



SEISMIC ANALYSIS OF LIQUID-STORAGE TANK WITH ELASTIC RESPONSE SPECTRUM OF TCVN 9386:2012 SPECIFICATION

Huynh Van Quan*

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 08/09/2021

Revised: 27/10/2021

Accepted: 01/11/2021

Published online: 15/02/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.3>

* *Corresponding author*

Email: quanhv_ph@utc.edu.vn; Tel: +84 986503205

Abstract. Liquid storage tanks with gas, gasoline, oil, acids, liquid oxygen, and so on are important constructions which are often built in key locations such as the coastal areas, the river estuaries or industrial zones. These constructions are designed to ensure bearing capacity under any load combinations. In this paper, elastic response spectrum of TCVN 9386:2012 specification according with the properties of liquid-storage tank system will be set-up. On the basis of simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks of API 650 specification of American Petroleum Institute, the factors of the base shear, the overturning moments, and the sloshing wave height are calculated. The results are simulated with many soil classes and six peak ground accelerations in Vietnam. The findings of this research is also a good technical reference for engineers because the seismic analysis of liquid-storage tank has not been mentioned at current version of the domestic design specification.

Keywords: storage tank, liquid, liquid-storage tank, earthquake, seismic interaction.



PHÂN TÍCH TƯƠNG TÁC HỆ BỂ CHỨA-CHẤT LỎNG THEO PHỔ PHẢN ỨNG ĐÀN HỒI CỦA TIÊU CHUẨN TCVN 9386:2012

Huỳnh Văn Quân*

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 08/09/2021

Ngày nhận bài sửa: 27/10/2021

Ngày chấp nhận đăng: 01/11/2021

Ngày xuất bản Online: 15/02/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.3>

* Tác giả liên hệ

Email: quanhv_ph@utc.edu.vn; Tel: +84 986503205

Tóm tắt. Các bể chứa chất lỏng (gas, xăng, dầu, axit, oxy hóa lỏng, ...) là những công trình quan trọng thường đặt ở những vị trí trọng yếu ven biển, cửa sông hay trong khu công nghiệp. Việc thiết kế các công trình này đảm bảo khả năng chịu lực dưới mọi điều kiện tải trọng là hết sức cần thiết. Trong bài báo này, phổ phản ứng đàn hồi theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 ứng với các đặc trưng phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng sẽ được xây dựng. Trên cơ sở phương pháp phân tích giản đơn theo tiêu chuẩn API 650 của Viện Dầu khí Hoa kỳ, phản ứng dưới dạng lực cắt, mô men tại đỉnh móng, đáy móng và chuyển vị thẳng đứng của mặt chất lỏng ứng với một trường hợp bể chứa cụ thể sẽ được thực hiện. Các kết quả được phân tích với các loại nền đất và sáu gia tốc nền cực đại tại Việt Nam. Kết quả của bài báo là tài liệu tham khảo hữu ích cho các kỹ sư vì tiêu chuẩn thiết kế bể chứa chất lỏng hiện hành trong nước chưa đề cập đến các nội dung này.

Từ khóa: bể chứa, chất lỏng, hệ bể chứa-chất lỏng, động đất, tương tác động đất.

© 2022 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dưới tác dụng của tải trọng động đất, công trình sẽ phản ứng theo hướng bất lợi so với các tải trọng thường xuyên. Công trình có thể bị phá hoại hoặc hư hỏng khi tải trọng động đất có cường độ lớn. Với các bể chứa chất lỏng như xăng dầu hoặc hóa chất, do đặc thù vận chuyển nên thường được đặt trong các cảng biển ven bờ hoặc trong các khu chế xuất với xung

quanh là các công trình quan trọng như hình 1. Do đó, bất kỳ sự cố nào cũng gây ra tác hại lớn đến môi trường và thiệt hại về kinh tế.

