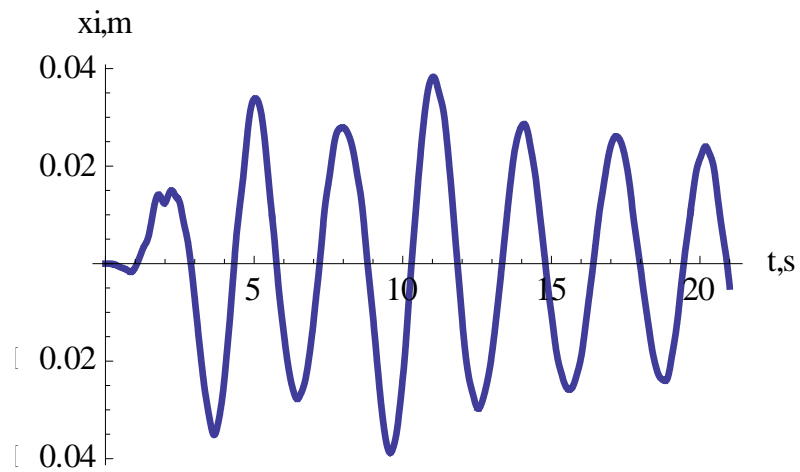
Plot[xi[t]/.nghiemso,{t,0,21},PlotRange→All,PlotRange
→All,PlotStyle→{Thick},AxesLabel→{"t,s","xi,m"}]
Plot[xt[t]/.nghiemso,{t,0,21},PlotRange→All,PlotRan
ge→All,PlotStyle→{Thick},AxesLabel→{"t,s","xt,m"}
]
```

```
InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]
```

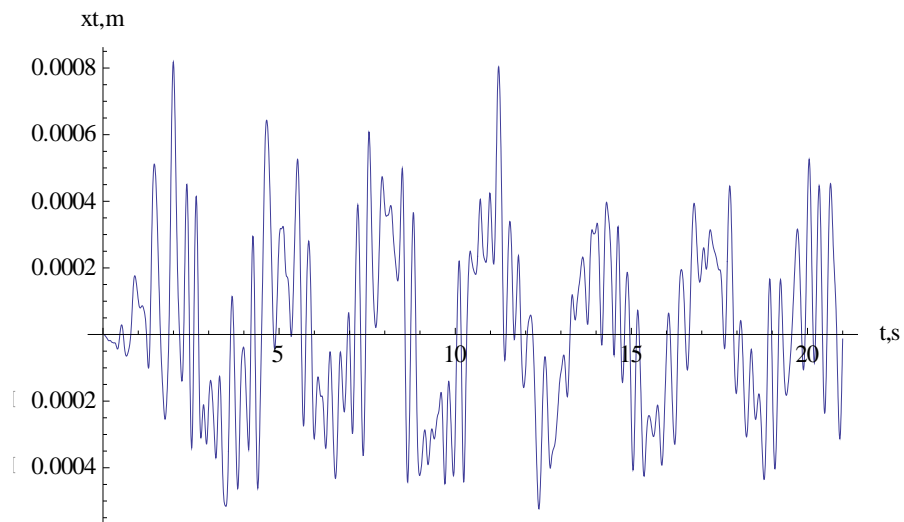
```
{{xc'InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>],xi'InterpolatingFunction[{{0.,21.}},
<>],xt'InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>]}}
```



Hình 5. Dịch chuyển của thành phần đối lưu



Hình 6. Dịch chuyển của thành phần xung cứng



Hình 7. Dịch chuyển của móng

*1.4.3.2 Tìm lực tác dụng:*

**i1=xc[t]/.nghiemso**

**i2=xi[t]/.nghiemso**

i3=xt[t]/.nghiemso

{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}

{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}

{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}

**i1'=D[i1,t]**

**i2'=D[i2,t]**

i3'=D[i3,t]

{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}

{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}

```
{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

```
i1''=D[i1',t]
```

```
i2''=D[i2',t]
```

```
i3''=D[i3',t]
```

```
{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

```
{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

```
{InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

