

Таблиця 3.7. Алгоритм і приклад розрахунку циліндричної обичайки з кільцями жорсткості у випадку, коли обичайка навантажена внутрішнім тиском

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
У наведеному прикладі розрахунку обичайка виконана з прокату листового холоднокатаного товщиною $S = 4$ мм, а кільця жорсткості розташовані рівномірно			
1.	Допустимі напруження матеріалів обичайки і кільця жорсткості за розрахункової температури $[\sigma]$, $[\sigma]_k$	$[\sigma]$ і $[\sigma]_k$ визначають за таблицями А.1 – А.4 залежно від марки сталі, з якої виконані елементи і розрахункової температури (поправковий коефіцієнт для допустимих напружень $\eta = 1$ через те, що елементи зварні)	З таблиці А.1 для сталі марки 20 за розрахункової температури $t = 150^\circ\text{C}$ допустимі напруження $[\sigma] = 139 \text{ МПа}$, $[\sigma]_k = 139 \text{ МПа}$.
2.	Коефіцієнти міцності зварних швів φ_p , φ_T	φ_p , φ_T визначають за таблицею В.1 залежно від виду зварних швів та довжини швів, що контролюються.	Для стикових швів з підварюванням кореня, які виконуються вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини $\varphi_p = 1,0$; $\varphi_T = 1,0$.
3.	Коефіцієнт міцності зварних швів кільця жорсткості φ_k .	φ_k визначають за таблицею 3.1 залежно від виду зварного шва та довжини швів, що контролюються	Для швів з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням $\varphi_k = 1,0$.
4.	Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії C_e	Додаток C_e враховується при швидкості руху в апараті рідких середовищ більше 20 м/с, газоподібних – більше 100 м/с; при наявності у рухомому середовищі абразивних твердих частинок і при ударній дії середовища на деталь	$C_e = 0$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
5.	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 $v_{кор} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/рік}$
6.	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 ($S = 4 \text{ мм}$) нормальної точності при його ширині від 1000 до 1500 мм включно становить $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, тобто $C_2 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
7.	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.	$C_3 = 0$
8.	Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S	$\frac{C_2 + C_3}{S}$	$\frac{2,2 \cdot 10^{-4} + 0}{4 \cdot 10^{-3}} = 0,055$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
9.	Сума додатків до розрахункової товщини C	$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3 \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S} > 0,05. \end{cases}$	$\frac{C_2 + C_3}{S} > 0,05, \text{ тому}$ $C = 9 \cdot 10^{-4} + 2,2 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
10.	Коефіцієнт K_4	$K_4 = \frac{p(D + S - C)}{2\varphi_p[\sigma](S - C)} - 1$	$K_4 = \frac{0,6(1,6 + 4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot 1 \cdot 139(4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3})} - 1 = 0,2012$
11.	Умова укріплення обичайки кільцями жорсткості	Якщо $K_4 \leq 0$, тоді укріплення не треба. Якщо $K_4 \geq 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_p} - 1$, тоді товщину стінки S слід збільшити до такого розміру, щоб виконувалась умова: $0 < K_4 < 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_p} - 1$. Якщо $0 < K_4 < 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_p} - 1$, тоді слід переходити до наступного пункту.	$2 \frac{\varphi_T}{\varphi_p} - 1 = 2 \frac{1,0}{1,0} - 1 = 1$ $0 < 0,2012 < 1$. Обичайку необхідно укріплювати кільцями жорсткості.
12.	Відстань між двома кільцями жорсткості b	$b \leq \sqrt{D(S - C) \left[\frac{2}{K_4} - \frac{\varphi_p}{\varphi_T} \left(1 + \frac{1}{K_4} \right) \right]},$	$b =$ $= \sqrt{1,6(4 - 1,12) \cdot 10^{-3} \left[\frac{2}{0,2012} - \frac{1}{1} \left(1 + \frac{1}{0,2012} \right) \right]} =$ $= 0,135 \text{ м. Приймаємо } = 0,12 \text{ м.}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
13.	Відстань між центрами ваги поперечних перерізів сусідніх кілець жорсткості у першому наближенні l_1^1	$l_1^1 = b + b_{\kappa}$	Для попереднього розрахунку приймаємо $b_{\kappa} = 0,01 \text{ м}$. Тоді $l_1^1 = 0,12 + 0,01 = 0,13 \text{ м}$
14.	Площа поперечного перерізу кільця у першому наближенні A_K^1	$A_K^1 \geq l_1 (S - C) \frac{[\sigma] \varphi_p}{[\sigma]_{\kappa} \varphi_{\kappa}} K_4$	$A_K^1 = 0,13 (4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3}) \frac{139 \cdot 1,0}{139 \cdot 1,0} 0,2012 = 7,533 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$
15.	Висота перерізу кільця жорсткості h_2	$h_2 \geq \sqrt{\frac{A_K^1}{0,225}}$	$h_2 = \sqrt{\frac{7,533 \cdot 10^{-5}}{0,225}} = 0,0183 \text{ м}$ Приймаємо $h_2 = 0,02 \text{ м}$
16.	Ширина перерізу кільця жорсткості b_{κ}	$b_{\kappa} = (0,2 \dots 0,25) h_2$	$b_{\kappa} = (0,2 \dots 0,25) 0,02 = 0,004 \dots 0,005 \text{ м}$ Приймаємо $b_{\kappa} = 0,005 \text{ м}$
17.	Остаточна відстань між центрами ваги поперечних перерізів сусідніх кілець жорсткості l_1	$l_1 = b + b_{\kappa}$	$l_1 = 0,12 + 0,005 = 0,125 \text{ м}$
18.	Остаточна площа поперечного перерізу кільця A_K	$A_K = h_2 b_{\kappa}$	$A_K = 0,02 \cdot 0,005 = 0,0001 \text{ м}^2$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
19.	Перевірка умов застосування розрахункових формул	<p>При умові рівномірного розташування кілець жорсткості:</p> $\begin{cases} \frac{S - C}{D} \leq 0,1 \\ \frac{S - C}{D} \leq 0,3 \end{cases}$ <p>для обичайок і труб при $D \geq 0,2$ м; для труб при $D < 0,2$ м.</p> $\frac{h_2}{D} \leq 0,2.$ <p>У випадках, коли кільця жорсткості встановлені нерівномірно, значення b і l_1 необхідно підставляти для тієї ділянки, де відстань між двома сусідніми кільцями жорсткості найбільша.</p>	$\frac{4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3}}{1,6} = 0,0018 < 0,1;$ $\frac{0,02}{1,6} = 0,0125 < 0,2.$ <p>Умови застосування розрахункових формул виконуються</p>
20.	Допустимий внутрішній надлишковий тиск з умов міцності всієї обичайки $[p]_1$	$[p]_1 = \frac{2[\sigma] \varphi_p (S - C) + 2 \frac{A_K}{l_1} [\sigma]_K \varphi_K}{D + S - C}.$	$[p]_1 = \frac{2 \cdot 139 \cdot 1(4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3}) + 2 \frac{1 \cdot 10^{-4}}{0,125} 139 \cdot 1}{1,6 + 4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3}} =$ $= 0,638 \text{ МПа}.$