Nghiên cứu ứng xử động của bể chứa chất lỏng đã được một số tác giả trên thế giới thực hiện. Trên cơ sở nội dung nghiên cứu của các tác giả Housner, Veletsos, Haroun,... về việc phân chia, mô hình hóa hệ gồm tường bể chứa và chất lỏng thành các thành phần [1]; các nội dung nghiên cứu đã được một số nước đưa vào quy trình giản đơn phân tích ứng xử hệ bể chứa-chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất như Mỹ hay New Zealand. Larkin (2008) [2] thực hiện phân tích phản ứng động đất của bể chứa chất lỏng có xét đến tương tác với đất nền. Trong phân tích này, Larkin (2008) thực hiện trên mô hình giản đơn gồm khối lượng-lò xo-vật cản nhớt với hai bậc tự do là chuyển vị theo phương ngang và chuyển vị góc xoay. Larkin (2010) [3] đã cải tiến mô hình trong Larkin (2008) với sự xuất hiện của bậc tự do chuyển vị theo phương đứng do xét đến sự làm việc của hệ đất nền nhiều lớp, khi đó hệ được phân tích với ba bậc tự do. Shrimali (2002) [4] đã phân tích ứng xử của bể chứa chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất theo một và nhiều phương với móng được cô lập bằng các phương pháp phân tích như miền tần số, tích phân trực tiếp. Seleemah (2011a, 2011b) [5, 6] thực hiện phân tích ứng xử của bể chứa chất lỏng dạng tháp nước thẳng đứng dưới tác dụng của tải trọng động đất với móng được cô lập. Sahaa (2015) [7] nghiên cứu ứng xử động đất của bể chứa chất lỏng với các mô hình móng cô lập, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện so sánh mô hình cô lập tuyến tính và song tuyến tính tương đương để khảo sát ảnh hưởng của mô hình nhớt, chu kỳ cô lập và tỷ số mảnh của bể đến giá trị phản ứng cực đại. Farajian (2017) [8] thực hiện phân tích ứng xử của bể chứa chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất có xét đến tương tác đất nền-móng bằng cách áp dụng mô hình khối lượng-lò xo do Malhotra (2000) [1] đề xuất. Trong nước, học viên Nguyễn Đức Tùng [9] thực hiện luận văn thạc sỹ kỹ thuật với nội dung phân tích phản ứng động của bể chứa chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất, luận văn đã thực hiện các nội dung khá phong phú khi có xét đến điều kiện ổn định của thành bể. Tuy nhiên, các nội dung này chưa xét đến các đặc thù của tình hình động đất tại Việt Nam.

Việt Nam đã ban hành hai bộ tiêu chuẩn quốc gia: TCVN 10262:2014 về “Bồn thép chứa chất lỏng cháy được và chất lỏng dễ cháy” [10] và TCVN 8615-1:2010 về “Thiết kế, chế tạo tại công trình bể chứa bằng thép, hình trụ đứng, đáy phẳng dùng để chứa các loại khí hóa lỏng được làm lạnh ở nhiệt độ vận hành từ 0°C đến -165°C” [11]. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn này đều không đề cập đến yếu tố tính toán thiết kế công trình chịu động đất. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012 về “Thiết kế công trình chịu động đất” [12] có nhiều nội dung nhưng chủ yếu phục vụ cho tính toán công trình dân dụng. Theo Miguel (2012) [13], một trong những phương pháp phân tích ứng xử hệ bể chứa-chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất phổ biến trên thế giới là Phụ lục E-Tiêu chuẩn API 650 của Viện Dầu khí Hoa Kỳ.

Chính vì vậy, việc áp dụng các nội dung về hướng dẫn phân tích hệ bể chứa-chất lỏng của tiêu chuẩn API 650, kết hợp với phổ phản ứng đàn hồi của TCVN 9386:2012 để tính toán phản ứng của bể chứa chất lỏng phù hợp với điều kiện Việt Nam là hết sức cần thiết.



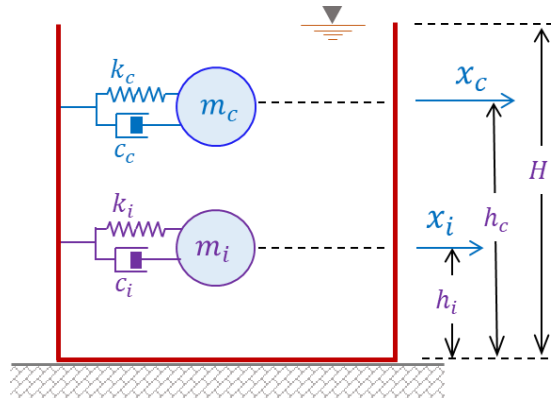
Hình 1. Bể chứa của nhà máy lọc dầu tại một số dự án kinh tế của Việt Nam: (a) Vũng Rô-Phú Yên [16] và (b) Dung Quất-Quảng Ngãi [17]

Trong bài báo này, phổ phản ứng đàn hồi theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 ứng với các đặc trưng phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng được xây dựng. Trên cơ sở phương pháp phân tích giản đơn theo tiêu chuẩn API 650, phản ứng dưới dạng lực cắt, mô men tại đỉnh móng, đáy móng và chiều cao chuyển vị thẳng đứng của mặt chất lỏng tự do ứng với một trường hợp bể chứa cụ thể sẽ được thực hiện. Kết quả phân tích ứng với các loại nền đất khác nhau dưới tác dụng của sáu gia tốc nền cực đại tại Việt Nam.