```
pc=25.9455*i1''
```

```
pi=26.9858*i2''
```

```
pr=27.783*i3''
```

```
{25.9455 InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

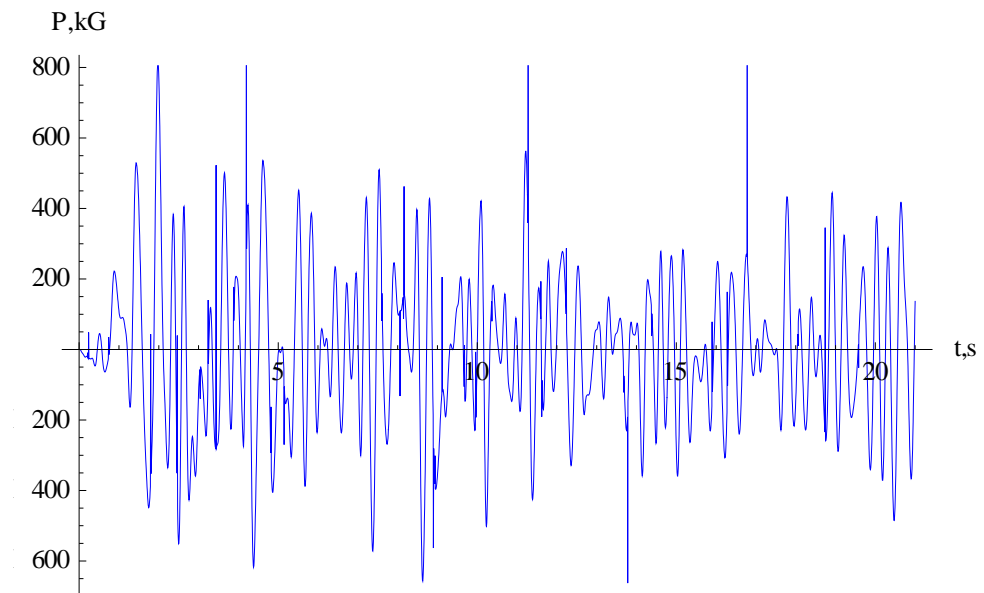
```
{26.9858 InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

```
{27.783 InterpolatingFunction[{{0.,21.}},<>][t]}
```

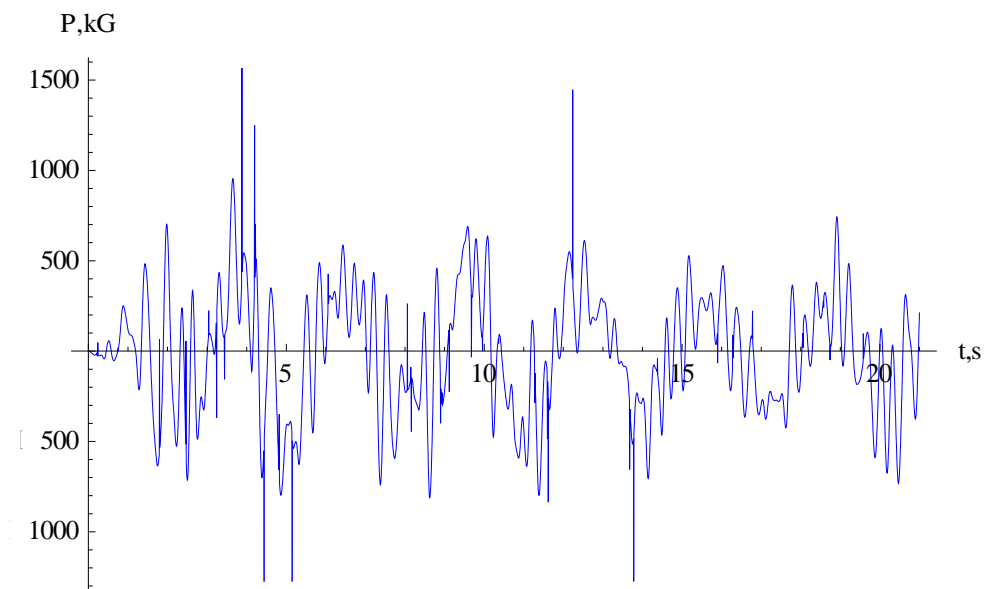
```
Plot[pc,{t,0,21},PlotStyle→{Thick,Blue},AxesLabel→{"  
t,s","Pc,kG"}]
```

