МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПЕРВОМАЙСЬКА ФІЛІЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

А.Ю. ЛИСИХ

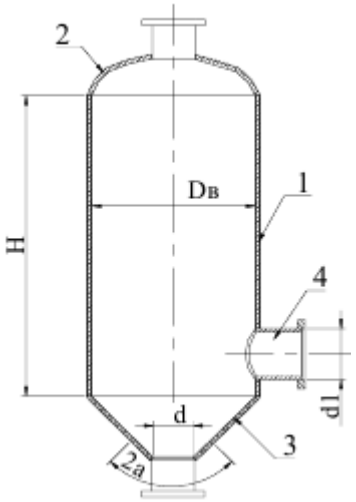
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

З ДИСЦИПЛІНИ **"ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА"**

(розробка і розрахунки вертикального апарата,
що працює під внутрішнім тиском)

Рекомендовано Методичною Радою ПФ НУК



Первомайськ 2019

УДК 621 (075)
ББК 34.44
Л-63

Рекомендовано Методичною Радою ПФ НУК
протокол № 10 від 20.06.2019 р.

Кафедра фундаментальних та загальнотехнічних наук

А.Ю. Лисих

"Технічна механіка": Методичні вказівки для виконання курсової роботи. – Первомайськ: Видавництво НУК, 2019. – 48 с.

Методичні вказівки для практичних занять містять теоретичний матеріал та методику розрахунку вертикального апарата, що працює під внутрішнім тиском. Розрахунки супроводжуються значною кількістю довідникової літератури.

Методичні вказівки призначені для студентів, які навчаються за спеціальністю 144 "Теплоенергетика" денної і заочної форм навчання.

.

УДК 621
ББК 34.44

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент О.О. Лобов

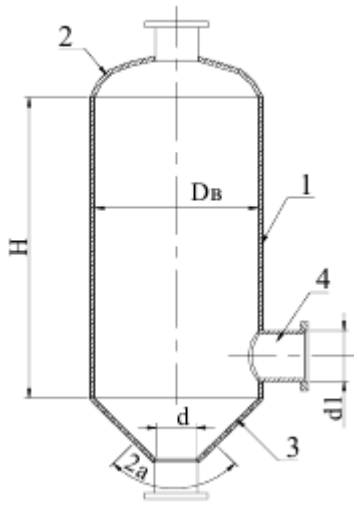
© А.Ю. Лисих
© Первомайська Філія
Національного університету
кораблебудування, 2019
© Видавництво НУК, 2019

ВСТУП

Для закріплення теоретичного матеріалу з дисципліни "Технічна механіка" і отримання практичних навиків із формулювання та розв'язання задач щодо проектування механічних пристроїв студенти виконують курсовий проект.

Виконання курсового проекту дає можливість студентам отримати навички користування технічною літературою, розвивати конструкторські уміння та уміння розв'язувати технологічні завдання

Корпус вертикального апарата, що працює під тиском, виконаний у вигляді циліндричної обичайки з внутрішнім діаметром Dв і висотою Н, обмежений зверху еліптичним, а знизу конічним днищем. В еліптичному днищі є центрально розташований патрубок для заповнення апарата, а в конічному днищі – патрубок такого ж діаметра d для видалення вмісту з апарата. У стінці обичайки розміщений штуцер діаметром d_1, для огляду внутрішньої поверхні апарата.



1 – обичайка;
2 – еліптичне днище;
3 – конічне днище;
4 – оглядовий штуцер
Рисунок 1.1 – Схема апарата, що розраховується

У резервуар завантажується неагресивне середовище – рідина з температурою $t_c = 20^0 C$. та густиною $\rho_{рід}$ (кг/м^3). Робочий надлишковий тиск середовища Pc (МПа).

Задачею курсового проекту є розробка конструкції апарату і розрахунок окремих вузлів на міцність, куди входять розрахунки обичайки, еліптичного і конічного днищ, зміцнень отворів, обтюрації, заглушок, фланця.

Схема апарата, що розраховується, приведена на Рисунку 1.1.

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки і графічної частини: одного листа формату А1.

Технічне завдання для курсової роботи

Таблиця 1 Вихідні дані для розрахунку курсової роботи

Варіант	Матеріал обичайки	Густина середовища $\rho_ж$, кг/м^3	Тиск середовища, МПа	Висота обичайки, Н, м	Внутрішній діаметр обичайки, м
1	Сталь Ст-20	1200	1,0	2,0	1,6
2	Сталь Ст-3	1050	1,2	2,4	2,2
3	Сталь Ст-20	1100	1,1	2,2	3,0
4	Сталь Ст-20	1150	1,15	2,3	4,0
5	Сталь Ст-3	1200	1,2	2,4	1,1
6	Сталь Ст-10	1250	1,25	2,5	1,2
7	Сталь Ст-20	1300	1,3	2,6	1,3
8	Сталь Ст-20	1350	1,35	2,7	1,4
9	Сталь Ст-3	1400	1,4	2,8	1,5
10	Сталь Ст-10	1450	1,45	2,9	1,6
11	Сталь Ст-20	1500	1,5	3,0	0,5
12	Сталь Ст-3	1550	1,55	3,1	0,6
13	Сталь Ст-10	1600	1,6	3,2	0,7
14	Сталь Ст-20	1650	1,65	3,3	0,8
15	Сталь Ст-20к	1700	1,7	3,4	0,9
16	Сталь Ст-3	1750	1,75	3,5	1,0
17	Сталь Ст-10	1800	1,8	3,6	1,2
18	Сталь Ст-20	1850	1,85	3,7	1,4
19	Сталь Ст-20к	1900	1,9	3,8	1,6
20	Сталь Ст-3	1950	1,95	3,9	1,8
21	Сталь Ст-10	2000	2,0	4,0	2,0
22	Сталь Ст-20	1950	2,1	4,5	2,1
23	Сталь Ст-20к	1900	2,15	4,6	2,2
24	Сталь Ст-3	1850	2,2	4,7	2,3
25	Сталь Ст-10	1800	2,25	4,8	2,4
26	Сталь Ст-20	1750	2,3	4,9	2,5
27	Сталь Ст-20к	1700	2,35	5,0	2,6

28	Сталь Ст-3	1650	2,4	5,1	2,7
29	Сталь Ст-10	1600	2,45	5,2	2,8
30	Сталь Ст-20	1550	2,5	5,3	2,9

1 РОЗРАХУНОК ОБИЧАЙКИ, ЯКА ПРАЦЮЄ ПІД ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ

Визначення номінальної розрахункової товщини стінки S' обичайок, виходячи з міцності провадиться по формулах наведених у Додатку А в залежності від конструкційного матеріалу, розміру відношення припустимої напруги $\sigma_д$ до розрахункового тиску Р в нижній частині обичайки і значення коефіцієнта міцності $\varphi=\varphi_ш$ зварних з'єднань (див. Додаток Б)

$$\frac{\sigma_д}{P}\varphi \qquad (1.1)$$

Припустима напруга $\sigma_д$ розраховується по номінальній припустимій напрузі $\sigma_д^*$, що визначається маркою сталі, температурою (див. Додаток В) і поправочному коефіцієнту η, який враховує умови експлуатації апарата.

$$\sigma_д = \eta \times \sigma_д^* \qquad (1.2)$$

Значення η рекомендується вибирати виходячи з таких розумінь:

- Для вузлів і деталей апаратів призначених для обробки або збереженню під тиском або без нього вибухово-пожежнонебезпечних продуктів, а також продуктів високої токсичності з обігрівом цих деталей і вузлів відкритим полум'ям, топковими газами або відкритими електронагрівачами $\eta = 0,9$.
- Те ж, але для деталей і вузлів що не обігріваються або при обігріві, але з надійною ізоляцією їх від джерел нагрівання, а також для вузлів і деталей апаратів, призначених для обробки або збереженню під тиском або без нього всіх інших продуктів з обігрівом цих вузлів і деталей відкритим полум'ям, топковими газами або відкритими електронагрівачами $\eta = 0,95$.
- В усіх інших випадках $\eta=1,0$.

У нашому випадку вибираємо значення $\eta = 1,0; \sigma_д^* = 140$ Мн/м^2. Таким чином

$$\sigma_Д = 1{,}0 \times 140 = 140 \text{ МПа.}$$

Запропоновані формули для розрахунку товщини обичайки мають межі застосування

$$\frac{S - C_K}{D_B} \le 0{,}1, \qquad (1.3)$$

де *Ск* – сумарна прибавка до розрахункової товщини матеріалу на корозію й ерозію.

Дане обмеження, можна перевірити тільки після визначення товщини обичайки *S*, і якщо виявиться, що прийнята формула не може бути застосована, то розрахунок потрібно повторити по іншій формулі.

Виходячи з приведених вихідних даних, розрахунковий тиск у нижній частині обичайки з урахуванням гідростатичного тиску стовпа рідини визначаємо за формулою

$$P = P_C + g\rho_{рід}H \times 10^{-6} = 1{,}6 + 9{,}8 \times 1200 \times 6{,}4 \times 10^{-6} = 1{,}675 \text{ МПа} \qquad (1.4)$$

За Додатком Б коефіцієнт міцності зварних з'єднань приймаємо рівним $\varphi = \varphi_Ш = 0{,}95$

Визначаємо відношення

$$\frac{\sigma_Д}{P} \times \varphi = \frac{140}{1{,}675} \times 0{,}95 = 79{,}4 > 25$$

Номінальна розрахункова товщина стінки обичайки для данного відношення

$$S' = \frac{D_B \times P}{2 \times \sigma_Д \times \varphi_Ш} = \frac{2 \times 1{,}675}{2 \times 140 \times 0{,}95} = 0{,}0126 \text{ м (12,6 мм)} \qquad (1.5)$$

Сумарну прибавку до номінальної розрахункової товщини стінки $C_{сум}$ розраховуємо по рівнянню:

$$C_{СУМ} = C_K + C_E + C_Д + C_0, \qquad (1.6)$$

де $C_к$ – прибавка на корозію або інший вид хімічного впливу робочого середовища на матеріал, мм;

$C_е$ – прибавка на ерозію або інший вид механічного впливу робочого середовища на матеріал, мм;

$C_д$ – додаткова прибавка по технологічним, монтажним й іншим розумінням, мм;

C_0 – прибавка на округлення розміру до стандартного, мм.

Прибавка $C_к$ залежить від хімічної проникності середовища в конструкційний матеріал і розрахункового терміну служби апарата. Дані про хімічну проникність і стійкість головних конструкційних матеріалів наведені в [Глава 9, стор.272, 1]. Розрахунковий термін служби апарату, якщо це спеціально не обговорено в технічному завданні на підставі статистичних даних приймається 10-15 років. Значення прибавки $C_к$ у залежності від хімічної проникності середовища, виходячи з розрахункового терміна служби апарата 10 років, рекомендується вибирати відповідно до наступних даних

- Для стійких матеріалів у заданому середовищі з проникністю не більш 0,005 мм/рік Ск=0;
- Для матеріалів із проникністю більш 0,005 до 0,1 мм/рік, а також для стійких матеріалів у заданому середовищі при відсутності даних про проникність Ск=1,0 мм.
- Застосування матеріалів, проникність яких у заданому середовищі більш 0,1 мм/рік, варто уникати. У випадку ж використання таких матеріалів прибавка Ск визначається в кожному конкретному випадку по [1].

