

Tính toán thành bể chứa trụ đứng bằng thép theo tiêu chuẩn của Nga

Calculation of the wall of vertical steel tanks according to Russian standard

Vũ Lệ Quyên

Tóm tắt

Theo các tài liệu thiết kế Kết cấu thép hiện hành ở Việt Nam [1], [2] khi tính toán thành bể chứa trụ đứng bằng thép chưa đề cập đến sai số khi gia công và ảnh hưởng của hiện tượng ăn mòn, gỉ của thành bể đặc biệt là trong điều kiện môi trường bất lợi. Bài báo trình bày cách tính toán thành bể chứa trụ đứng bằng thép theo điều kiện vận hành và điều kiện thử nghiệm thủy tĩnh có kể đến dung sai thép cán và hiện tượng ăn mòn phát sinh trong quá trình sử dụng. Bên cạnh đó giới thiệu phương pháp tính toán kiểm tra ổn định thành bể theo tiêu chuẩn của Nga GOST 31385-2016 « Bể chứa trụ đứng thép chứa dầu và các chế phẩm của dầu, thông số kỹ thuật chung» kèm ví dụ tính toán.

Từ khóa: Kết cấu thép, bể thép trụ đứng, điều kiện ổn định, thành bể chứa, kết cấu thép bản

Abstract

According to current design documents of steel structures in Vietnam [1], [2], as calculating a steel vertical tank, the processing error and the effect of corrosion of the tank wall are not taken into account, especially in adverse environmental conditions. This paper presents the calculation of the steel vertical wall of a tank according to service conditions and hydrostatic test conditions, takes into account the tolerances of steel and corrosion occurring during the service. In addition, the paper presents a methodology for calculating the stability of the tank wall in accordance with Russian standard GOST 31385-2016 "Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil-products. General specifications" with calculation example.

Key words: Steel structure, vertical steel tanks, stability calculation, tank wall, sheet structure

TS. Vũ Lệ Quyên

Bộ môn Kết cấu Thép Gỗ, khoa Xây dựng

Email: lequyen.vu.hau@gmail.com

ĐT: 0972486583

Ngày nhận bài: 28/4/2022

Ngày sửa bài: 16/5/2022

Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, để đáp ứng sự phát triển không ngừng của nền kinh tế xã hội nhu cầu thiết kế, lắp đặt và vận hành các hệ thống bể chứa dầu khí với dung tích lớn cũng tăng lên nhanh chóng. Để việc thiết kế ngày một hiệu quả, an toàn ngoài áp dụng các tài liệu trong nước thì việc cập nhật, nghiên cứu các tài liệu chỉ dẫn tính toán của các nước phát triển là vô cùng cần thiết. Hiện nay hệ thống tiêu chuẩn, tài liệu hướng dẫn thiết kế kết cấu thép nói chung, kết cấu thép bản nói riêng ở trong nước chủ yếu được viện dịch từ hệ thống tiêu chuẩn, tài liệu của Nga nên việc tìm hiểu, cập nhật các tài liệu mới của Nga rất phù hợp và mang tính thực tiễn cao.

Vật liệu thép bên cạnh các tính ưu việt khi sử dụng thì còn có nhược điểm lớn đó là sai số khi gia công và dễ bị ăn mòn, gỉ đặc biệt là trong điều kiện môi trường bất lợi. Theo các tài liệu hiện hành ở ta [1], [2] khi tính toán bể chứa chưa tính đến các vấn đề này.

Thử nghiệm thủy tĩnh hiện là phương pháp phổ biến nhằm phát hiện các mối rò, nứt trên các bồn, bể chứa chịu áp lực hoặc các hệ thống dẫn dầu, khí hoặc nước. Nước cung cấp cho quá trình kiểm tra được đưa vào với áp suất cao để đảm bảo vật chứa không bị rò rỉ, hư hỏng. Áp suất cung cấp thử nghiệm luôn cao hơn 50% đến 60% áp suất vận hành thực tế của thiết bị tùy thuộc vào các quy định an toàn khi kiểm tra [3].

Vậy tính toán thành bể có kể đến giới hạn ăn mòn và sai số thép cán theo điều kiện vận hành và thử nghiệm thủy tĩnh là rất cần thiết và có tính thực tiễn cao. Bài báo đề cập đến việc tính toán thành bể chứa trong điều kiện vận hành và điều kiện thử nghiệm thủy lực và kiểm tra ổn định theo tiêu chuẩn của Nga GOST 31385-2016.

