

Таблиця 4.1. Алгоритм і приклад розрахунку товщини еліптичної кришки (або днища) з умови міцності у безмоментній зоні у випадку, коли кришка навантажена внутрішнім тиском

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
У прикладі розраховується стандартне еліптичне днище з висотою $h_e = 0,25D$.			
1.	Внутрішній радіус кривизни у вершині кришки або днища R_e	$R_e = \frac{D^2}{4h_e}$	У випадку, що розглядається $h_e = 0,25D$, тому $R_e = D = 1,6 \text{ м}$
2.	Допустиме напруження матеріалу кришки або днища за розрахункової температури $[\sigma]$	$[\sigma]$ визначають за таблицями А.1 – А.4 залежно від марки сталі, з якої виконана кришка або днище і розрахункової температури (поправковий коефіцієнт для допустимих напружень $\eta = 1$ через те, що елемент, який розраховується, зварний)	З таблиці А.1 для сталі марки 20 за розрахункової температури $t = 150^\circ\text{C}$ допустиме напруження $[\sigma] = 139 \text{ МПа}$
3.	Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва φ_p	φ_p визначають за таблицею Б.1 залежно від виду зварного шва та довжини швів, що контролюються	Для стикового шва з підварюванням кореня, що виконується вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини $\varphi_p = 1,0$
4.	Розрахункова товщина стінки кришки або днища $S_{\partial R}$	$S_{\partial R} = \frac{pR_e}{2[\sigma]\varphi - 0,5p}$	$S_{\partial R} = \frac{0,6 \cdot 1,6}{2 \cdot 139 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,6} = 0,0035 \text{ м}$

Продовження табл. 4.1

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
5.	Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії C_e	Додаток C_e належить враховувати при переміщенні в апараті рідких середовищ зі швидкостями більше 20 м/с, газоподібних – більше 100 м/с; при наявності у рухомому середовищі абразивних твердих частинок і при ударній дії середовища на деталь	$C_e = 0$
6.	Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії C_1	$C_1 = v_{кор} \tau + C_e$, якщо $v_{кор} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$; $C_1 = 0,001 \text{ м} + C_e$, якщо $v_{кор} \leq 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$; $C_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, якщо у довідковій літературі немає даних о величині $v_{кор}$, але відомо, що у робочих умовах елемент, який розраховується, стійкий до середовища, що його оточує. Додаток C_1 при двобічному контакті з корозійним і (або) ерозійним середовищем належить відповідно збільшувати.	$C_1 = v_{кор} \tau + C_e =$ $= 6 \cdot 10^{-5} \cdot 15 + 0 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ через те, що $v_{кор} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$
7.	Виконавча товщина стінки кришки або днища у першому наближенні S_o^1	$S_o^1 = S_{oR} + C_1 + C_0$ Додаток C_0 вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Найближчу товщину листового прокату обираємо за таблицею В.1.	$S_o^1 = 3,5 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} =$ $= 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ Обираємо $C_0 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ через те, що найближча товщина листового прокату становить $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Продовження табл. 4.1