Прибавка $C_е$ здебільшого не враховується. Враховувати такий вплив рекомендується в тих випадках, коли швидкість руху рідкого середовища більше 20 м/с, а швидкість руху газоподібного – 100 м/с і при наявності в середовищі абразивних твердих часток. Розмір прибавки береться на підставі дослідних даних. Прибавка C_0 приймається для округлення отриманої товщини до найближчого більшого розміру по сортаменту листового металу виходячи з ряду:

сталь прокатна товстолистова 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30 мм. і т.д. через 2 мм.

У нашому випадку прибавка на корозію $C_к$ =1,0 мм, а прибавка на округлення розміру C_0 складе 0,4 мм, а інші прибавки $C_е = C_д = 0$. Товщина стінки обичайки з урахуванням прибавок складе

$$S = S' + C_K + C_0 = 12{,}6 + 1{,}0 + 0{,}4 = 14\,\text{мм}.$$

Перевіряємо умову придатності формули (1.5).

$$\frac{S - C_K}{D_B} = \frac{14 - 1{,}0}{2000} 0{,}0065 < 0{,}1.$$

Таким чином, умова придатності формули (1.5) виконана.

Припустимий тиск в обичайці:

$$P_Д = \frac{2 \times \sigma_Д \times \varphi_Ш \times (S - C_K)}{D_B + (S - C_K)} \tag{1.7}$$

$$P_Д = \frac{2 \times 140 \times 0{,}95 \times (0{,}014 - 0{,}001)}{2{,}0 + (0{,}014 - 0{,}001)} = 1{,}72 \text{ МПа} = 17{,}2 \left(\frac{кгс}{см^2} \right)$$

2 РОЗРАХУНОК ЕЛІПТИЧНОГО ДНИЩА ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ АПАРАТА

Складовими елементами корпусів апаратів і судин, що працюють під тиском, є днища, що органічно пов'язані з обичайкою апарата і виготовляються з того ж матеріалу.

Однієї з раціональних форм днищ у циліндричних апаратах із погляду сприйняття тиску є еліптичні. Співвідношення розмірів що рекомендуються показані на Рисунку 2.1.

Тому що у верхній частині еліптичного днища передбачене центрально розташований неукріпленний отвір діаметром d, визначимо коефіцієнт ослаблення днища отвором за формулою [1]:

$$\varphi_0 = \frac{D_B - d}{D_B} = \frac{2{,}0 - 0{,}4}{2{,}0} = 0{,}8 \tag{2.1}$$

Якщо $\varphi_0 < \varphi_Ш$, надалі за розрахункове значення коефіцієнту ослаблення слід приймати φ_0; при $\varphi_0 > \varphi_Ш$ до розрахунку приймається $\varphi_Ш$.

Конструкція днища зварна з двох половин, зварний шов ручною електродуговою зваркою двосторонній $\varphi_Ш$=0,95 (за Додатком Б). Оскільки коефіцієнт ослаблення

днища отвором φ_0 менше коефіцієнта зварювального шва $\varphi_{Ш}$, надалі за розрахункове значення коефіцієнта ослаблення приймаємо φ_0 .

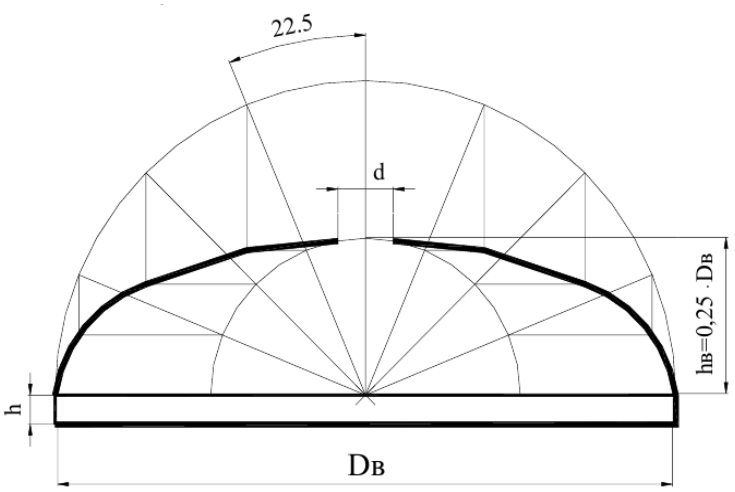


Рисунок 2.1 – Еліптичне днище верхньої частини аппарата

Визначаємо відношення визначальних параметрів $\sigma_Д$ і P_C з урахуванням φ_0

$$\frac{\sigma_Д}{P_C} \times \varphi_0 = \frac{140}{1{,}6} \times 0{,}8 = 70 > 25 \qquad (2.2)$$

Номінальну розрахункову товщину стінки днища для данного відношення відповідно до Додатка А визначаємо за формулою

$$S'_{ед} = \frac{D_B \times P_C}{2 \times \sigma_Д \times \varphi_0} = \frac{2 \times 1{,}6}{2 \times 140 \times 0{,}8} = 0{,}0143 \text{ м (14,3 мм)} \qquad (2.3)$$

Тому що прибавки на ерозію C_e і по технологічним розумінням $C_Д$ рівні 0, а прибавка на корозію дорівнює $C_К = 1{,}0$ мм, то прибавка на округлення товщини стінки до найближчого більшого розміру по сортаменту складе $C_0 = 0{,}7$ мм.

Товщина стінки з урахуванням прибавок буде дорівнювати

$$S_{ЄД} = S'_{ед} + C_К + C_0 = 14{,}3 + 1{,}0 + 0{,}7 = 16 \text{ мм}$$

У будь-якому випадку товщина стінки днища повинна бути не менше товщини стінки циліндричної обичайки, що сполучається з днищем.

Перевіряємо умову придатності формули

$$\frac{S_{ед} - C_K}{D_B} \le 0{,}125 \qquad \frac{16{,}0 - 1{,}0}{2000} = 0{,}0075 \prec 0{,}125$$

таким чином умова виконана.

Припустимий тиск у днищі визначаємо за формулою [стор. 453, 1]

$$P_Д = \frac{2 \times \sigma_Д \times \varphi_0 \times (S_{ед} - C_K)}{D_B + (S_{ед} - C_K)} \tag{2.4}$$

$$P_Д = \frac{2 \times 140 \times 0{,}8 \times (16 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{2{,}0 + (16 - 1{,}0) \times 10^{-3}} = 1{,}67 \text{ МПа}$$

Отриманий припустимий тиск у днищі апарата 1,67 МПа є не достатнім, тому що відповідно до (1.4) у нижній частині апарата тиск складає 1,675 МПа. Тому товщину днища приймаємо рівної $S_{ед} = 18$ мм.

Тоді припустимий тиск у днище складе:

$$P_Д = \frac{2 \times 140 \times 0{,}8 \times (18 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{2{,}0 + (18 - 1{,}0) \times 10^{-3}} = 1{,}89 \text{ МПа}$$

Висоту борта h (див. рисунок 2.1) визначаємо по Додатку Г, що складе h=50 мм.

3 РОЗРАХУНОК КОНІЧНОГО ДНИЩА НИЖНЬОЇ ЧАСТИНИ АПАРАТА

Конічні днища застосовуються головним чином у нижній частині вертикальних циліндричних апаратів у тих випадках, коли це обумовлено технологічним процесом, що виключає застосування еліптичних або плоских днищ (переважно для рідких середовищ, сипучих і грудкові матеріали при необхідності безупинного або періодичного повного видалення вмісту з апарата через нижній штуцер і т.п.).

Кут конуса при вершині днища приймається 60^0 або 90^0, в окремих випадках 150^0. Кут 60^0 рекомендується застосовувати для в'язких рідин і суспензій, а так само вологих, схильних до налипання порошкоподібних і грудкових матеріалів.

Кут 90^0 – для нев'язких рідин і сухих порошко- подібних і грудкових матеріалів. Приймаємо кут конуса $2\alpha = 90^0$.

Визначення номінальної розрахункової товщини стінки конічних днищ S', виходячи з міцності, необхідно робити по формулах, наведених в Додатку Д в залежності від кута при вершині конуса, розміру визначального параметра:

$$\frac{\sigma_Д}{P} \times \varphi_Ш \tag{3.1}$$

де значення Р приймається у верхній частині конуса або нижньої частини обичайки.

Зварювання конічного днища будемо робити двостороннім швом ручною електродуговою зваркою $\varphi_Ш = 0{,}95$.

Схема днища, що проектується, приведена на Рисунку 3.1.

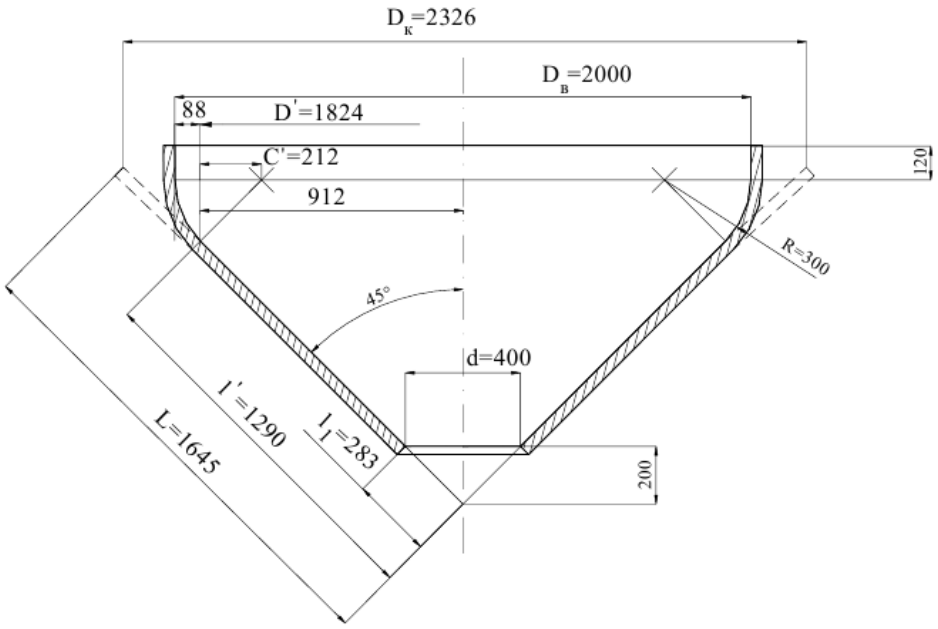


Рисунок 3.1 – Конічне днище нижньої частини аппарата

Тиск у верхній частині конічного днища складає Р =1,675 МПа , тоді

$$\frac{\sigma_Д}{P} \times \varphi_Ш = \frac{140}{1{,}675} \times 0{,}95 = 79{,}4 > 50 >> 3$$

Спочатку розрахункову товщину стінки днища визначаємо за формулою

$$S'_{КД} = \frac{D_B \times P \times y}{4 \times \sigma_{ИД} \times \varphi_Ш} \quad (3.2)$$

де у – коефіцієнт форми днища при куті α і $\frac{R_B}{D_B} = (0{,}1 \div 0{,}5)$ визначаємо (при $\alpha = 45^0$ і $\frac{R_B}{D_B} = 0{,}15$) за графіком (Додаток Е) у=1,9;

$\sigma_{ИД}$ – припустима напруга на вигин для матеріалу днища приймається рівною $\sigma_Д, \frac{Мн}{м^2}$;

$$S'_{КД} = \frac{2{,}0 \times 1{,}675 \times 1{,}9}{4 \times 140 \times 0{,}95} = 0{,}012 \text{ м} = 12 \text{ мм} \quad (3.3)$$

Визначаємо розрахунковий діаметр конічного днища за формулою (див.Додаток Д)

$$D = D_B - 2 \times \left[R_B \times (1 - \cos\alpha) + 10 \times S' \times \sin\alpha\right] \quad (3.4)$$

$$D = 2{,}0 - 2 \times \left[0{,}3 \times (1 - 0{,}7071) + 10 \times 0{,}012 \times 0{,}7071\right] = 1{,}994 \text{ м.}$$

Для днищ із торовидним переходом (відбортованими), якщо шов днища з обичайкою віддалений від торовидного переходу на розмір $a \geq 0{,}5\sqrt{\frac{D_B \times S}{\cos\alpha}}$ коефіцієнт ослаблення $\varphi_Ш = \varphi$ можна приймати рівним 1,0 [1].