2. LÝ THUYẾT PHÂN TÍCH BỂ CHỨA-CHẤT LỎNG DƯỚI TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

2.1 Mô hình tương tác bể chứa-chất lỏng

Căn cứ vào tỷ số giữa chiều cao chất lỏng (H) và bán kính bể tương đương (R) mà bể chứa chất lỏng được phân làm hai loại: bể cao (tall tank) hoặc bể mảnh (slender tank) ứng với trường hợp $H/R > 1$, bể rộng (broad tank) ứng với trường hợp $H/R \leq 1$. Dưới tác dụng của tải trọng động đất, với các bể có tỷ số $0,3 < H/R \leq 3$, có 85-98% toàn bộ chất lỏng trong bể chuyển động dưới dạng đối lưu và dạng xung kích [8]. Thành phần chuyển động đối lưu (convective mode) là phần chất lỏng phía trên đỉnh thùng chuyển động dưới dạng mặt chất lỏng tự do; thành phần chuyển động dạng xung kích (impulsive mode) là phần chất lỏng, tại thời điểm khảo sát, chuyển động cùng với tường bể. Các thành phần chất lỏng trong bể chứa được mô hình dưới dạng khối lượng tập trung cùng với tường mềm [14].



Hình 2. Mô hình khối lượng-lò xo phân tích tương tác hệ bể chứa-chất lỏng [8].

Mô hình phân tích tương tác giữa bể chứa và chất lỏng như hình 2, thành phần đối lưu với khối lượng (m_c) và vị trí điểm đặt (h_c) xác định theo công thức (1); tùy thuộc vào tỷ số giữa đường kính và chiều cao chất lỏng (D/H) mà thành phần khối lượng dạng xung kích (m_i) và vị trí điểm đặt (h_i) xác định theo (2) hoặc (3) [13]. Bên cạnh xác định bằng các công thức, các thành phần khối lượng có thể suy ra từ cột (4) và cột (5), vị trí điểm đặt của khối lượng có thể suy ra từ cột (6) và cột (7) của Bảng 1.

$$\begin{cases} m_c = \frac{0,23D}{H} m \tanh\left(\frac{3,67H}{D}\right) \\ h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67H}{D}\right) - 1}{\frac{3,67H}{D} \sinh\left(\frac{3,67H}{D}\right)}\right) H \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Trường hợp } D/H \geq 1,333: \begin{cases} m_i = \frac{\tanh\left(\frac{0,866D}{H}\right)}{\frac{0,866D}{H}} m \\ h_i = 0,375H \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Trường hợp } D/H < 1,333: \begin{cases} m_i = \left(1 - \frac{0,218D}{H}\right) m \\ h_i = \left(0,5 - \frac{0,094D}{H}\right) H \end{cases} \quad (3)$$

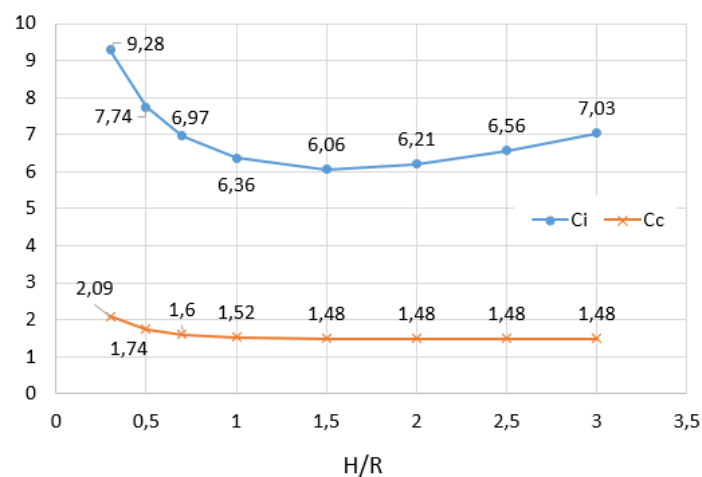
Trong đó: $D = 2R$ là đường kính của bể chứa chất lỏng, H là chiều cao của chất lỏng, cùng đơn vị mét; m là khối lượng chất lỏng.

Chu kỳ dao động tự do trong phản ứng dạng xung kích và đối lưu xác định như sau:

$$T_i = C_i \frac{H\sqrt{\rho}}{\sqrt{\frac{2t}{D} \times \sqrt{E}}} \quad (4)$$

$$T_c = C_c \sqrt{D} \quad (5)$$

Trong đó: t là bề dày đồng chất tương đương của tường bể; ρ là khối lượng riêng của chất lỏng. Các hệ số C_i và C_c có thể suy ra từ hình 3 hoặc cột (2) và cột (3) của Bảng 1; C_i là hệ số không thứ nguyên, C_c có đơn vị là s/\sqrt{m} .



Hình 3. Hệ số đối lưu C_c và xung kích C_i [8].

Bảng 1. Các giá trị thiết kế đề xuất của phản ứng đối lưu và xung kích theo tỷ số H/R [8].

H/R	C_i	$C_c [s/\sqrt{m}]$	m_i/m	m_c/m	h_i/H	h_c/H	h_i'/H	h_c'/H
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,640	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,460	1,517
0,7	6,97	1,60	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	0,690	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	0,810	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 thành phần khối lượng trong phản ứng dạng xung kích và đối lưu liên kết với tường bề bằng các lò xo có độ cứng tương đương: $k_c = m_c \omega_c^2$, $k_i = m_i \omega_i^2$; và hệ số cản của thiết bị cản nhớt tương đương: $c_c = 2\xi_c m_c \omega_c$, $c_i = 2\xi_i m_i \omega_i$. Với ξ_c và ξ_i là tỷ số cản nhớt, theo Panchal (2011) [15], $\xi_c = 0,5\%$ và $\xi_i = 2\%$.