```
Plot[pi,{t,0,21},PlotStyle→{Thick,Blue},AxesLabel→{"  
t,s","Pi,kG"}]
```

```
Plot[pr,{t,0,21},PlotStyle→{Thick,Blue},AxesLabel→{"  
t,s","Pr,kG"}]
```

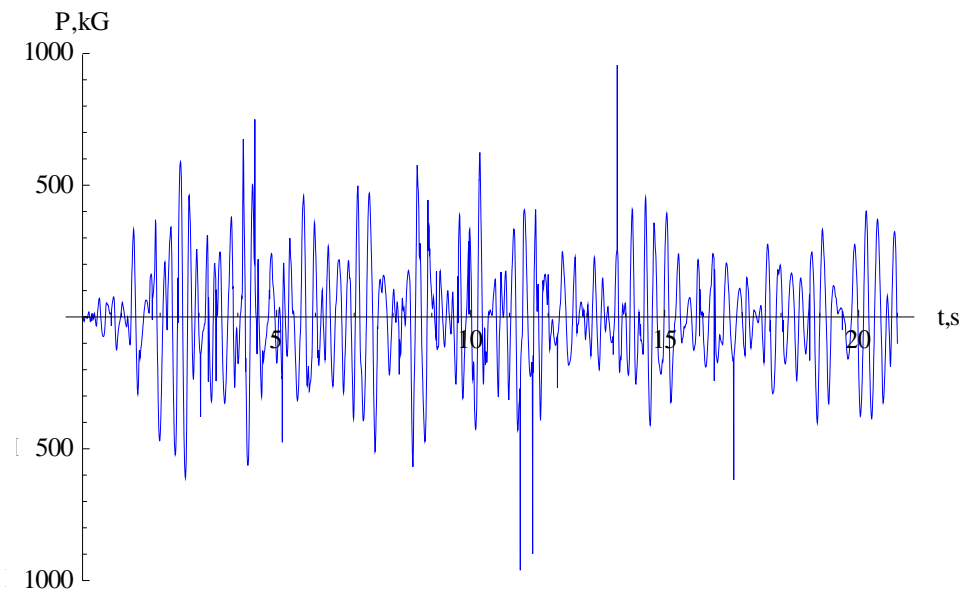


Hình 8. Lực tác dụng lên khối lượng đối lưu



Hình 9. Lực tác dụng lên khối lượng xung cứng





Hình 10. Lực tác dụng lên móng

4.3.3. Giá trị lực tác dụng ở thời điểm 2s:

**pc[t]/.t→2**

**pi[t]/.t→2**

**pr[t]/.t→2**

pc=11.7063KN

pi=9.92646KN

pr=6.80691KN

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Xác định được phản ứng động lực của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng động đất và áp lực thủy động của chất lỏng trong thành bể;

- Đã kiểm tra được ổn định của thành bể, kết quả kiểm tra cho thấy: thành bể chứa ổn định đàn hồi nhưng mất ổn định đàn – dẻo (mất ổn định dạng chân voi);

- Đã hình thành một quy trình tính toán kiểm tra ổn định của thành bể chứa. Quy trình này có thể tham khảo, áp dụng cho tính toán, thiết kế bể chứa trong lĩnh vực dân dụng và công nghiệp.

## DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 5574-2012: Kết cấu bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [2]. TCVN 9386-2012: Thiết kế công trình chịu động đất.
- [3]. TCVN 2737-1995: Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [4]. Thiết kế công trình chịu động đất.

Phần 3. Đánh giá và gia cường kết cấu nhà

Phần 4. Silo, bể chứa, đường ống

Phần 5. Tháp, Trụ, Ống khói

(Dự thảo tiêu chuẩn do GS.TSKH.Nguyễn Đăng Bích chủ trì biên soạn)

- [5]. Nguyễn Lê Ninh, 2007: Động đất và thiết kế công trình chịu động đất.
- [6]. API Standard 650, Tenth Edition, November 2001.
- [7]. Eurocode 8-4: 2006, Design of Structures for Earthquake resistance - Silos, tanks and pipelines.
- [8]. Tạp chí quốc tế về nghiên cứu sáng tạo trong khoa học kỹ thuật và công nghệ: ( International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 3, Issue 8, August 2014)

- [9]. Tạp chí cơ khí và kỹ thuật xây dựng IOSR: ( IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684, PP: 12-19 )
- [10]. Thuyết minh tính toán bể chứa axit sunfuric 98% của tư vấn.
- [11]. Nguyễn Hoàng Tùng, 2013, Phân tích đáp ứng động đất của bể chứa chất lỏng, Tuyển tập báo cáo khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng – Bộ Xây dựng.