Тоді номінальна розрахункова товщина для випадку $\frac{\sigma_Д}{P}\varphi > 50$ визначається за формулою

$$S'_{КД} = \frac{D \times P}{2 \times \cos\alpha \times \sigma_Д \times \varphi} = \frac{1{,}994 \times 1{,}675}{2 \times \cos 45 \times 140 \times 0.1} = 0.01686 \text{ м} = 16{,}9 \text{ мм} \quad (3.5)$$

За розрахункове значення вибирається більше між (3.3) і (3.5). Обираємо прибавку на округлення розміру $C_0 = 0{,}1$ мм. Товщина стінки конічного днища, буде дорівнювати

$$S_{КД} = S'_{КД} + C_К + C_0 = 16{,}9 + 1{,}0 + 0{,}1 = 18 \text{ мм.}$$

Припустимий тиск у днищі відповідно до Додатка Ж визначаємо по формулах:

$$P_Д = \frac{4 \times \sigma_Д \times \varphi \times (S_{КД} - C_К)}{D_В \times y} \quad (3.6)$$

$$P_Д = \frac{4 \times 140 \times 0{,}95 \times (18 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{2 \times 1{,}9} = 2{,}38\,\text{МПа}$$

$$P_Д = \frac{2 \times \cos\alpha \times \sigma_Д \times \varphi \times (S_{КД} - C_К)}{D + 2 \times \cos\alpha (S_{КД} - C_К)} \quad (3.7)$$

$$P_Д = \frac{2 \times \cos 45 \times 140 \times 0{,}95 \times (18 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{1{,}994 + 2 \times \cos 45 \times (18 - 1{,}0) \times 10^{-3}} = 1{,}58\,\text{МПа}$$

Дійсним є менше значення, тобто $P_Д = 1{,}58$ МПа. Проте ця величина менш розрахункового тиску в апараті рівного $P = 1{,}675$ МПа, тому приймаємо товщину стінки конічного днища рівну $S_{КД} = 20$ мм. Тоді розміри припустимих тисків складуть

$$P_Д = \frac{4 \times 140 \times 0{,}95 \times (20 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{2 \times 1{,}9} = 2{,}66\,\text{МПа}$$

$$P_Д = \frac{2 \times \cos 45 \times 140 \times 0{,}95 \times (20 - 1{,}0) \times 10^{-3}}{1{,}994 + 2 \times \cos 45 \times (20 - 1{,}0) \times 10^{-3}} = 1{,}77\,\text{МПа}$$

Таким чином, при збільшенні товщини стінки конічного днища до 20 мм, припустиме тиск в апараті складе 1,77 МПа, що більш розрахункового тиску 1,675 МПа

Розмір *а* (див. Рисунок 3.1) повинен бути не менш

$$a \geq 0{,}5\sqrt{\frac{D_В \times S}{\cos\alpha}} = 0{,}5\sqrt{\frac{2{,}0 \times 0{,}02}{\cos 45}} = 0{,}119\,\text{м} = 119\ \text{мм}. \quad (3.8)$$

Приймаємо *а*=120 мм.

Відповідно до Рисунка 3.1 розраховуємо головні геометричні розміри конічного днища.

Для кута $\alpha = 45^0$ і діаметра d:

$$l_1 = \sqrt{2 \times 200^2} = 283\,\text{мм}$$

$$l' = \sqrt{2 \times 912^2} = 1290\,\text{мм}$$

Довжина дуги відбортовки

$$l_{отб} = \frac{1}{8} \times 2 \times \pi \times R_B = \frac{\pi \times R_B}{4} = \frac{3{,}14 \times 300}{4} = 235 \text{ мм}$$

Довжина утворюючої конуса

$$L = 1290 + 235 + 120 = 1645 \text{ мм}$$

Умовний діаметр усіченого конуса

$$D_K = 2 \times \sqrt{\frac{1645^2}{2}} = 2326 \text{ мм}$$

Для побудови розгортки днища визначимо центральний кут розгортки за формулою

$$\alpha_p = \frac{180 \times l_k}{\pi \times L}.$$

Довжина кола l_k на діаметр D_K дорівнює

$$l_k = D_K \times \pi = 3{,}14 \times 2326 = 7304 \text{ мм}.$$

Тоді $\alpha_p = \frac{180 \times 7304}{3{,}14 \times 1645} = 254{,}53^0 = 254^0 32'$.

Розгортка заготівки конічного днища приведена на Рисунку 3.2.

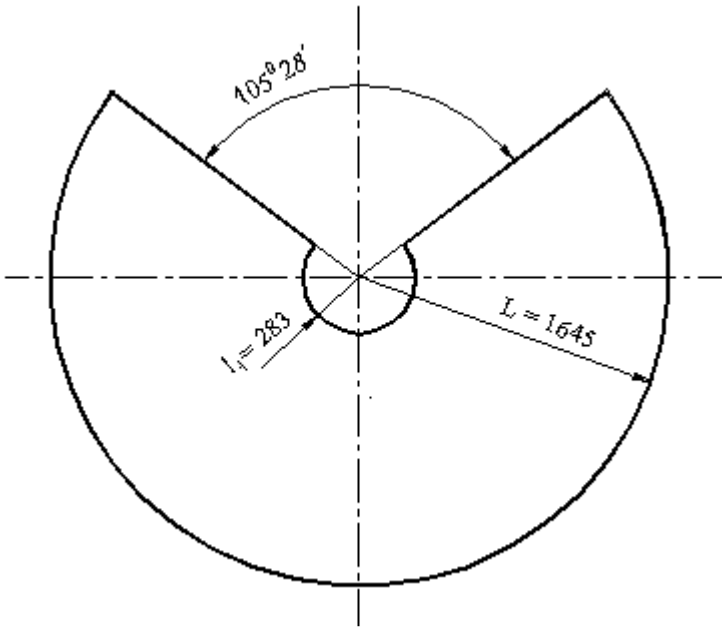


Рисунок 3.2 – Розгортка заготівки конічного днища

4. ЗМІЦНЕННЯ ОТВОРІВ

У обичайках, днищах і деяких інших деталях апаратів дуже часто потрібно мати різноманітного роду отвори для штуцерів, введень труб, люків, лази і т.п. Такі отвори послабляють відповідну стінку апарата і тому в багатьох випадках, потребують зміцнення.

Головні типові конструкції зміцнення отворів у стінах для штуцерів і труб у зварній апаратурі приведені на Рисунку 4.1.

Найбільший припустимий діаметр отвору в обичайці, який не потребує зміцнення, визначаємо за формулою

$$d_Д = 2 \times \left[\left(\frac{S - C_K}{S'} - 0{,}8 \right) \times \sqrt{D_B \times (S - C_K)} - C_K \right], \qquad (4.1)$$

де S – товщина стінки обичайки, м;

S' – номінальна розрахункова товщина стінки без прибавок, м;

C_K – прибавка на корозію, м;

D_B – внутрішній діаметр обичайки, м.

Тоді для випадку, що розраховується

$$d_Д = 2 \times \left[\left(\frac{0{,}014 - 0{,}001}{0{,}0126} - 0{,}8 \right) \times \sqrt{2 \times (0{,}014 - 0{,}001)} - 0{,}001 \right] = 0{,}073 \text{ м} = 73 \text{ мм}$$

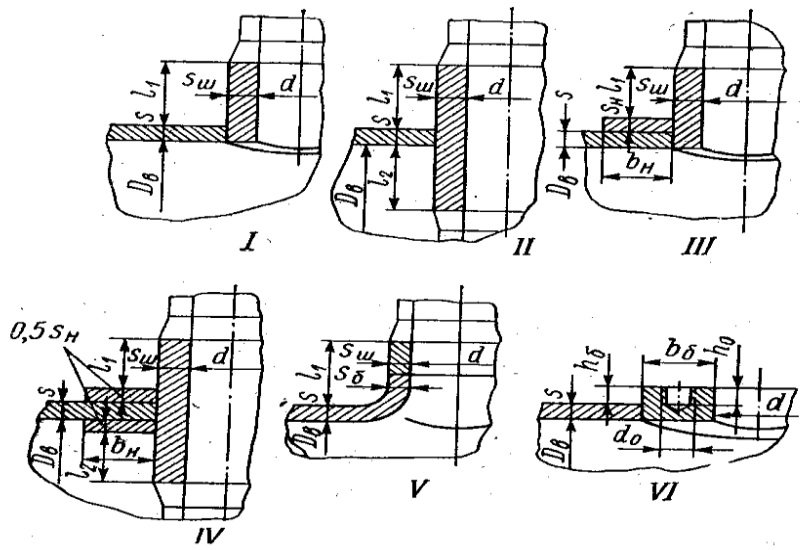
Оскільки внутрішній діаметр штуцера в обичайці $d_1 = 500$ мм більше $d_Д$, отвір в обичайці потрібно укріпити.

Номінальна розрахункова товщина стінки штуцера, рахуючи коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва в ньому $\varphi_ш = 0{,}95$, визначаємо за формулою

$$S'_Ш = \frac{d_1 \times P}{2 \times \sigma_Д \times \varphi_Ш} \qquad (4.2)$$

$$S'_Ш = \frac{0{,}5 \times 1{,}675}{2 \times 140 \times 0{,}95} = 3{,}15 \times 10^{-3} \text{м} = 3{,}15 \text{мм}$$

Приймаємо товщину стінки штуцера $S_Ш$ рівною товщині обичайки тобто $S_Ш = 14$ мм



I – укріплення одностороннім штуцером; II – укріплення двостороннім штуцером; III – укріплення одностороннім штуцером і накладкою; IV – укріплення двостороннім штуцером і двома накладками; V – укріплення отбортовкою і штуцером; VI – укріплення бобишкою.