2.2 Công thức xác định phản ứng động của bể chứa-chất lỏng theo API 650

Tổng lực cắt tại đỉnh móng được xác định theo công thức (6); mômen lật tại đỉnh móng xác định theo công thức (7), mômen này có tác dụng sinh ra ứng suất nén trong móng; mômen lật tại đáy móng xác định theo công thức (8), mômen này do áp lực thủy động tác dụng lên móng tường; chuyển vị thẳng đứng cực đại của bề mặt chất lỏng tự do do hiện tượng đập dềnh của chất lỏng trong bình chứa xác định bằng công thức (9).

$$Q = (m_i + m_r + m_w)S_e(T_i) + m_c S_e(T_c) \quad (6)$$

$$M = (m_i h_i + m_r h_r + m_w h_w)S_e(T_i) + m_c h_c S_e(T_c) \quad (7)$$

$$M' = (m_i h_i' + m_r h_r + m_w h_w)S_e(T_i) + m_c h_c' S_e(T_c) \quad (8)$$

$$d = R \frac{S_e(T_c)}{g} \quad (9)$$

Trong đó: m_w là khối lượng tường bể; m_r là khối lượng mái bể; $S_e(T_i)$ là phổ gia tốc của phản ứng dạng xung kích xác định từ phổ phản ứng đàn hồi có tỷ số cản 2% đối với bể chứa bằng thép hoặc bê tông dự ứng lực, hoặc phổ phản ứng đàn hồi có tỷ số cản 5% đối với bể chứa bằng bê tông cốt thép; $S_e(T_c)$ là phổ gia tốc của phản ứng dạng đối lưu xác định từ phổ

phản ứng đàn hồi có tỷ số cản 0,5%. h_c xác định theo công thức (1) và h_i xác định theo công thức (2) hoặc (3); ngoài ra h_c và h_i có thể suy ra từ cột (6) hoặc cột (7) của Bảng 1; h_w và h_r tương ứng là chiều cao trọng tâm của tường và của mái. h_c' và h_i' suy ra từ cột (8) và cột (9) của Bảng (1); g là gia tốc trọng trường.

2.3 Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang của TCVN 9356:2012

Theo TCVN 9356:2012, với các thành phần nằm ngang của tác động động đất, phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T)$ được xác định như sau:

$$\begin{cases} 0 \leq T \leq T_B = 0,15s: S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (2,5\eta - 1) \right] \\ T_B = 0,15s < T \leq T_C = 0,4s: S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \\ T_C = 0,4s < T \leq T_D = 2s: S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ T_D = 2s < T \leq 4s: S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó: $S_e(T)$ là phổ phản ứng đàn hồi; T là chu kỳ dao động của hệ tuyến tính một bậc tự do; a_g là gia tốc nền thiết kế trên nền loại A ($a_g = \gamma_I a_{gR}$); T_B là giới hạn dưới của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_C là giới hạn trên của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_D là giá trị xác định điểm bắt đầu của phần phản ứng dịch chuyển không đổi trong phổ phản ứng; S là hệ số nền. Các hệ số này xác định theo Bảng 2. η là hệ số điều chỉnh độ cản xác định theo công thức (11). Trong đó, $\xi(\%)$ là hệ số cản nhớt của kết cấu.

$$\eta = 10/(5 + \xi) \geq 0,55 \quad (11)$$

Bảng 2. Giá trị của các tham số mô tả các phổ phản ứng đàn hồi [12].

Loại nền đất	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,40	0,15	0,5	2,0

Theo mô tả của TCVN 9356:2012 [12]: nền đất loại A là đá hoặc các kiến tạo địa chất khác tựa đá, kể cả các đất yếu hơn trên bề mặt với bề dày lớn nhất là 5 m; nền đất loại B là đất

cát, cuội sỏi rất chặt hoặc đất sét rất cứng có bề dày ít nhất hàng chục mét, tính chất cơ học tăng dần theo độ sâu; nền đất loại C là đất cát, cuội sỏi chặt, chặt vừa hoặc đất sét cứng có bề dày lớn từ hàng chục tới hàng trăm mét; nền đất loại D là đất rời trạng thái từ xốp đến chặt vừa (có hoặc không xen kẹp vài lớp đất dính) hoặc có đa phần đất dính trạng thái từ mềm đến cứng vừa; nền đất loại A là địa tầng bao gồm lớp đất trầm tích sông ở trên mặt với bề dày trong khoảng 5 m đến 20 m có giá trị tốc độ truyền sóng như loại C, D và bên dưới là các đất cứng hơn với tốc độ truyền sóng cắt lớn hơn 800 m/s. Ngoài ra, các tham số mô tả bổ sung cho các loại nền đất như vận tốc sóng cắt trung bình, số nhất đập trong thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn, cường độ chống cắt không thoát nước có thể tra cứu tại Bảng 3.1 của tiêu chuẩn này.