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
8.	Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску C_2	Додаток C_2 вибирається за таблицями В.2 – В.4.	Граничне відхилення по товщині прокату листового холоднокатаного $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ нормальної точності при його ширині від 1000 до 1500 включно становить $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, тобто $C_2 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
9.	Технологічний додаток до розрахункової товщини C_3	Додаток C_3 враховується у випадках, коли має місце стоншення стінки елемента посудини або апарата при технологічних операціях: витяжці, штампуванні, гнутті труб і т. ін.	$C_3 = 0$
10.	Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S_∂^1	$\frac{C_2 + C_3}{S_\partial^1}$	$\frac{2,3 \cdot 10^{-4} + 0}{4 \cdot 10^{-3}} = 0,0575$
11.	Сума додатків до розрахункової товщини C	$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\partial^1} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3 \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\partial^1} > 0,05. \end{cases}$	$\frac{C_2 + C_3}{S_\partial^1} > 0,05, \text{ тому}$ $C = 9 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
12.	Виконавча товщина стінки кришки або днища S_∂	$S = S_R + C + C_0$ <p>Якщо довжина циліндричної відбортюваної частини днища $h > 0,8\sqrt{D(S_\partial - C)}$, тоді</p> $S_\partial = \frac{pD}{2[\sigma] - p} + C + C_0.$ <p>Додаток C_0 вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Найближчу товщину листового прокату обираємо за таблицею В.1.</p>	<p>1) Якщо $h \leq 0,8\sqrt{D(S_\partial - C)}$, тоді</p> $S_\partial = 3,5 \cdot 10^{-3} + 1,13 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ <p>Обираємо $C_0 = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ з урахуванням можливих додаткових навантажень під час транспортування, монтажу і т. ін., а також того, що товщина обичайки, що стикується з кришкою (днищем) становить 5 мм.</p> <p>2) Якщо $h > 0,8\sqrt{D(S_\partial - C)}$, тоді</p> $S_\partial = \frac{0,6 \cdot 1,6}{2 \cdot 139 - 0,6} + 1,13 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ <p>Як і у першому випадку обираємо $C_0 = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$</p>
13.	Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску C_2 (виконується коли $S_\partial \neq S_\partial^1$)	Додаток C_2 вибирається за таблицями В.2 – В.4.	Граничне відхилення по товщині прокату листового холоднокатаного $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ нормальної точності при його ширині від 1000 до 1500 включно становить $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, тобто $C_2 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
14.	Відношення суми додатків C_2 і C_3 до то- вщини S_δ (ви- конується коли $S_\delta \neq S_\delta^1$)	$\frac{C_2 + C_3}{S_\delta}$	$\frac{2,3 \cdot 10^{-4} + 0}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,046$
15.	Перерахунок суми додатків до розрахун- кової товщини C (виконується коли $S_\delta \neq S_\delta^1$)	$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\delta} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3 \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\delta} > 0,05. \end{cases}$	$\frac{C_2 + C_3}{S_\delta} < 0,05, \text{ тому } C = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
16.	Перевірка умов застосування розрахункових формул	$\begin{cases} 0,002 \leq \frac{S_\delta - C}{D} \leq 0,1, \\ 0,2 \leq \frac{h_\delta}{D} \leq 0,5. \end{cases}$	$\frac{S_\delta - C}{D} = \frac{5 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3}}{1,6} = 0,0026,$ $0,002 < 0,0026 < 0,1.$ За умовою задачі $\frac{h_\delta}{D} = 0,25,$ $0,2 < 0,25 < 0,5.$ Умови застосування розрахункових фор- мул виконуються

Продовження табл. 4.1

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
17.	Допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$	$[p] = \frac{2[\sigma]\phi(S_\partial - C)}{R_e + 0.5(S_\partial - C)}$	$[p] = \frac{2 \cdot 139 \cdot 1(5 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3})}{1,6 + 0,5(5 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3})} = 0,71 \text{ МПа}$
18.	Перевірка умови міцності	$p \leq [p]$	$0,6 \text{ МПа} < 0,71 \text{ МПа} .$ Умова міцності виконується.
Якщо умова міцності не виконується, необхідно вжити відповідних заходів (наприклад, збільшити товщину стінки елемента, змінити марку сталі і т. ін.) і зробити перерахунок за наведеним вище алгоритмом для забезпечення умови $p \leq [p]$.			

35

Таблиця 4.2. Алгоритм і приклад розрахунку товщини конічного днища з умови міцності у безмоментній зоні у випадку, коли днище навантажене внутрішнім тиском

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
У прикладі розрахунковий діаметр конічного днища $D_k = D$.			
1.	Допустиме напруження матеріалу днища за роз- рахункової те- мператури $[\sigma]$	$[\sigma]$ визначають за таблицями А.1 – А.4 за- лежно від марки сталі, з якої виконане днище і розрахункової температури (поп- равковий коефіцієнт для допустимих на- пружень $\eta = 1$ через те, що днище зварне)	З таблиці А.1 для сталі марки 20 за роз- рахункової температури $t = 150^\circ\text{C}$ допус- тиме напруження $[\sigma] = 139 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
2.	Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва φ_p	φ_p визначають за таблицею Б.1 залежно від виду зварного шва та довжини швів, що контролюються	Для стикового шва з підварюванням кореня, що виконується вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини $\varphi_p = 1,0$
3.	Розрахункова товщина стінки днища $S_{\kappa R}$, м	$S_{\kappa R} = \frac{pD_{\kappa}}{2[\sigma]\varphi_p - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_{\kappa}}$	$S_{\kappa R} = \frac{0,6 \cdot 1,6}{2 \cdot 139 \cdot 1 - 0,6} \cdot \frac{1}{\cos 30^\circ} = 0,004 \text{ м}$
4.	Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії C_e	Додаток C_e належить враховувати при переміщенні в апараті рідких середовищ зі швидкостями більше 20 м/с, газоподібних – більше 100 м/с; при наявності у рухомому середовищі абразивних твердих частинок і при ударній дії середовища на деталь	$C_e = 0$
5.	Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії C_1	Якщо $v_{\text{кор}} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$, тоді $C_1 = v_{\text{кор}} \tau + C_e$; інакше $C_1 = 0,001 \text{ м} + C_e$. Якщо відсутні дані о величині $v_{\text{кор}}$, але відомо, що матеріал днища стійкий до оточуючого середовища, тоді $C_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Додаток C_1 при двобічному контакті з корозійним і (або) ерозійним середовищем належить відповідно збільшувати.	$C_1 = v_{\text{кор}} \tau + C_e = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 15 + 0 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, через те, що $v_{\text{кор}} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$