Рисунок 4.1 – Розрахункові схеми для різних конструкцій укріплень отворів в стінах апаратів

Довжину частини штуцера, що бере участь у зміцненні отвору, визначаємо за формулою

$$l_1 = \sqrt{(d_1 + 2 \times C_K) \times (S_{Ш} - C_K)} \tag{4.3}$$

$$l_1 = \sqrt{(0{,}5 + 2 \times 0{,}001) \times (0{,}014 - 0{,}001)} = 0{,}081\,\text{м} = 81\,\text{мм}$$

При зварюванні штуцера або труби із стінкою апарата за схемою III, приведеною на Рисунку 4.1, зміцнення отвору є достатнім, якщо дотримана умова:

$$(d_1 - d_Д) \times S' \le 2 \times (l_1 + S - S' - C_K) \times (S_{Ш} - S'_{Ш} - C_K) \tag{4.4}$$

Перевіримо, чи достатньо зміцнення отвору в обичайці штуцером по наведеній умові:

$$(d_1 - d_Д) \times S' = (0{,}5 - 0{,}073) \times 0{,}0126 = 0{,}00538$$

$$P_r = 2 \times (l_1 + S - S' - C_K) \times (S_{Ш} - S'_{Ш} - C_K) \tag{4.5}$$

$$P_r = 2 \times (0{,}081 + 0{,}014 - 0{,}0126 - 0{,}001) \times (0{,}014 - 0{,}00315 - 0{,}001) = 0{,}00160$$

Оскільки права частина умови менше лівої зміцнення отвору не забезпечено.

Роздивимося зміцнення отвору шляхом стовщення стінки обичайки. Відповідно до попереднього розрахунку маємо

$$(d_1 - d_Д) \times S' \le 0{,}0016$$

Звідси $$d_Д = d_1 - \frac{0{,}0016}{S'} = 0{,}5 - \frac{0{,}0016}{0{,}0126} = 0{,}373 \text{ м}$$

Методом послідовних наближень знаходимо товщину стінки обичайки що зміцнюється, при котрій припустимий діаметр неукріпленого отвору буде більше 0,373 м. У результаті розрахунків одержимо

$$d_Д = 2 \times \left[\left(\frac{0{,}024 - 0{,}001}{0{,}0126} - 0{,}8 \right) \times \sqrt{2{,}0 \times (0{,}024 - 0{,}001)} - 0{,}001 \right] = 0{,}438 \text{ м} = 438\text{мм}$$

Таким чином, для забезпечення нормального зміцнення отвору необхідна товщина стінки обичайки в районі установлення штуцера 24 мм, тобто необхідна накладка товщиною (24 – 14 = 10 мм). Стовщення стінки обичайки в районі установлення штуцера викликає певні труднощі при виготовленні обичайки.

Перевіряємо можливість застосування втулкового зміцнення, тобто за рахунок збільшення товщини патрубка за умовою

$$(d_1 - d_Д) \times S' \le 2 \times \left[\sqrt{(d_1 + 2 \times C_K) \times (2S - C_K)} + S - S' - C_K \right] \times (2S - S'_Ш - C_K) \quad (4.6)$$

Права частина цієї нерівності буде дорівнювати

$$2 \times \left[\sqrt{(0{,}5 + 2 \times 0{,}001) \times (2 \times 0{,}014 - 0{,}001)} + 0{,}014 - 0{,}0126 - 0{,}001 \right] \times$$
$$\times (2 \times 0{,}014 - 0{,}00315 - 0{,}001) = 0{,}00557 \succ 0{,}00538$$

Тому що умова нерівності дотримана, можливо застосування зміцнення за рахунок товщини стінок штуцера.

Методом послідовних наближень знаходимо товщину штуцера $S_Ш = 28\,\text{мм}$ і перевіряємо отримані результати розрахунком:

$$l_1 = \sqrt{(0{,}5 + 2 \times 0{,}001)(0{,}028 - 0{,}001)} = 0{,}116 \text{ м} = 116\text{мм}.$$

Права частина нерівності (4.4)

$$2 \times (0{,}116 + 0{,}014 - 0{,}0126 - 0{,}001) \times (0{,}028 - 0{,}00315 - 0{,}001) = 0{,}00555 > 0{,}00538$$

У такий спосіб при товщині $S_Ш = 28\,\text{мм}$ штуцера і $l_1 = 116\,\text{мм}$ зміцнення буде забезпечено.

5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОБТЮРАЦІЇ ДЛЯ ЛЮКА

При конструюванні апаратів працюючих під тиском або вакуумом дуже часто доводиться мати справу з роз'ємними нерухомими міцно- щільними з'єднаннями (фланцевими, різьбовими і т.п.).

Обтюрація (ущільнення нерухомих роз'ємних з'єднань) досягається стиском із певної силою, яка забезпечує герметичність поверхонь що ущільнюються, безпосередньо один з одним або за посередництвом розташованих між ними прокладок із більш м'якого матеріалу. Стиск провадиться за допомогою болтів або шпильок (у фланцевих з'єднаннях), за допомогою різьби в різьбових з'єднаннях.

У Додатку З наведені головні типи обтюрацій. По способу ущільнення обтюрація ділиться на прокладочну, безпрокладочну і спеціальну.

Найбільше поширення має прокладочна обтюрація, застосовувана в з'єднаннях низького, середнього і високого тиску. Безпрокладочна обтюрація застосовується в головному при малих діаметрах і високих тисках. Спеціальна обтюрація має обмежене застосування головним чином при високих тисках.

При виборі типу обтюрації варто знати, що прокладочна обтюрація при необхідності багатократного розбирання з'єднань потребує прокладок із високоеластичних переважно не металевих матеріалів (гума, прогумоване тканина, шкіра і т.п.). Разової дії є прокладки з картону, азбестового картону, металеві зубцюваті і т.п.

Головні типи прокладок, які застосовуються в обтюраціях, наведені в Додатку И. Для забезпечення герметичності у фланцевому з'єднанні штуцер $d_1 = 500$ мм обираємо тип обтюрації ІА [див. Додаток З] із прокладкою типу 1 [див. Додаток И] із поліетилену.

Розрахункова сила осьового стиску прокладки визначається за формулою

$$P_n' \geq \pi \times D_n \times B_e \times k \times P \qquad (5.1)$$

де D_n – середній діаметр ущільнення, м;

B_e – ефективна ширина ущільнення, м;

P – розрахунковий тиск середовища в апараті, Мн/м2;

k – коефіцієнт, що залежить від матеріалу і конструкції прокладки.

Ширина прокладки, що ущільнюється «в» може бути визначена для малих діаметрів по Додатку К, а для великих діаметрів по [табл. 20.5; 1; стор.519].

Для нашого випадку при діаметрі $d_1 = D_y = 500$ мм і тиску $P = 1{,}675$ МПа (приймаємо найближче більше значення 2,5 МПа) величина

$$B = \frac{D_1 - d_H}{2} = \frac{615 - 530}{2} = 42{,}5 \text{мм}$$

де $d_H = 426$ мм (за Додатком К).

Товщина прокладки з неметалевих матеріалів для діаметрів менше 1100 мм дорівнює 2,3 мм (приймаємо 2 мм). Середній діаметр ущільнення

$$D_n = D_1 - B = 615 - 42{,}5 = 572{,}5 \text{мм}.$$

Ефективну ширину ущільнення B_e визначаємо з Додатка Л:

$$B_e = 0{,}12 \times \sqrt{B} = 0{,}12 \times \sqrt{0{,}0425} = 0{,}025 \text{ м}.$$

Визначаємо з Додатка М значення коефіцієнта *k*=3,5.

Розрахункове зусилля осьового стиску:

$$P_n' \geq 3{,}14 \times 0{,}5725 \times 0{,}025 \times 3{,}5 \times 1{,}675 = 0{,}263 \text{ Мн (26300кгс)}.$$

Ескіз прокладки з поліетилену для штуцера $d_1 = 500$ мм наведений на Рисунку 5.1.

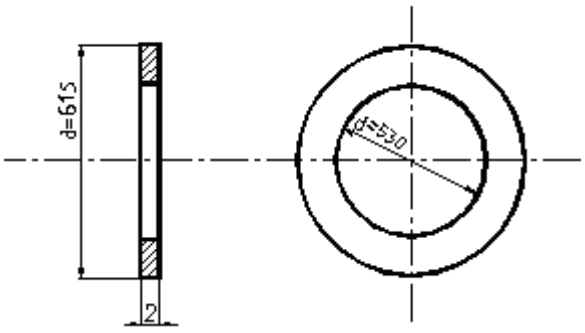


Рисунок 5.1 – Ескіз прокладки для штуцера

6 РОЗРАХУНОК БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗАГЛУШКИ ШТУЦЕРА

Болти і гайки до них у фланцевих з'єднаннях повинні прийматися по відповідних стандартах і нормам, причому вибирати їх рекомендується з метричною різьбою (із нормальним або дрібним кроком).

Діаметр болтів і відстань між ними в розробляємих фланцевих з'єднаннях доцільно приймати можливо меншими. Проте діаметр болтів менше 12, та у всякому разі менше 10 мм, приймати не слідує, а відстань між їхніми центрами повинна лежати в межах 2,5 діаметрів болта, причому більше з зазначених відстаней застосовуються при малих тисках P , а менше - при високих.

Головною вихідною величиною при розрахунку і конструюванні щільноміцного фланцевого з'єднання є розрахункове розтягальне зусилля в болтах $P_б$, що підрозділяється на розтягальне зусилля при затягуванні з'єднання

$$P'_{б1} = \alpha P'_C + P'_n \tag{6.1}$$

котре повинно бути не менше ніж

$$P_{б1}{}^{\min} = 0{,}5\pi D_n B_e q \tag{6.2}$$

І розтягальне зусилля при робочих умовах

$$P'_{б2} = P'_C + P'_n \tag{6.3}$$

де P'_C – розрахункова сила від тиску середовища в Мн;

P'_n – розрахункова сила осьового стиску поверхонь, що ущільнюються, у робочих умовах, яка необхідна для забезпечення герметичності, Мн;

D_n – середній діаметр ущільнення, м;

B_e – ефективна ширина ущільнення, м;

q – питоме навантаження для матеріалу обтюрації (Додаток М);

α – константа жорсткості: при плоскій гумовій прокладці $\alpha = 0{,}8$,

при плоскій неметалевій прокладці $\alpha = 1{,}45$.

Розрахункове зусилля від тиску середовища в апараті визначаємо за формулою

$$P'_C = \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times P = \frac{3{,}14}{4} \times 0{,}5725^2 \times 1{,}675 = 0{,}431 \text{Мн}$$

Розрахункове розтягальне зусилля в болтах при затягуванні з'єднання

$$P'_{б1} = 1{,}45 \times 0{,}431 + 0{,}263 = 0{,}888 \text{ Мн}$$

Перевіримо мінімальне значення розтягального зусилля в болтах (при q = 30 Мн/м2 для прокладки з поліетилену)

$$P^{\min}_{б1} = 0{,}5 \times 3{,}14 \times 0{,}5725 \times 0{,}025 \times 30 = 0{,}674 \text{ Мн} < 0{,}888 \text{ Мн}$$

Розрахункове розтягальне зусилля в болтах при робочих умовах визначаємо за формулою

$$P'_{б1} = P'_C + P'_n = 0{,}431 + 0{,}263 = 0{,}694 \text{ Мн}$$

Припустима напруга на розтяг у болтах виготовлених із сталі Ст.35, визначаємо за графіком з Додатку Н, $\sigma_Д = 130$ Мн/м^2.