2. Tính toán thành bể chứa

Thành bể là bộ phận chịu lực chính, có cấu tạo gồm nhiều khoang thép hàn lại với nhau. Với bể có thể tích lớn hơn 30.000m³, thành được lắp đặt bằng phương pháp ghép từng tấm, với thể tích nhỏ hơn thì bằng phương pháp cuộn. Các khoang thép là các tấm định hình tiêu chuẩn (1500×6000) mm, đối với bể chứa thể tích trên 20.000m³ sử dụng các tấm có kích thước 2000 × 8000mm [1].

Tác động lên thành bể có các loại tải trọng áp lực thủy tĩnh, áp suất dư trong không gian hơi, tải trọng gió, tải trọng bản thân thành bể, tải trọng mái, tải trọng chân không. Các tải trọng này gây ra trạng thái ứng suất phẳng lên thành bể, ngoại trừ các vùng đặc biệt [1].

Theo [3,4], lựa chọn sơ bộ chiều dày danh nghĩa t của mỗi tấm khoang thành bể cần được tính toán theo điều kiện vận hành, theo điều kiện thử nghiệm thủy tĩnh và theo yêu cầu thiết kế sao cho chênh lệch giữa chiều dày danh nghĩa t và dung sai đối với thép cán không nhỏ hơn giá trị lớn nhất trong ba giá trị:

$$t - \Delta \geq \max \{ t_c + c; t_g; t_k \} \quad (1)$$

Trong đó: Δ - dung sai thép cán; t_c - chiều dày tính toán của mỗi khoang thành bể thép theo điều kiện vận hành; t_g - Chiều dày tính toán của mỗi khoang thành bể thép theo điều kiện thử nghiệm thủy tĩnh; t_k - chiều dày thiết kế tối thiểu (Bảng 1). [3]; c - giới hạn ăn mòn có thể xác định bằng công thức (2) với 0,1: độ gỉ tăng mỗi năm (mm/ năm), T : thời gian vận hành bể (năm):

$$c = 0,1 \cdot T \quad (2)$$

Chiều dày tính toán của mỗi khoang thành bể thép theo điều kiện vận hành được tính bởi công thức [4]:

$$t_c = \frac{[g \cdot p \cdot (H - z) \cdot r]}{R \cdot \gamma_c} \quad (3)$$



Hình 1. Bể chứa trụ đứng thép

Trong đó: g - gia tốc rơi tự do; R - khối lượng riêng của chất lỏng; H - chiều cao mực chất lỏng; z - khoảng cách từ đáy đến mép dưới của khoang tính toán; r - bán kính thành bể chứa; R - cường độ tính toán của vật liệu; γ_c - hệ số điều kiện làm việc, lấy bằng: 0,7 - cho các tầng dưới cùng; 0,8 - cho các tầng phía trên.

Bảng 1: Chiều dày thiết kế tối thiểu t_k , mm

Đường kính bể chứa D , m	Độ dày thành bể t_k , mm		
	Phương pháp cuộn	Phương pháp ghép tấm	
	Mái cố định	Mái nổi	
$D < 16$	4	4	5
$16 \leq D < 25$	6	5	7
$25 \leq D < 35$	8	6	9
$D \geq 35$	10	8	10

Chiều dày tính toán của mỗi khoang thành bể thép theo điều kiện thử nghiệm thủy tĩnh được tính bởi công thức:

$$t_g = \frac{[g \cdot \rho_B \cdot (H_g - z) \cdot r]}{R_y \cdot \gamma_c} \quad (4)$$

Trong đó: ρ_n - khối lượng riêng của nước khi thử nghiệm; H_g - chiều cao mực nước khi thử nghiệm thủy tĩnh; $\gamma_c = 0,9$ hệ số điều kiện làm việc cho mọi khoang thành bể khi thử nghiệm thủy tĩnh [1].

Điều kiện bền và ổn định được kiểm tra đối với chiều dày tính toán t_p của khoang thép, được xác định như sau:

$$t_p = t - \Delta - c \quad (5)$$

Tính toán ổn định bể chứa trụ đứng được xét với bể chứa rỗng không có tác động của tải trọng thủy tĩnh và áp lực dư chỉ bao gồm tải trọng chân không; tải trọng gió; tải trọng do trọng lượng kết cấu thép phía trên điểm tính toán; tải trọng do trọng lượng các thiết bị cố định phía trên điểm tính toán; tải trọng do trọng lượng lớp cách nhiệt (nếu có).