Продовження табл. 3.7

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
21.	Параметр λ_{II}^2	$\lambda_{II}^2 = \frac{b^2}{D(S - C)}$	$\lambda_{II}^2 = \frac{0,12^2}{1,6(4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3})} = 3,125$
22.	Допустимий внутрішній надлишковий тиск з умов міцності оби- чайки між двома сусідні- ми кільцями жорсткості $[p]_2$	$[p]_2 = \frac{2[\sigma]\varphi_T(S - C)}{D + S - C} \cdot \frac{2 + \lambda_{II}^2}{1 + \frac{\varphi_T \lambda_{II}^2}{\varphi_p}}$	$[p]_2 = \frac{2 \cdot 139 \cdot 1(4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3})}{1,6 + 4 \cdot 10^{-3} - 1,12 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{2 + 3,125}{1 + \frac{1 \cdot 3,125}{1}} =$ $= 0,62 \text{ МПа}$
23.	Допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$	$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \}.$	$[p] = \min \{ 0,638; 0,62 \} = 0,62 \text{ МПа}$
24.	Перевірка умови міцнос- ті	$p \leq [p]$	$0,6 \text{ МПа} < 0,62 \text{ МПа}.$ Умова міцності виконується.
При $p > [p]$ необхідно збільшити площу поперечного перерізу кільця A_K і зробити відповідні перерахунки, поки не буде виконуватися умова: $p \leq [p]$.			