При заздалегідь відомому середньому діаметрі ущільнення $D_n = 0{,}5725$ м (див. розділ 5) і умові відповідному $d_б \geq 24$ мм:

$$\frac{P'_{б1}}{\sigma_Д} \geq 0{,}0192 \times D_n + 9{,}2 \times 10^{-4} \qquad (6.4)$$

розрахунковий діаметр болтів $d'_б$ рекомендується визначати за формулою:

$$d'_б = 0{,}25 \times \left(\sqrt{\frac{10 \times P'_б}{\sigma_Д} + D_n^2} - D_n \right) \qquad (6.5)$$

де $P'_б$ – розрахункове розтягальне зусилля в болтах.

Приймається найбільше з (6.1) і (6.3), Мн;

D_n – середній діаметр ущільнення, м.

Розрахунковий діаметр болтів визначений за формулою округляється до найближчого стандартного розміру див. Додаток О: більший – при $d'_б \leq 36$ меншого – при $d'_б > 36$

У тих випадках, коли умова (6.4) не витримана вибір болтів рекомендується робити відповідно до Додатка П.

Визначаємо відношення

$$\frac{P'_б}{\sigma_Д} = \frac{0{,}888}{130} = 0{,}00683$$

Визначаємо величину:

$$0{,}0192 \times D_n + 9{,}2 \times 10^{-4} = 0{,}0192 \times 0{,}5725 + 9{,}2 \times 10^{-4} = 0{,}01191$$

Тому що співвідношення (6.4) не витримується, діаметр болтів визначаємо по Додатку П при відношенні

$$\frac{0{,}0192 \times D_n + 9{,}2 \times 10^{-4}}{P'_б \diagup \sigma_Д} = \frac{0{,}01191}{0{,}00683} = 1{,}744$$

При зазначеному відношенні діаметр болтів дорівнює $d_б = 20$ мм і коефіцієнт К – враховуючи додаткові напруги в болтах діаметром менше 24 мм дорівнює К=0,8.

По Додатку О вибираємо болти М20х2,5 при цьому $d_1 = 16{,}753$ мм, а площа перетину $F_б = 2{,}2 \times 10^{-4}$ м^2.

Визначаємо розрахункову кількість болтів за формулою:

$$Z' = \frac{P'_б}{K \times \sigma_Д \times F_б} \qquad (6.6)$$

1. Виходячи з затягування з'єднань

$$Z' = \frac{P'_{б1}}{K \times \sigma_Д \times F_б} = \frac{0{,}888}{0{,}8 \times 130 \times 2{,}2 \times 10^{-4}} = 38{,}8$$

2. Виходячи з робочих умов

$$Z' = \frac{P'_{б2}}{K \times \sigma_Д \times F_б} = \frac{0.694}{0{,}8 \times 130 \times 2{,}2 \times 10^{-4}} = 30{,}3$$

Кількість болтів Z приймаємо найбільшим із розрахункових з округленням його до найближчого числа кратного чотирьом. Приймаємо кількість болтів Z = 40 штук.

Діаметр болтової окружності визначаємо по рівнянню:

$$D'_б = D_1 + 1{,}6 \times d_б \qquad (6.7)$$

де D_1 – зовнішній діаметр прокладки (див. розділ 5), м

$$D'_б = 0{,}615 + 1{,}6 \times 0{,}02 = 0{,}647 \text{ м}$$

Розрахунковий діаметр $D'_б$ заокруглюється до найближчого більшого або меншого розміру $D_б$ який закінчується на 0 або 5 мм. Приймаємо діаметр болтової окружності $D_б = 650$ мм.

Перевіряємо величину кроку між центрами болтів:

$$t = \frac{\pi \times D_б}{Z} = \frac{3{,}14 \times 650}{40} = 51{,}02 \text{ мм} \quad (6.8)$$

Або це відповідає $\frac{51{,}02}{20} = 2{,}55$, що задовольняє умові.

7 РОЗРАХУНОК КРУГЛОГО ПЛОСКОГО ФЛАНЦЯ ДЛЯ ЛЮКА

Розрахунковий зовнішній діаметр фланця $D'_ф$ визначаємо за формулою

$$D'_ф = D_б + \alpha \quad (7.1)$$

де α – величина, що залежить від діаметрів болтів. Приймається по Додатку Р. Для $d_б = 20$ мм $\alpha = 40$ мм.

Тоді $D'_ф = 0{,}65 + 0{,}040 = 0{,}690$ м (690 мм)

Розрахунковий діаметр фланця округляється до найближчого більшого розміру $D_ф$, який закінчується на 5 або 0. Приймаємо $D_ф = 690$ мм.

Для визначення висоти плоского фланця попередньо знаходимо:

1) наведене навантаження на фланець при затягуванні з'єднання P_1 в Нм

$$P_1 = \frac{K}{K-1} \times \frac{D_{B1}}{D_б}\left(\frac{D_б}{D_п} - 1\right) P'_{б1} \quad (7.2)$$

де $$K = \frac{D_Ф}{D_{B1}} = \frac{0{,}69}{0{,}532} = 1{,}297$$

D_{B1} – внутрішній діаметр фланця, що розраховується по рівнянню

$$D_{B1} = d_H + 0{,}002 = 0{,}530 + 0{,}002 = 0{,}532 \text{ м} \quad (7.3)$$

$$P_1 = \frac{1{,}297}{1{,}297 - 1} \times \frac{0{,}532}{0{,}65}\left(\frac{0{,}65}{0{,}5725} - 1\right) 0{,}888 = 0{,}43 \text{ Мн}$$

2) наведене навантаження на фланець при робочих умовах

$$P_2 = \frac{K}{K-1}\left[P'_{б2}\frac{D_{B1}}{D_б}\left(\frac{D_б}{D_п} - 1\right) + P'_C\left(1 - \frac{D_{B1}}{D_п}\right)\right] \quad (7.4)$$

$$P = \frac{1{,}297}{1{,}297-1}\left[0{,}694\,\frac{0{,}532}{0{,}65}\left(\frac{0{,}65}{0{,}5725}-1\right)+0{,}431\left(1-\frac{0{,}532}{0{,}5725}\right)\right] = 0{,}469 \text{ Мн}$$

Допоміжна величина при затягуванні з'єднання

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{\sigma_T^{20}} \times \Psi_1 \tag{7.5}$$

Де Ψ_1 – коефіцієнт за графіком Додаток С, $\Psi_1 = 1{,}14$

σ_T^{20}- межа текучості , яка обумовлена співвідношенням

$$\sigma_T^{20} = \sigma_T^{20} n_T \tag{7.8}$$

де $n_T = 1{,}5\sigma_T^{20} = 140 \times 1{,}5 = 210$ МПа

$$\Phi_1 = \frac{0{,}43}{210} \times 1{,}14 = 0{,}00233 \text{ м}^2.$$

Допоміжна величина при робочих умовах

$$\Phi_2 = \frac{P_2}{\sigma_T^{20}} \times \Psi_1 = \frac{0{,}469}{210} \times 1{,}14 = 0{,}00255 \text{ м}^2. \tag{7.9}$$

Так як $\Phi_2 > \Phi_1$, для подальших розрахунків приймаємо $\Phi = \Phi_2 = 0{,}00255$.

Допоміжна величина

$$A = 2 \times \Psi_2 \times S_1^2 \tag{7.10}$$

де Ψ_2 – визначається за графіком Додаток Т $\Psi_2 = 4{,}0$;

S_1 – товщина частини обичайки, що з'єднується з фланцем, яка повинна бути не менш товщини обичайки апарата $S = 0{,}014$ м .

$$A = 2 \times 4{,}0 \times 0{,}014^2 = 0{,}00157 .$$

Розрахункова висота плоского фланця *h*' визначається по формулах:

При $\Phi \le 1{,}13 \times A$

$$h' = 0{,}5 \times \sqrt{\Phi} \tag{7.11}$$

$$h' = 0{,}27 \times \sqrt{D_{B1} \times \Phi} \tag{7.12}$$

За розрахункову приймається більша величина.

При $\Phi \le 1{,}13 \times A$

$$h' = \sqrt{\Phi - 0{,}85 \times A} \tag{7.13}$$

$$h' = 0{,}43 \times \sqrt[3]{D_{B1} \times (\Phi - 0{,}85 \times A)} \qquad (7.14)$$

За розрахункову приймається більша величина.

Визначаємо величину

$$1{,}13 \times A = 1{,}13 \times 0{,}00157 = 0{,}00177$$

Тому що $\Phi = 0{,}00255 > 1{,}13 \times A = 0{,}00177$, то розрахункова висота фланця буде

$$h' = \sqrt{0{,}00255 - 0{,}85 \times 0{,}00157} = 0{,}0349 \text{ м}$$

$$h' = 0{,}43 \times \sqrt[3]{0{,}532 \times (0{,}00255 - 0{,}85 \times 0{,}00157)} = 0{,}0371 \text{ м}$$

Висоту фланця округляємо до найближчого більшого розміру по сортаменту листового металу. Приймаємо висоту фланця h=38мм.

Ескіз фланця наведений на Рисунку 8.1.

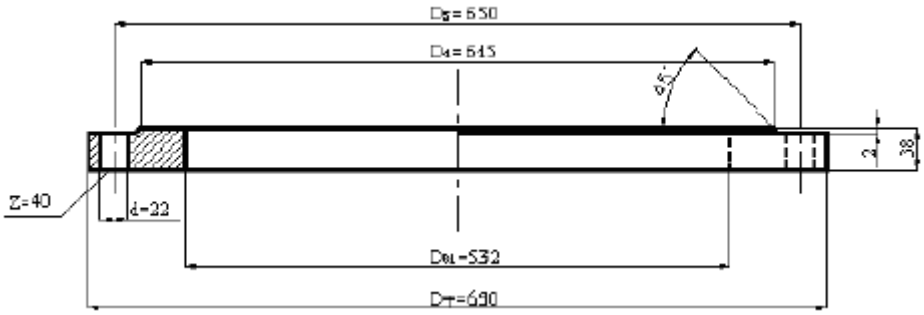


Рисунок 8.1 – Ескіз плоского круглого фланця для люка

Додаток А

Формули для визначення номінальної розрахункової товщини стінки циліндричних обичайок.