Ổn định bể được kiểm tra bởi công thức [5]:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1 \quad (6)$$

Trong đó: σ_1 - ứng suất theo phương đường sinh; σ_2 - ứng suất theo phương vòng; σ_{cr2} - Ứng suất tới hạn theo phương đường sinh; σ_{cr2} - ứng suất tới hạn theo phương vòng;

Ứng suất theo phương đường sinh σ_1 lấy dấu dương

được xác định bởi công thức:

$$\sigma_1 = \frac{1,05 \cdot G_M + 0,95(1,05 \cdot G_0 + 1,3 \cdot G_Y)}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_p} - \frac{0,95 \cdot P_0 \cdot r}{2 \cdot t_p} \quad (7)$$

Trong đó: 1,05; 1,3: hệ số độ tin cậy cho tải trọng tương ứng; 0,95: hệ số tổ hợp cho tải trọng tạm thời dài hạn; G_M - trọng lượng kết cấu thép phía trên điểm tính toán; G_0 - trọng lượng các thiết bị cố định phía trên điểm tính toán; G_Y - trọng lượng lớp cách nhiệt (nếu có); P_0 - áp lực chân không tương đối xác định bởi công thức

$P_0 = \gamma_{f0} \cdot P_0^c$; $P_0^c = 0,25 \text{ kN/m}^2$ - áp lực chân không tiêu chuẩn;

$\gamma_{f0} = 1,2$ hệ số độ tin cậy về tải trọng chân không.

Khi tính ổn định, ứng suất theo phương vòng σ_2 của bể chứa có mái cố định phụ thuộc vào áp lực chân không và tải trọng gió:

$$\sigma_2 = \frac{(0,95 \cdot 1,2 \cdot P_0 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_w) \cdot r}{t_{pmin}} \quad (8)$$

Với bể chứa có mái nổi ứng suất theo phương vòng được tính theo công thức:

$$\sigma_2 = \frac{(0,95 \cdot 1,4 \cdot P_0 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_w) \cdot r}{t_{pmin}} \quad (9)$$

Trong đó: P_w - giá trị áp lực gió tại cao trình đỉnh thành bể H_0 :

$$P_w = \gamma_{fw} \cdot w_0 \cdot k \cdot c_e \quad (10)$$

$\gamma_{fw} = 0,5$ hệ số độ tin cậy về tải trọng gió khi tính ổn định; w_0 : áp lực gió tiêu chuẩn; k ; hệ số thay đổi áp lực gió theo độ cao; c_e : hệ số khí động [6].

Ứng suất tới hạn theo phương đường sinh:

$$\sigma_{cr1} = \frac{C \cdot E \cdot t_{pmin}}{r} \quad (11)$$

Trong đó: t_{pmin} - chiều dày tính toán của khoang thành bể nhỏ nhất (thường là khoang trên cùng).

Hệ số C được xác định bởi công thức:

$$C = 0,04 + \frac{40 t_{pmin}}{r} \text{ khi } 400 \leq \frac{r}{t_{pmin}} < 1220 \quad (12)$$

$$C = 0,085 - \frac{r}{t_{pmin} \times 105} \text{ khi } 1220 \leq \frac{r}{t_{pmin}} \leq 2500 \quad (13)$$

Ứng suất tới hạn theo phương vòng xác định bởi công thức:

$$\sigma_{cr2} = 0,55E \left(\frac{r}{H_r} \right) \left(\frac{t_{pmin}}{r} \right)^{1,5} \quad (14)$$

Trong đó: H_r - chiều cao quy đổi của bể chứa. Với bể chứa có độ dày không đổi và mái cố định H_r bằng chiều cao thành bể H . Với bể chứa có độ dày thay đổi, chiều cao quy đổi được tính bởi công thức:

$$H_r = \sum_i h_i \cdot \left(\frac{t_{pmin}}{t_{pi}} \right)^{2,5} \quad (15)$$

Trong đó: t_{pi} - chiều dày tính toán của bản khoang thứ i ;
 h_i - chiều cao khoang thứ i .

3. Ví dụ tính toán

Chọn chiều dày và kiểm tra ổn định thành bể chứa trụ đứng thép mái nổi, thể tích 30000 m³ chứa dầu với các số liệu sau: chiều cao thân bể 18m, đường kính 45,6m, trọng lượng riêng của chất lỏng 895kg/m³, vùng gió I A, địa hình B có $w_0=0,55$ (kN/m²), với bể chứa mái nổi có áp lực chân không $P_0=0$, thời gian vận hành bể chứa là 30 năm, dung sai thép cán 0.8mm. Thép có cường độ tính toán $R = 315$ MPa.

Thành bể gồm 9 khoang từ các tấm thép kích thước 2000 x 8000mm, chiều cao thực tế (trừ phần gia công mép bản thép) $h_i = 1990$ mm.