3. Kết quả số phản ứng của bể chứa-chất lỏng theo TCVN 9356:2012

Khảo sát bể chứa chất lỏng hình trụ tròn [8], làm từ vật liệu thép, có bán kính $R = 10$ m, tổng chiều cao 9,6 m, được thiết kế với hệ neo vào móng bê tông. Bể chứa chất lỏng là nước, chiều cao cột chất lỏng là $H = 8$ m, khối lượng chất lỏng $m = 2,51 \times 10^6$ kg. Tường bể được ghép từ 4 phân đoạn, mỗi phân đoạn có chiều cao 2,4 m: hai phân đoạn phía dưới cùng có bề dày 1 cm, hai phân đoạn trên cùng có bề dày 0,8 cm. Tổng khối lượng của tường bể là $m_w = 43 \times 10^3$ kg, khối tâm đặt tại vị trí có chiều cao $h_w = 4,53$ m. Khối lượng của mái bể là $m_r = 25 \times 10^3$ kg, khối tâm đặt tại vị trí có chiều cao $h_r = 9,6$ m. Các thông số cơ bản của đặc trưng hình học bể chứa và chất lỏng như Bảng 3. Các thông số trong mô hình phân tích cơ học tương đương hệ bể chứa-chất lỏng như Bảng 4.

Bảng 3. Các thông số của bể chứa và chất lỏng [8].

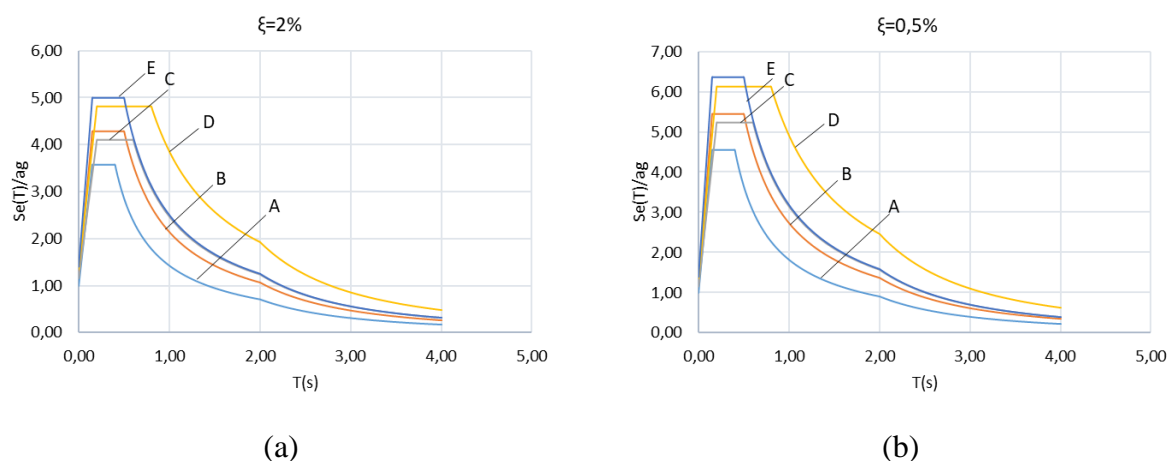
H (m)	R (m)	H/R	t (m)	E (GPa)	m (kg)	m_r (kg)	m_w (kg)	h_w (m)	h_r (m)
8	10	0,8	0,00968	200	2,51e+6	25e+3	43e+3	4,53	9,6

Bảng 4. Các thông số trong mô hình phân tích cơ học tương đương [8].

C_i	$C_c (s/\sqrt{m})$	T_i (s)	T_c (s)	m_i/m	m_i (kg)	m_c/m	m_c (kg)
6,77	1,57	0,123	4,96	0,459	1,15e+6	0,541	1,36e+6
h_i/H	h_i (m)	h_c/H	h_c (m)	h_i'/H	h_i' (m)	h_c'/H	h_c' (m)
0,404	3,23	0,583	4,66	0,913	7,30	0,936	7,49

Phổ phản ứng đàn hồi động đất xác định theo tiêu chuẩn TCVN 9356:2012 tương ứng với hai hệ số cản nhất $\xi = 2\%$ và $\xi = 0,5\%$ được xây dựng và vẽ như hình 4. Theo công thức (11), hệ số điều chỉnh độ cản $\eta(\xi = 2\%) = 1,992$ và $\eta(\xi = 0,5\%) = 1,998$. Tường bể được làm bằng vật liệu thép nên: $S_e(T_i)$ xác định từ phổ phản ứng đàn hồi có tỷ số cản $\xi = 2\%$ trong hình 4 (a), $S_e(T_c)$ xác định từ phổ phản ứng đàn hồi có tỷ số cản $\xi = 0,5\%$ trong hình 4

(b); tương ứng với các thông số đặc trưng cơ học của hệ bể chứa-chất lỏng và đất nền, các giá trị phổ thiết kế được tổng hợp như Bảng 5.