$\frac{\sigma_Д}{p}\varphi$	При базовому D_B, м	При базовому D_H, м
	Номінальна розрахункова товщина стінки S', м	
$\geq 5{,}5$ але <25	Для будь-яких матеріалів	
	$S' = \frac{D_B p}{2\sigma_д \varphi - p}$	$S' = \frac{D_H p}{2\sigma_д \varphi + p}$
≥ 25	Для будь-яких матеріалів	
	$S' = \frac{D_B p}{2\sigma_д \varphi}$	$S' = \frac{D_H p}{2\sigma_д \varphi}$
>5,5	Для пластичних металевих матеріалів	
	$S' = (0{,}5D_B + C_K)(\beta - 1)$	$S' = 0{,}5D_H \frac{\beta - 1}{\beta}$

P - розрахунковий тиск в апараті, МПа;

$\sigma_Д$ - припустима напруга на розтяг для матеріалу обичайки, МПа;

D_H і D_B - зовнішній і внутрішній діаметр обичайки, м;

β - коефіцієнт товстостінності [1, стор. 425];

Ск- поправка до розрахункової товщини на корозію й ерозію матеріалу обичайки

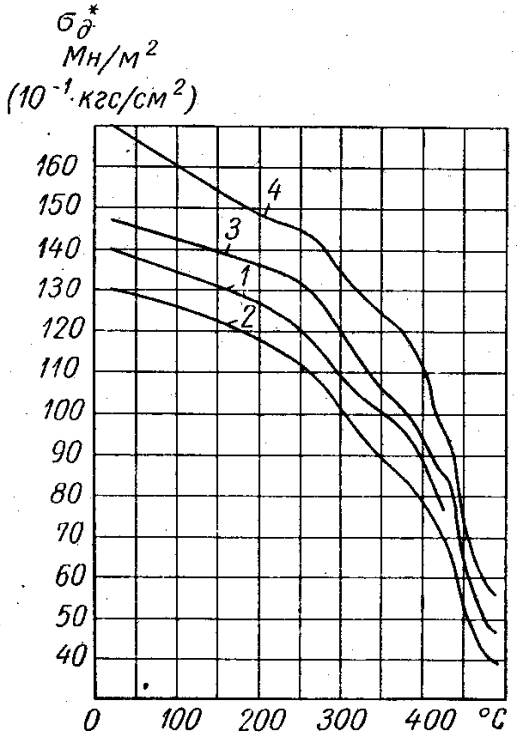
Додаток Б

Значення коефіцієнта міцності $\varphi_ш$ зварних і паяних з'єднань у деталях із металевих конструкційних матеріалів.

Вид з'єднання		Матеріали що з'єднуються	Застосування шва	Тип шва	Коефіцієнт міцності шва $\varphi_ш$
					Сталь вуглецева низьколегована, легована, високолегована і двошарова
Зварка	Автоматична під шаром флюсу	Сталь вуглецева низьколегована, легована, високолегована, і двошарова (у будь-якій композиції), однорідні кольорові метали і їхні сплави, а також мідь із латунню і бронзою.	При можливості зварки з двох сторін; для обичаєк D_B >500 *мм*	Стиковий двосторонній	***1,0***
			При неможливості зварки с двох сторін; для обичаєк D_B <500 *мм*	Стиковий односторонній	***0,8***
	Ручна електродугова		При можливості зварки з двох сторін; для обичаєк D_B >700 *мм*	Стиковий двусторонній	***0,95***
			При неможливості зварки с двох сторін, якщо можливо застосування підкладки, для обичаєк будь якого D_B	Стиковий односторонній з прокладкою	***0,9***
			При неможливості зварки с двох сторін і застосування підкладки, для обичаєк D_B <650*мм*	Стиковий односторонній	***0,7***

Додаток В

Номінальні припустимі напруги $\sigma_Д^*$ для вуглецевих і низьколегованих сталей



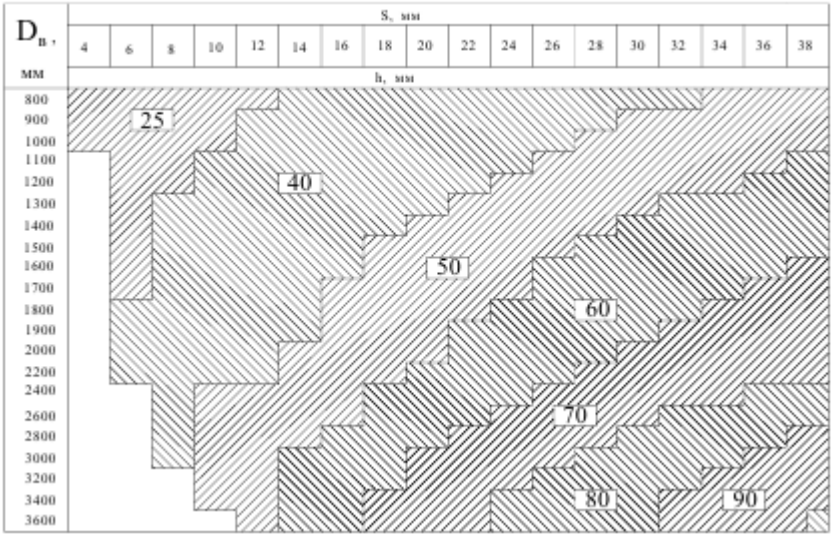
1 – ст. 3

2 – ст. 10

3 – ст. 20

Додаток Г

Висота борта в сталевих еліптичних відбортованих днищах із внутрішніми базовими розмірами



Додаток Д

Формули для визначення номінальної розрахункової товщини стінки металевих і не металевих конічних днищ, що працюють під внутрішнім тиском

Половина кута при вершині конуса, α^0	$\frac{\sigma_д}{P}\varphi$	При базовому D_B, м(см)	При базовому D_H, м(см)
		Номінальна розрахункова товщина стінки S', м(см)	
≤70	>3	$S' = \frac{D_B \times P \times y}{4 \times \sigma_{ид} \times \varphi}$	$S' = \frac{D_H \times P \times y}{2 \times (2 \times \sigma_{ид} \times \varphi + P \times y)}$
	>3 но не более 50	$S' = \frac{D \times P}{2\cos\alpha \times (\sigma_д \times \varphi - P)}$	$S' = \frac{D' \times P}{2[\cos\alpha \sigma_д \varphi + P(1-\cos\alpha)]}$
	>50	$S' = \frac{D \times P}{2\cos\alpha \times \sigma_д \times \varphi}$	$S' = \frac{D' \times P}{2\cos\alpha \sigma_д \varphi}$
>70	≥3	$S' = 0{,}3 \times (D_B - R_B) \times \frac{\alpha}{90} \times \sqrt{\frac{P}{\sigma_д \times \varphi}}$	$S' = \frac{0{,}3(D_H - R_H)\frac{\alpha}{90}\sqrt{\frac{p}{\sigma_д \varphi}}}{1 + 0{,}3\frac{\alpha}{90}\sqrt{\frac{p}{\sigma_д \varphi}}}$

P - розрахунковий тиск в апараті в $Мн/м^2 (кгс/см^2)$

$\sigma_д$ -припустима напруга на розтяг для матеріалу днища в $Мн/м^2 (кгс/см^2)$

$\sigma_{ид}$ - те ж на вигин у $Мн/м^2 (кгс/см^2)$

у - коефіцієнт форми днища. Визначається за графіком додаток Е в залежності від відношення $\frac{R_B}{D_B}\left(\frac{R_H}{D_H}\right)$ і кута α для днищ . Звичайно відношення $\frac{R_B}{D_B}$ лежить у межах від 0.1 до 0.4

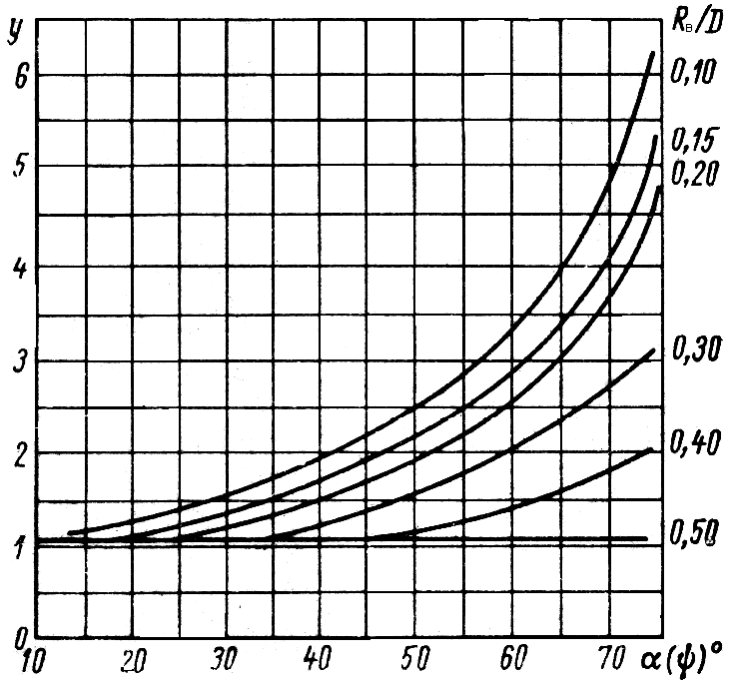
Rв - радіус вигину торовидного переходу.

D і D' - розрахункові діаметри. Для днищ із тровидним переходом $D = D_B - 2[R_B(1-\cos\alpha) + 10 \times S \times \sin\alpha]$ при базовому D_B і $D' = D_H - 2[R_H(1-\cos\alpha) + 10 \times S \times \sin\alpha]$ при базовому D_H. Для днищ без торовидним переходом . $D = D_B$ - при базовому D_B і $D' = D_H$ - при базовому D_H.

Примітка. При визначенні D і D' товщину S рекомендується приймати рівної S' .

Додаток Е

Графік для визначення фактора форми днища у



Додаток Ж

Формули для визначення припустимого тиску Р д у конічних днищах

Половина кута при вершині конуса α	Припускаємий тиск $P_Д, Мн/м^2$
≤70	$P_\partial = \frac{4 \times \sigma_\partial \times \varphi \times (S - C_K)}{D_B \times y}$
	$P_\partial = \frac{2 \times \cos\alpha \times \sigma_\partial \times \varphi \times (S - C_K)}{D + 2 \times \cos\alpha \times (S - C_K)}$
>70	$P_\partial = \sigma_\partial \times \varphi \times \left[\frac{S - C_K}{0{,}3 \times (D_B - R_B)} \times \frac{90}{\alpha} \right]^2$

Додаток З

Головні типи обтюрацій, які застосовуються у хімічній апаратурі для різноманітних нерухомих щільноміцних з'єднань

Тип	Ескіз	Найменування	Рекомендуємі границі використанняя		
			Середа	$P_C, Мн/м^2$	$t_C, {}^0C$

Прокладочні					
I		З прокладкою прямокутного перетину між плоскими поверхнями	Інертна мало агресивна	<2,5	<540
II		З прокладкою прямокутного або круглого перетину у шип - пазу		>1,0до20	
III		З прокладкою прямокутного або круглого перетину у шип - пазу	Агресивна, токсична вибухово-пожарнонебезпечна	<40	
IV		З прокладкою прямокутного перетину в замку	Люба	Вакуум	<250
				>10до40	<540
V		З прокладкою прямокутного перетину в прямокутному пазу	І нертна, мало агресивна	вакуум	<250
VI		З фасонною прокладкою в пазу форми ластівкового хвоста		<0.1 і вакуум	<100