Chiều dày tính toán tối thiểu của khoang thành bể thứ nhất (dưới cùng) theo điều kiện vận hành:

$$t_c = \frac{[g \cdot \rho \cdot (H_d - z) \cdot r]}{R \cdot \gamma_c} = 16,4(\text{mm})$$

Trong đó: $g = 9,8\text{m/s}^2$; $Z = 895\text{kg/m}^3$; $z = 0\text{m}$;
 $r = 22,8\text{m}$; $R = 315$ MPa; $\gamma_c = 0,7$; chiều cao mực chất lỏng

$$H_d = 0,95 \cdot H = 0,95 \cdot 18 \approx 17,1\text{m}.$$

Chiều dày tính toán tối thiểu của khoang thành bể thứ nhất theo điều kiện thử nghiệm thủy tĩnh:

$$t_g = \frac{[g \rho_B (H_g - z) r]}{R_y \gamma_c} = 14,3(\text{mm})$$

Trong đó: $H_g = 1000$ kg/m³; $H_g = 17,1$ m; $\gamma_c = 0,9$.

Theo (3) ta có:

$$c = 0,1 \cdot T = 0,1 \cdot 30 = 3(\text{mm}) \quad (\text{mm}), \text{ chọn } t = 19(\text{mm}).$$

Trong đó: $t_k = 8\text{mm}$ (Bảng 1); giới hạn ăn mòn theo công thức (2): $c = 0,1 \cdot T = 0,1 \cdot 30 = 3(\text{mm})$.

Chiều dày tính toán của khoang thứ nhất xác định theo (4): $t_p = t - \Delta - c = 16$ (mm).

Tính tương tự cho các khoang còn lại (Bảng 2).

Tính toán ổn định cho thành bể:

Tính toán áp lực gió tại cao trình đỉnh thành bể theo công thức (10):

$$D_w = \gamma_{fw} \cdot w_0 \cdot k \cdot c = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 1,11 \cdot 0,6 = 0,16 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Trọng lượng khoang thứ nhất:

$$G_1 = t \cdot h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \rho_{thép} = 19 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 22,8 \cdot 7850 = 42574,2(\text{kG});$$

Tính tương tự ta có trọng lượng các khoang còn lại:

$$G_2 = 40333,5(\text{kG}); G_3 = 38092,7(\text{kG}); G_4 = 35852,0(\text{kG}); G_5 = 33611,2(\text{kG}); G_6 = 31370,5(\text{kG}); G_7 = 31370,5(\text{kG}); G_8 = 31370,5(\text{kG}); G_9 = 31370,5(\text{kG}).$$

$$\text{Trọng lượng mái } G_{mai} = 32762(\text{kG});$$

Trọng lượng kết cấu thép phía trên điểm tính toán của khoang thứ nhất $G_{11} = \sum G_i + G_{mai} = 350296$ (kG)

Trọng lượng các thiết bị phía trên điểm tính toán

$$G_0 = 34217(\text{kG});$$

Ứng suất theo phương đường sinh của khoang thứ nhất tính tại mép dưới thành bể theo công thức (7):

$$\sigma_1 = \frac{1,05 \cdot G_M + 0,95(1,05 \cdot G_0 + 1,3 \cdot G_Y)}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_p} - \frac{0,95 \cdot 1,2 \cdot P_0 \cdot r}{2 \cdot t_p} = 4,31(\text{MPa})$$

Với $G_Y = 0$ MN; $P_0 = 0$ MPa.

Khi tính toán ổn định bể, ứng suất vòng của bể chứa có mái cố định phụ thuộc vào áp lực chân không và áp lực gió bên ngoài tương đương tính bởi (8):

$$\sigma_2 = \frac{0,95 \cdot 1,2 \cdot P_0 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_w \cdot r}{t_{pmin}} = 0,3 \text{ (MPa)}$$

Theo công thức (11) ứng suất tới hạn theo phương đường sinh:

$$\sigma_{cr1} = \frac{C \cdot E \cdot t_{pmin}}{r} \approx 5,99 \text{ (MPa)}$$

Bảng 2: Xác định chiều dày danh nghĩa và chiều dày tính toán của mỗi khoang

Số thứ tự khoang	Sai số thép cán Δ , mm	Độ gồ, c, mm	Chiều dày thành bể			Chiều dày danh nghĩa tối thiểu, mm	Chiều dày danh nghĩa, mm t	Chiều dày tính toán, mm t_p
			Theo điều kiện vận hành, mm t_c	Theo điều kiện thủy lực, mm t_g	Yêu cầu thiết kế, mm t_k			
1	0,5	2,5	15,5	13,5	8,0	18,6	19	16
2	0,5	2,5	13,7	11,9	8,0	16,7	18	15
3	0,5	2,5	11,9	1,0	8,0	14,9	17	14
4	0,5	2,5	10,1	8,8	8,0	13,0	16	13
5	0,5	2,5	8,3	7,2	8,0	11,2	15	12
6	0,5	2,5	6,4	5,6	8,0	9,4	14	11
7	0,5	2,5	4,63	4,0	8,0	8,5	14	11
8	0,5	2,5	2,8	2,4	8,0	8,5	14	11
9	0,5	2,5	1,0	0,9	8,0	8,5	14	11

Bảng 3: Kiểm tra ổn định thành bể

Số thứ tự khoang	Trọng lượng khoang phía trên điểm tính toán, MN G_i	Trọng lượng kết cấu phía trên điểm tính toán, MN G_{Mi}	Ứng suất theo phương đường sinh, MPa σ_2	Ứng suất theo phương vòng, MPa σ_2	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}}$	Điều kiện ổn định
1	0,426	3,5	4.31	0.3	0.87	Thỏa mãn
2	0,403	3,1	4.39	0.3	0.88	Thỏa mãn
3	0,381	2,7	4.49	0.3	0.9	Thỏa mãn
4	0,359	2,3	4.62	0.3	0.92	Thỏa mãn
5	0,336	1,9	4.79	0.3	0.95	Thỏa mãn
6	0,314	1,6	5	0.3	0.98	Thỏa mãn
7	0,314	1,3	4.79	0.3	0.95	Thỏa mãn
8	0,314	1,0	4.58	0.3	0.91	Thỏa mãn
9	0,314	0,6	4.37	0.3	0.88	Thỏa mãn

Trong đó $t_{pmin} = 11\text{mm}$; $E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$
 Hệ số C được tính theo công thức (13):

$$C = 0,085 - \frac{r}{t_{pmin} \cdot 10^5} = 0,06$$

$$\text{do } 1220 \leq \frac{r}{t_{pmin}} = 2076,4 \leq 2500$$

Chiều cao quy đổi của bể chứa theo (15):

$$H_r = \sum_i h_i \cdot \left(\frac{t_{pmin}}{t_{pi}} \right)^{2,5} = 13,26 \text{ (m)}$$

Theo (14) ứng suất tới hạn theo phương vòng:

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot E \cdot \left(\frac{r}{H_r} \right) \cdot \left(\frac{t_{pmin}}{r} \right)^{1,5} \approx 2,03 \text{ (MPa)}$$

Kiểm tra ổn định bể tại khoang thứ nhất:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} = \frac{4,31}{5,99} + \frac{0,3}{2,03} = 0,87 \leq 1 \text{ (đảm bảo ổn định)}$$

Tính tương tự cho các khoang còn lại (Bảng 3).

4. Kết luận và kiến nghị

Tính toán thành bể chứa bằng thép theo điều kiện vận hành và thử nghiệm thủy tĩnh xét đến dung sai thép cán, ảnh hưởng của sự ăn mòn trong thời gian sử dụng cùng với việc hiệu chỉnh các công thức tính ổn định sẽ đảm bảo sự làm việc chính xác, an toàn và tuổi thọ của bể chứa trụ đứng thép.

Hiện nay các phương pháp tính toán và kiểm tra của ta chưa đề cập đến các đặc điểm của vật liệu và điều kiện vận hành dẫn đến phản ánh không chính xác sự làm việc của thành bể. Việc vận dụng tiêu chuẩn của Nga phù hợp và có tính thống nhất với hệ tiêu chuẩn của Việt Nam, làm phong phú thêm tài liệu tham khảo khi tính toán bể chứa thép và cơ sở để hoàn thiện các văn bản quy phạm tiêu chuẩn kỹ thuật hiện có./.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên, Phạm Văn Tư, Đoàn Ngọc Tranh, Hoàng Văn Quang, *Kết Cấu Thép Công Trình Dân Dụng Và Công Nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 198-201, 2006.
2. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012, “Thiết kế kết cấu thép”, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội..
3. ГОСТ 31385-2016, “Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия”, Изд: Стандартиформ, 2016;
4. ПБ 03-605-03, “Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов”, Изд: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008.
5. СП 16.13330.2016 (2016), “Стальные конструкции”, Актуализированная редакция, Изд: Москва, 2016.
6. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737-1995, “Tải trọng và Tác động - Tiêu chuẩn thiết kế”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.