Hình 4. Phổ phản ứng đàn hồi cho các loại nền đất từ A đến E theo TCVN 9356:2012: (a) độ cản 2% và (b) độ cản 0,5%

Bảng 5. Các giá trị phổ thiết kế động đất tương ứng với các loại nền đất khác nhau.

Loại nền đất	A	B	C	D	E
$S_e(T_c)/a_g$	0,250	0,375	0,431	0,674	0,437
$S_e(T_i)/a_g$	4,184	5,021	3,896	4,574	5,858

Thay các giá trị tại Bảng 4 và Bảng 5 vào các công thức (6), (7), (8) và (9) có được các giá trị lực cắt, mômen, chuyển vị tính theo hệ số gia tốc nền a_g như Bảng 6. Trong đó, đất nền loại E cho phản ứng dạng lực cắt và mômen có giá trị lớn nhất. Tuy nhiên, chuyển vị ứng với đất nền loại D có giá trị lớn nhất.

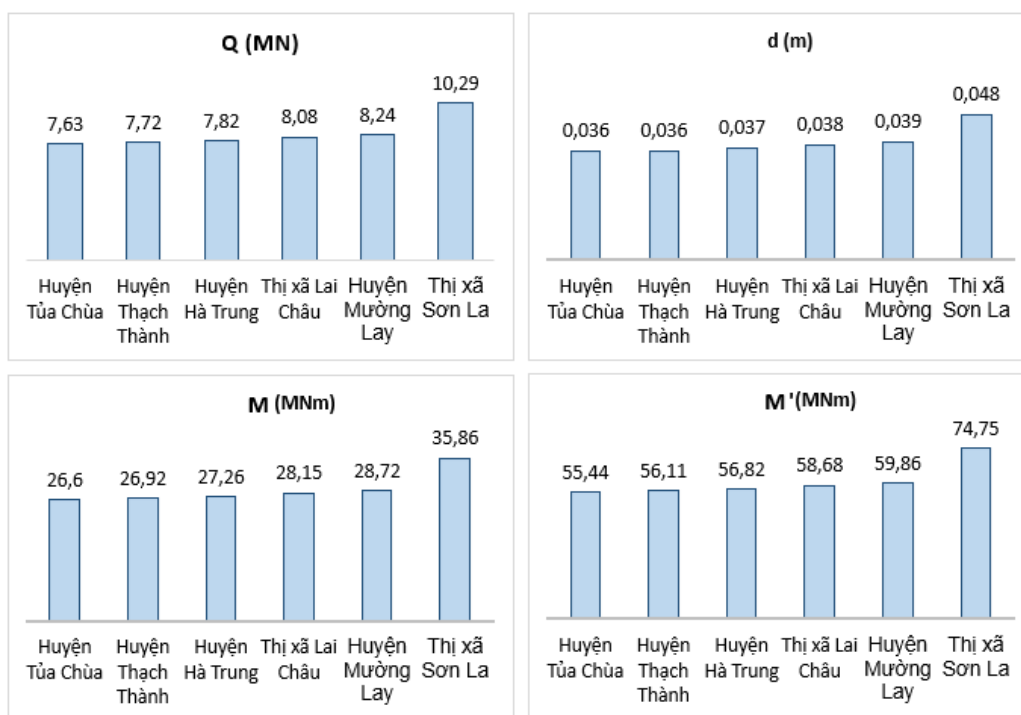
Bảng 6. Phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng theo các loại nền đất khác nhau.

Loại nền đất	A	B	C	D	E
Q/a_g	5,436e+6	6,625e+6	5,332e+6	6,488e+6	7,729e+6
M/a_g	1,894e+7	2,321e+7	1,890e+7	2,325e+7	2,708e+7
M'/a_g	3,949e+7	4,815e+7	3,879e+7	4,726e+7	5,617e+7
d/a_g	0,255	0,382	0,439	0,687	0,446