Додаток И

Головні типи прокладок, які застосовуються у хімічній апаратурі

Тип прокладки	Форма поперечного перетину	Найменування прокладки	Матеріал	Тип обтюрації	Рекомендуємі границі застосування		
					$D_y, мм$	$P_C, Мн/м^2$	$t_C, {}^0C$
1		Прямокутного перетину	Гума, картон	I, II	≤ 3000	≤ 0,6	От−30 до+100
			Прогумованатканина			≤ 10,0	
			Азбестовий картон			≤ 1,6	≤+500

			Пластикат,поліетилен			≤ 4,0	От−30 до+60
			Фібра, шкіра	I, II, III-А, IV-А		≤ 20,0	От−200 до+50
			Пароніт			≤ 10,0	От−200 до +400
			Фторопласт		≤ 1000		От−200 до +250
			Вакуумна гума	III-А, IV-А		Вакуум	От –30 до +100
			алюміній, мідь, латунь, свинець, нікель, сталь		От 50 до 800	От 10 до 40	От−200 до +300
2		Круглого перетину	Вакуумна гума	IV-Б	От 50 до 1000	Вакуу м	От –30 до +100
			Алюміній, мідь, латунь, свинець, нікель, сталь		≤ 200	От 2,5 до 10	От−200 до +300
3		зубцювата	Сталь вуглецева і високолегована	II	От 25 до 400	От 4 до 10	От+200 до +540
4		плоска	Комбінований (азбестовий картон в оболонці зі сталі, алюмінію, міді, латуні і т.д.)	I, II, III-А	От 400 до 2200	От 1,0 до 6,4	От−200 до +540
5		Гофрована			≤ 400		
6		Квадратного перетину	Вакуумна гума	V	≤ 1000	Вакуу м	От –30 до +60
7		Профіль-на	гума, пластикат	VI		≤ 0,1	

Додаток К

Фланці арматури сполучних частин і трубопроводів із чорних металів цільні(по ГОСТ 1235-67)

$p_y, Мн/м^2$	D_y	$d_н$	$D_ф$	$D_б$	D_1	Болти		Тип фланців ГОСТ 1255-67	
						d_6	z	h,мм	Маса, кг
	мм								
0,25	10	14	75	50	35	М10	4	8	0,25
0,6								10	0,31
1,0			90	60	40	М12			0,46
1,6								12	0,54
2,5								14	0,63
4,0									
6,4			100	70	50				
10,0									
16,0									
20,0					55	М20			
0,25	15	18	80	55	40	М10		8	0,29
0,6								10	0,33
1,0			95	65	45	М12			0,51
1,6								12	0,61
2,5								14	0,70
4,0									
6,4			105	75	55				
10,0									
16,0									
20,0						М20			
0,25	20	25	90	65	50	М10		10	0,45
0,6								12	0,53
1,0			105	75	58	М12			0,74
1,6								14	0,86
2,5								16	0,98
4,0									
6,4			125	90	68	М16			
10,0									
16,0									
20,0			130		63	М20			
0,25	25	32	100	75	60	М10		10	0,55
0,6								12	0,64
1,0			115	85	68	М12			0,89
1,6								16	11,7
2,5									

4,0									
6,4			135	100	78	M16			
10,0									
16,0									
20,0			150	102	73	M24			
0,25	32	38	120	90	70	M12		10	0,79
0,6								13	1,01
1,0			135	100	78	M16		14	1,40
1,6								16	1,58
2,5								18	1,77
4,0									
6,4			150	110	85	M20			
10,0									
16,0									
20,0			160	115	86	M24			
0,25	40	45	130	100	80	M12		10	0,95
0,6								13	1,21
1,0			145	110	88	M16		15	1,71
1,6								17	1,96
2,5								19	2,18
4,0									
6,4			165	125	96	M20			
10,0									
16,0									
20,0			170	124	91	M24			
0,25	50	57	140	110	90	M12		10	1,04
0,6								13	1,33
1,0			160	125	102	M16		15	2,06
1,6								19	2,58
2,5								21	2,71
4,0									
6,4			175	135	108	M20			
10,0			195	145	115				
16,0									
20,0			210	160	129	M24	8		
0,25	60	76	160	130	110	M12	4	11	1,39
0,6								13	1,63
1,0			180	145	122	M16		17	2,80
1,6								21	3,42
2,5									3,22
4,0							8		
6,4			200	160	132	M20			
10,0			220	170	140	M24			

16,0									
20,0			260	203	167	M27			
0,25	80	89	185	150	128	M16	4	11	1,84
0,6								15	2,44
1,0			195	160	138			17	3,19
1,6								21	3,71
2,5								23	4,06
4,0							8		
6,4			210	170	142	M20			
10,0			230	180	150	M24			
16,0									
20,0			290	230	190	M30			
0,25	100	108	205	170	148	M16	4	11	2,14
0,6								15	2,85
1,0			215	180	158		8	19	3,96
1,6								23	4,73
2,5			230	190	162	M20		25	5,92
4,0									
6,4			250	200	170	M24			
10,0			265	210	175	M27			
16,0						M30			
20,0			360	292	245	M36			
0,25	125	133	235	200	178	M16	4	15	2,6
0,6								17	3,88
1,0			245	210	188		8	21	5,40
1,6								25	6,38
2,5			270	220		M24		27	8,26
4,0									
6,4			295	240	205	M27			
10,0			310	250	210	M30			
16,0									
20,0			385	318	271	M36	12		
0,25	150	159	260	225	202	M16		13	3,43
0,6								17	4,39
1,0			280	240	212	M20		21	6,62
1,6								25	7,81
2,5			300	250	218	M24		27	10,01
4,0									
6,4			340	280	240	M30	12		
10,0			350	290	250				
16,0									
20,0			440	360	306	M42			
0,25	200	219	315	280	258	M16	8	15	4,73

0,6								19	5,89
1,0			335	295	242	M20		21	8,05
1,6							12	27	10,1
2,5			360	310	278	M24		29	13,3
4,0			375	320	280	M27			
6,4			405	345	300	M30			
10,0			430	360	315	M36			
16,0									
20,0			535	440	380	M48			
0,25	250	273	370	335	312	M16	12	18	6,95
0,6								20	7,67
1,0			390	350	320	M20		23	10,7
1,6			405	355		M24		28	14,5
2,5			425	370	335	M27		31	18,9
4,0			445	385	345	M30			
6.4			470	400	335	M36			
10,0			500	430	380				
16,0									
20,0			670	572	508	M52	16		
0,25	300	325	435	395	365	M20	12	18	9,33
0,6								20	10,3
1,0			440	400	370			24	12,9
1,6			460	410	378	M24		28	17,8
2,5			485	430	390	M27	16	32	24,0
4,0			510	450	410	M30			
6,4			530	460	415	M36			
10,0			585	500	445	M42			
16,0									
0,25	350	377	485	445	415	M20	12	18	10,5
0,6								22	12,6
1,0			500	460	430		16	24	15,9
1,6			520	470	438	M30		30	22,9
2,5			550	490	450			38	34,4
4,0			570	510	465	M30			
6,4			595	525	475	M36			
10,0			655	560	500	M48			
0,25	400	426	535	495	465	M20		18	11,6
0,6								24	15,2
1,0			565	515	482	M24		26	21,6
1,6			580	525	490	M27		34	31,0
2,5			610	550	505	M30		40	44,6
4,0			655	585	535	M36			
6,4			670	585	525	M42			

10,0			715	620	560	M48			
0,25	500	530	640	600	570	M20	16	20	16,0
0,6								25	19,7
1,0			670	620	585	M24	20	28	27,7
1,6			710	650	610	M30		44	57,0
2,5			730	660	615	M36		48	67,3
4,0			735	670		M42			
6,4			800	705	640	M48			
0,25	600	630	755	705	670	M24	16	20	21,4
0,6								25	26,2
1,0			780	725	685	M27	20	31	39,4
1,6			840	770	720	M36		45	80,3
2,5									
4,0			890	795	730	M48			
6,4			925	820	750	M52			
0,25	800	820	975	920	880	M27	24	21	36,6
0,6								27	46,1
1,0			1010	950	905	M30	28		
1,6					900	M36	24		
2,5			1075	990	930	M42			
4,0			1135	1030	960	M52			

Додаток Л

Ефективна ширина bэ ущільнення для різноманітних типів прокладок.

Ефективна ширина ущільнення	***Типи прокладок***						
	1,2,34,5 и 6		3		7		
	Ширина прокладки				$D_у$		
	b<15мм	b>15мм	b<10мм	b>10мм	<200	>200 до 500	>500
$b_з$, мм	b	$0{,}12\sqrt{b}$	$b_0 z$	$\frac{3{,}16 b_0 z}{\sqrt{b}}$	3,5	5,5	8

Додаток М

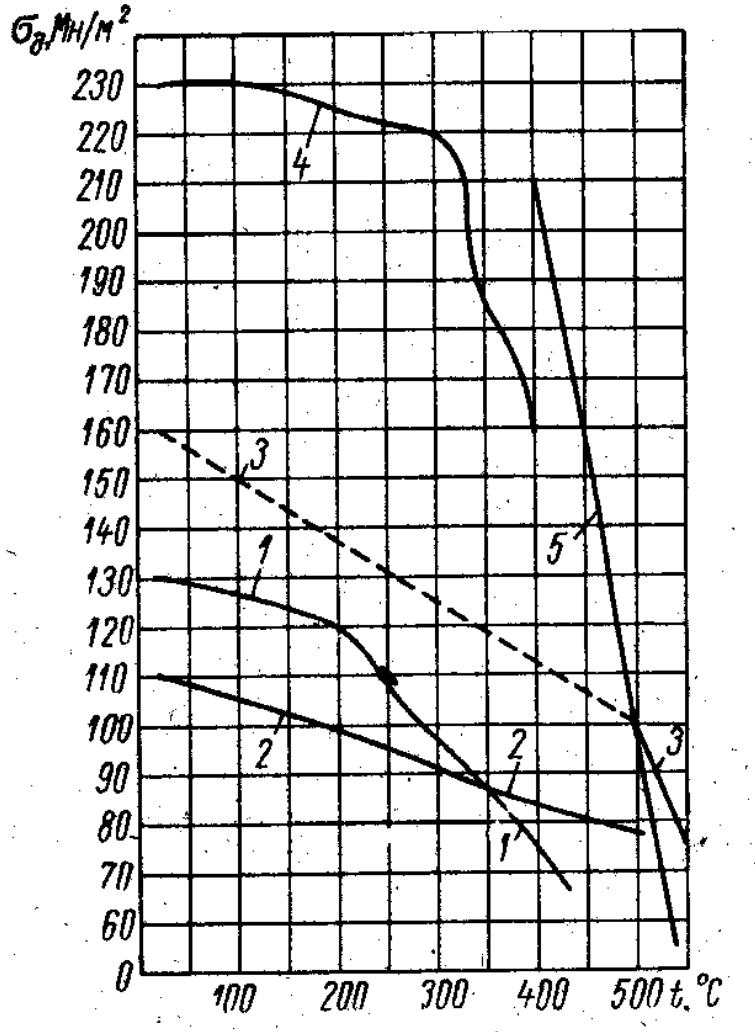
Значення питомих навантажень q і коефіцієнта k у формулі (6.1) для різноманітних прокладок

Конструкція і матеріал прокладки		Плоскі не металеві і металеві						
		Гума з твердістю по Шору св.75	Азбестовий картон, пароніт, картон, шкіра пластикат фторопласт	Прогумована тканина	Фібра, поліетилен, свинець	Алюміній	Мідь латунь	Монель
q	$Мн/м^2$	1,5	20	10	30	60	90	150
	$Кгс/см^2$	15	200	100	300	600	900	1500
k		1,0	2,5	2,0	3,5	4,0	4,75	6,0

Конструкція і матеріал прокладки		Плоскі і гофровані з азбестів, картону з оболонкою з				
		Алюмінію	Міді або латуні	Монелю	Сталі марок	
					05КП	0Х13 Х18Н10Т
q	$Мн/м^2$	1,5	20	10	30	60
	$Кгс/см^2$	15	200	100	300	600
k		1,0	2,5	2,0	3,5	

Додаток Н

Припустимі напруги на розтяг у сталевих болтах



1 – для марки сталі Ст.35;

2 – для марок 1Х18Н10Т и Х17Н3М2Т;

3 – для марки 4Х14НМВ2М;

4 – для марок 35Х, 38ХА, 4Х18Н8Г8НФВ;

5 – для марок 25Х2МФА,2Х12ВМБФР.