Продовження табл. 4.2

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
6.	Виконавча товщина стінки днища у першому наближенні S_{κ}^1	$S_{\kappa}^1 = S_{\kappa R} + C_1 + C_0$ Додаток C_0 вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Найближчу товщину листового прокату обираємо за таблицею В.1.	$S_{\kappa}^1 = 4 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ Обираємо $C_0 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ через те, що найближча товщина листового прокату становить $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
7.	Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску C_2	Додаток C_2 вибирається за таблицями В.2 – В.4.	Граничне відхилення по товщині прокату листового холоднокатаного $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ нормальної точності при його ширині від 1000 до 1500 включно становить $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, тобто $C_2 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
8.	Технологічний додаток до розрахункової товщини C_3	Додаток C_3 враховується у випадках, коли має місце стоншення стінки елемента посудини або апарата при технологічних операціях: витяжці, штампуванні, гнутті труб і т. ін.	$C_3 = 0$
9.	Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S_{κ}^1	$\frac{C_2 + C_3}{S_{\kappa}^1}$	$\frac{2,3 \cdot 10^{-4} + 0}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,046$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
10.	Сума додатків до розрахункової товщини C	$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\kappa^1} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3 \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\kappa^1} > 0,05. \end{cases}$	$\frac{C_2 + C_3}{S_\kappa^1} < 0,05$, тому $C = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
11.	Виконавча товщина стінки днища S_κ	$S_\kappa = S_{\kappa R} + C + C_0$ Додаток C_0 вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Найближчу товщину листового прокату обираємо за таблицею В.1.	$S_\kappa = 4 \cdot 10^{-3} + 0,9 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ Обираємо $C_0 = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ через те, що найближча товщина листового прокату становить 5 мм.
12.	Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску C_2 (виконується коли $S_\kappa \neq S_\kappa^1$)	Додаток C_2 вибирається за таблицями В.2 – В.4.	—
13.	Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S_κ (виконується коли $S_\kappa \neq S_\kappa^1$)	$\frac{C_2 + C_3}{S_\kappa}$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
14.	Перерахунок суми додатків до розрахун- кової товщини C (виконується коли $S_\kappa \neq S_\kappa^1$)	$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\kappa} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3 \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S_\kappa} > 0,05. \end{cases}$	—
15.	Перевірка умов застосування розрахункових формул	$0,001 \leq \frac{S_\kappa \cos \alpha_\kappa}{D} \leq 0,05$	$\frac{S_\kappa \cos \alpha_\kappa}{D} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cos 30^\circ}{1,6} = 0,0027,$ $0,001 < 0,0027 < 0,05.$ Умова застосування розрахункових формул виконується
16.	Допустимий внутрішній над- лишковий тиск $[p]$	$[p] = \frac{2[\sigma] \varphi_p (S_\kappa - C)}{\frac{D_\kappa}{\cos \alpha_\kappa} + (S_\kappa - C)}$	$[p] = \frac{2 \cdot 139 \cdot 1(5 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3})}{\frac{1,6}{\cos 30^\circ} + (5 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3})} = 0,615 \text{ МПа}$
17.	Перевірка умови міцності	$p \leq [p]$	$0,6 \text{ МПа} < 0,615 \text{ МПа}.$ Умова міцності виконується.
Якщо умова міцності не виконується, необхідно вжити відповідних заходів (наприклад, збільшити товщину стінки елемента, змінити марку сталі і т. ін.) і зробити перерахунок за наведеним вище алгоритмом для забезпечення умови $p \leq [p]$.			