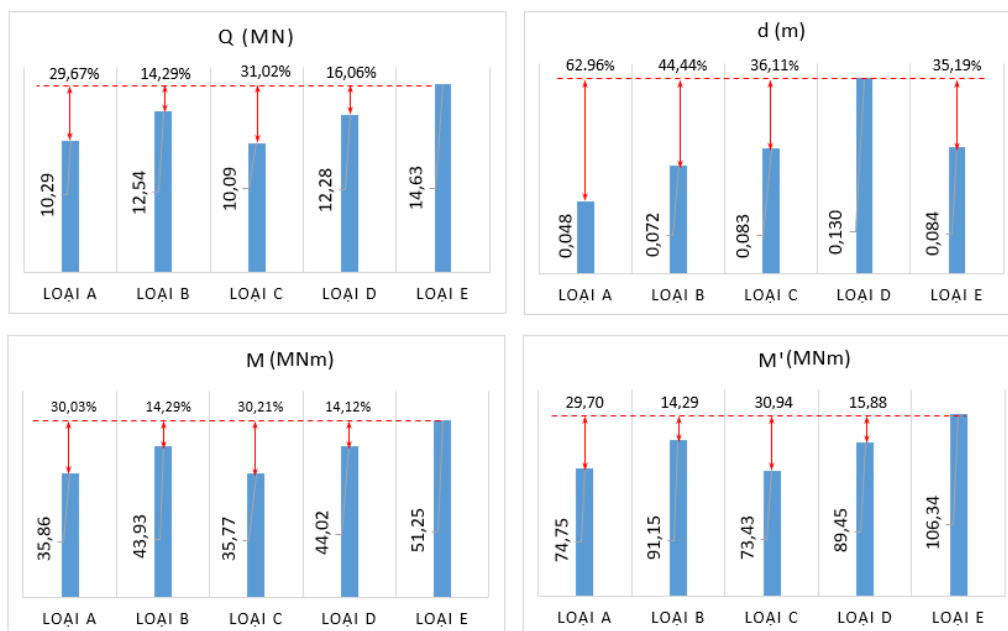
Theo TCVN 9356:2012, sáu địa danh trong Bảng 7 có giá trị gia tốc nền a_g lớn nhất tại Việt Nam. Trong đó, gia tốc nền (a_g) tại Thị xã Sơn La có giá trị lớn nhất, $a_g = 0,1893g$. Bảng 7 là phản ứng của hệ bệ chứa-chất lỏng theo các loại nền đất và địa danh khác nhau.

Bảng 7. Phản ứng của hệ bệ chứa-chất lỏng theo các loại nền đất và địa danh khác nhau.

Loại nền đất	Phản ứng dạng	Huyện Tủa Chùa $a_g = 0,1404$ (g)	Huyện Thạch Thành $a_g = 0,1421$ (g)	Huyện Hà Trung $a_g = 0,1439$ (g)	Thị xã Lai Châu $a_g = 0,1486$ (g)	Huyện Mường Lay $a_g = 0,1516$ (g)	Thị xã Sơn La $a_g = 0,1893$ (g)
A	Q (MN)	7,63	7,72	7,82	8,08	8,24	10,29
	M (MNm)	26,60	26,92	27,26	28,15	28,72	35,86
	M' (MNm)	55,44	56,11	56,82	58,68	59,86	74,75
	d (m)	0,036	0,036	0,037	0,038	0,039	0,048
B	Q (MN)	9,30	9,41	9,53	9,84	10,04	12,54
	M (MNm)	32,58	32,98	33,40	34,49	35,18	43,93
	M' (MNm)	67,60	68,42	69,29	71,55	72,99	91,15
	d (m)	0,054	0,054	0,055	0,057	0,058	0,072
C	Q (MN)	7,49	7,58	7,67	7,92	8,08	10,09
	M (MNm)	26,53	26,85	27,19	28,08	28,65	35,77
	M' (MNm)	54,46	55,12	55,82	57,64	58,81	73,43
	d (m)	0,062	0,062	0,063	0,065	0,067	0,083
D	Q (MN)	9,11	9,22	9,34	9,64	9,84	12,28
	M (MNm)	32,65	33,04	33,46	34,55	35,25	44,02
	M' (MNm)	66,35	67,15	68,00	70,22	71,64	89,45
	d (m)	0,097	0,098	0,099	0,102	0,104	0,130
E	Q (MN)	10,85	10,98	11,12	11,49	11,72	14,63
	M (MNm)	38,01	38,47	38,96	40,23	41,05	51,25
	M' (MNm)	78,87	79,82	80,83	83,47	85,16	106,34
	d (m)	0,063	0,063	0,064	0,066	0,068	0,084



Hình 5. Phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng ứng với đất nền loại A theo các địa danh khác nhau.



Hình 6. Phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng với gia tốc nền cực đại của Thị xã Sơn La.

Kết quả ở Bảng 7 cho thấy, trong cùng một loại nền đất, các phản ứng Q , M , M' và d tăng dần theo độ lớn gia tốc nền cực đại (xem hình 5 cho đất nền loại A). Hình 6 biểu diễn phản ứng của hệ bể chứa-chất lỏng dưới tác dụng của tải trọng động đất với các loại đất nền khác nhau tương ứng với gia tốc nền cực đại của Thị xã Sơn La. Trong từng biểu đồ vừa thể hiện giá trị của phản ứng theo từng loại nền đất từ A đến E, vừa thể hiện độ lệch dưới dạng % so

với giá trị lớn nhất. Trong đó, đất nền loại E cho kết quả phản ứng dưới dạng mômen và lực cắt có giá trị lớn nhất, trong khi chuyển vị thẳng đứng của bề mặt chất lỏng tự do đạt giá trị lớn nhất đối với đất nền loại D. Ngoài ra, hình 6 cũng đã thể hiện độ lệch (%) giữa giá trị cực đại với các loại đất khác.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, thông qua các công thức tính toán giản đơn của tiêu chuẩn API 650, tác giả đã vận dụng tính toán cho trường hợp phổ phản động đất đàn hồi theo tiêu chuẩn TCVN 9356:2012. Các nội dung đã tính toán có thể bổ sung vào quy trình thiết kế bể chứa chất lỏng mà hiện tại chưa được đề cập ở Việt Nam. Kết quả tính toán số cho trường hợp gia tốc nền tại Thị xã Sơn La cho thấy, lực cắt, mômen tương ứng với trường hợp đất nền loại E có giá trị lớn hơn các loại đất nền khác tối đa là 30,94%. Trong khi đó, chuyển vị thẳng đứng của bề mặt chất lỏng tự do ứng với trường hợp đất nền loại D có giá trị lớn nhất, độ lệch lớn nhất so với đất loại A là 62,96%. Các độ lệch này thay đổi theo các loại nền đất khác nhau mà không tuân theo quy luật nào.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo được thực hiện tại Trường Đại học Giao thông Vận tải. Tác giả xin chân thành cảm ơn Nhà trường và các đồng nghiệp đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Farajian, Evaluation of soil-structure interaction on the seismic response of liquid storage tanks under earthquake ground motions, *Computation*, 5 (2017) 1-17. <https://doi.org/10.3390/computation5010017>
- [2]. T. Larkin, Seismic response of liquid storage tanks incorporating soil structure interaction, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134 (2008) 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:12\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:12(1804))
- [3]. T. Larkin, Earthquake response of liquid storage tanks on layered sites, in: R.P. Orense, N. Chouw, Michael J., *Soil-foundation-structure interaction*, 1st ed., CRC Press, London, 2010, pp. 155-161. <https://doi.org/10.1201/b10568>
- [4]. M.K. Shrimali, R.S. Jangid, Seismic response of liquid storage tanks isolated by sliding bearings, *Engineering Structures*, 24 (2002) 909-921. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00009-3)
- [5]. A.A. Seleemah, M. El-Sharkaw, Seismic analysis and modeling of isolated elevated liquid storage tanks, *Earthquakes and Structures*, 2 (2011a) 397-412. <http://dx.doi.org/10.12989/eas.2011.2.4.397>
- [6]. A.A. Seleemah, M. El-Sharkawy, Seismic response of base isolated liquid storage ground tanks, *Ain Shams Engineering Journal*, 2 (2011b) 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2011.05.001>
- [7]. S.K. Sahaa, V.A. Matsagarb, A.K. Jainc, Earthquake response of base-isolated liquid storage tanks for different isolator models, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8 (2014) 1-39. <https://doi.org/10.1142/S1793431114500134>
- [8]. P.K. Malhotra, T. Wenk, M. Wieland, Simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks, *Structural Engineering International*, 10 (2018) 197-201. <https://doi.org/10.2749/101686600780481509>

- [9]. Đ.T. Nguyễn, Phản ứng động lực của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng động đất, luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường ĐH. Dân lập Hải Phòng, 2015.
- [10]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10262:2014, Bồn thép chứa chất lỏng cháy được và chất lỏng dễ cháy.
- [11]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8615-1:2010, Thiết kế, chế tạo tại công trình bể chứa bằng thép, hình trụ đứng, đáy phẳng dùng để chứa các loại khí hóa lỏng được làm lạnh ở nhiệt độ vận hành từ 0°C đến -165°C.
- [12]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012, Thiết kế công trình chịu động đất.
- [13]. O. Miguel, T. Larkin, N. Chow, Comparison between standards for seismic design of liquid storage tanks with respect to soil-foundation-structure interaction and uplift, Bulletin of The New Zealand Society for Earthquake Engineering, 45 (2012) 40-46. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.45.1.40-46>
- [14]. M.K. Shrimali, R.S. Jangid, Seismic analysis of base-isolated liquid storage tanks, Journal of Sound and Vibration, 275 (2004) 59-75. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00749-1](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00749-1)
- [15]. V.R. Panchal, R.S. Jangid, Seismic response of liquid storage steel tanks with variable frequency pendulum isolator, KSCE Journal of Civil Engineering, 15 (2011) 1041-1055. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-0945-y>
- [16]. Trí Tín, Chủ dự án lọc dầu Vũng Rô từ chối nhận mặt bằng, <https://vnexpress.net/chu-du-an-loc-dau-vung-ro-tu-choi-nhan-mat-bang-2982487.html>, 2014, (ngày truy cập 24/10/2021)
- [17]. Nguyễn Hoài, Nhà máy lọc dầu Dung Quất có thể dừng sản xuất, <https://vnexpress.net/nha-may-loc-dau-dung-quat-co-the-dung-san-xuat-4079134.html>, 2020, (ngày truy cập 24/10/2021)