Додаток О

Діаметри різьби болтів $d_б$, внутрішні діаметри різьби і площі внутрішнього перетину їх $F_б$.

$d_б$	d_1	$F_б \cdot 10^4$

M10x1,5	8,051	0,509
M12x1,75	9,727	0,744
M14x2	11,402	1,02
M16x2	13,402	1,41
M18x2,5	14,753	1,71
M20x2,5	16,753	2,20
M22x2,5	18,753	2,76
M24x3	20,103	3,17
M27x3	23,103	4,19
M30x3,5	25,454	5,09
M36x4	30,804	7,45
M42x4,5	36,155	10,25
M48x5	41,505	13,50
M56x5,5	48,855	18,75
M64x4	56,206	24,8
M68x6	60,206	28,5
M72x6	64,206	32,3
M76x6	68,206	36,5
M80x6	72,206	40,9

Додаток П

Вибір діаметра болтів у круглих фланцевих з'єднаннях

$\frac{0{,}0192 \times D_n + 9{,}2 \times 10^{-4}}{P'_б / \sigma_б}$	$d_{бор}$мм	К
1 до 1,23	24	1,0
>1,23 до 2,55	20	0,8

>2,55 до 5,2	16	0,6
>5,2	12	0,4
K - коефіцієнт враховуючій додаткові напруги в болтах діаметром менше 24мм на крутіння при їхньому затягуванні.		

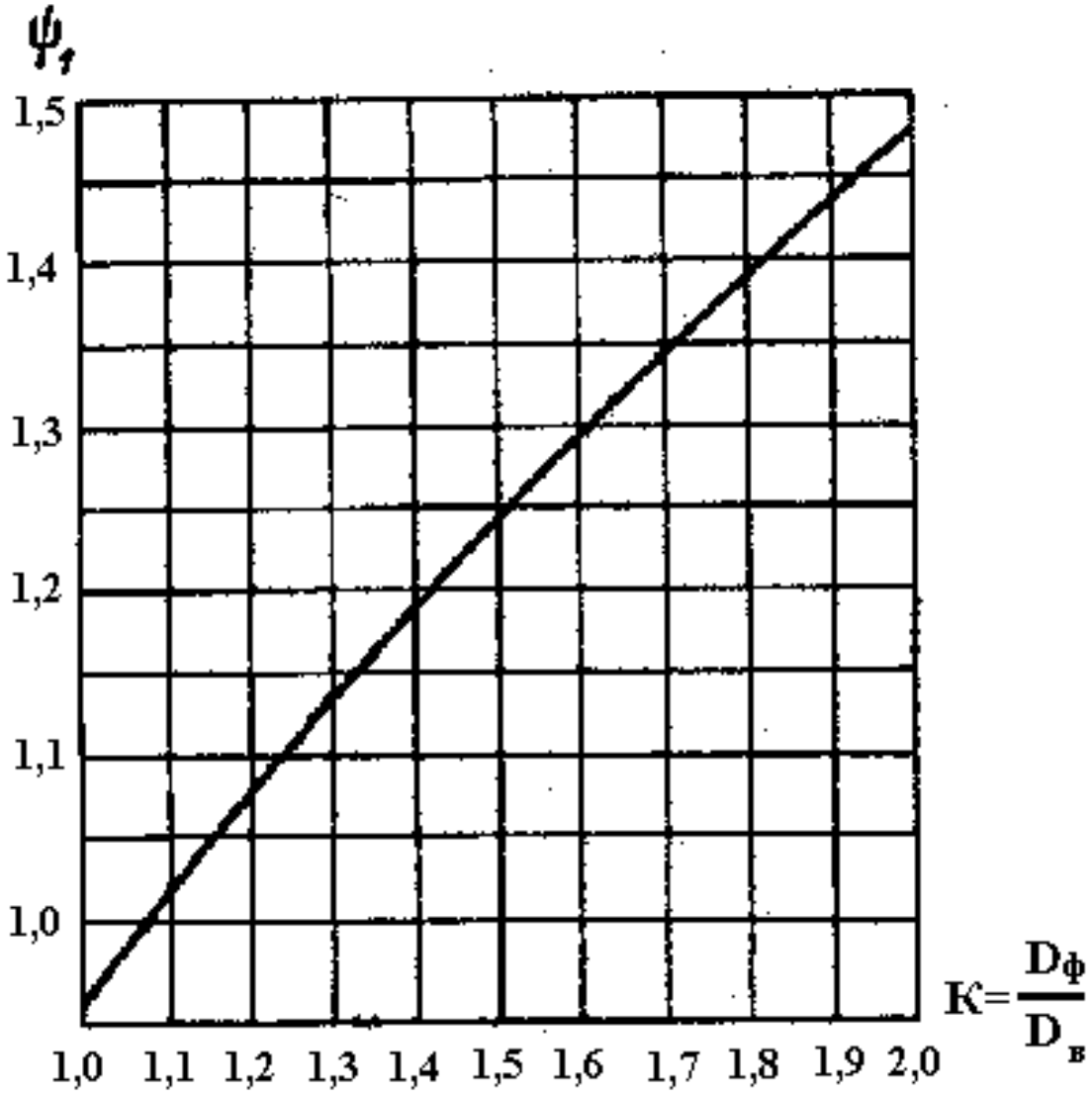
Додаток Р

Рекомендуємі значення величини α у формулі (8.1)

$d_б$, мм	10	12	14	16	18	20	22
α, мм	25	30	30	35	40	40	45
$d_б$, мм	24	27	30	36	42	48	56
α, мм	45	50	55	70	80	90	100

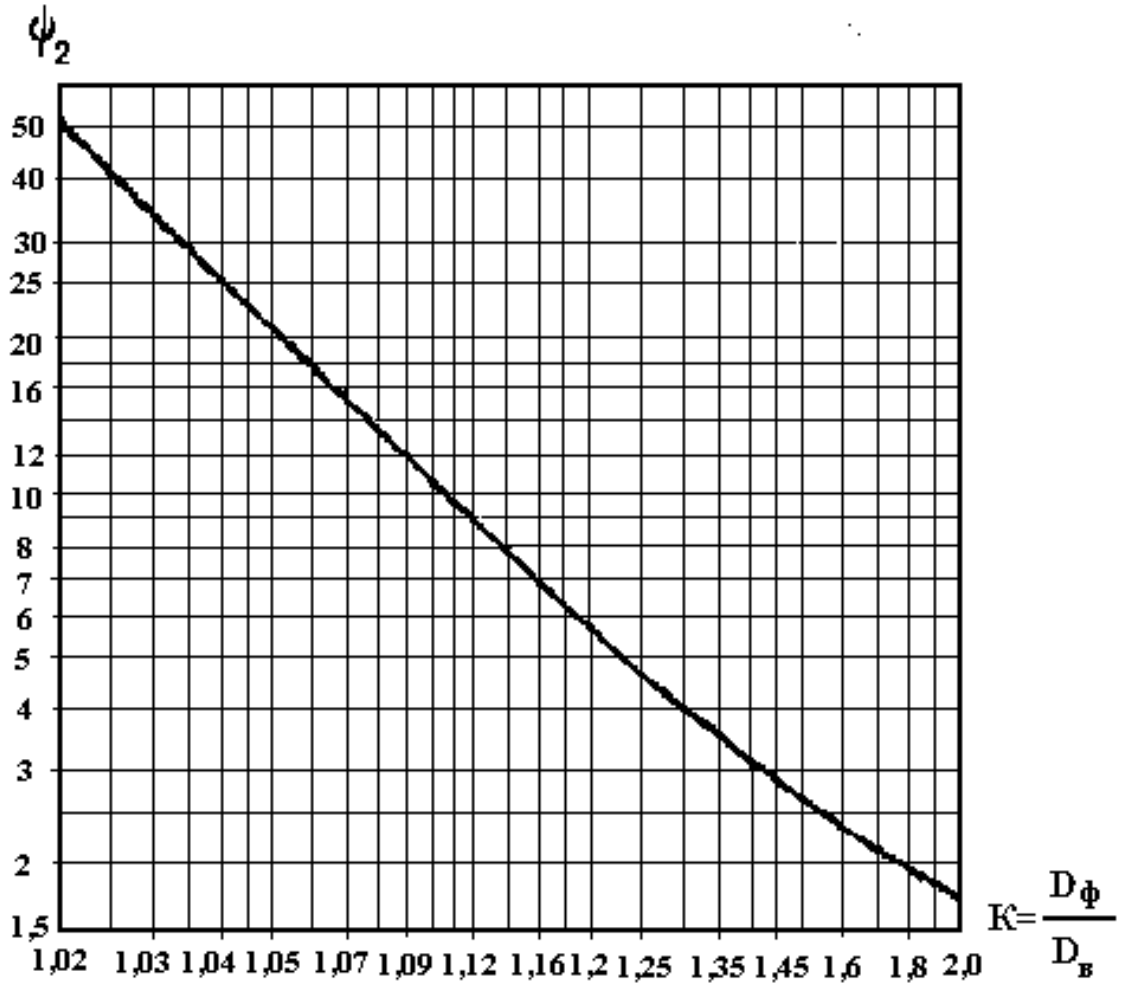
Додаток С

Графік для визначення коефіцієнта ψ_1



Додаток Т

Графік для визначення коефіцієнта ψ_2


ψ2
50
40
30
25
20
16
12
10
8
7
6
5
4
3
2
1,5
1,02 1,03 1,04 1,05 1,07 1,09 1,12 1,16 1,2 1,25 1,35 1,45 1,6 1,8 2,0
K= Dф / Dв

Література

1. Методичні матеріали до виконання курсового проекту на тему «Розробити конструкцію і розрахувати вертикальний апарат, що працює під внутрішнім тиском» з дисципліни «Основи конструювання» для студентів денної та заочної форм навчання напряму 6.050601 «Теплоенергетика» /Укл. Н.В. Сліпченко – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2010. – 48 с.

2. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

3. Сосуды и аппараты (нормы и методы расчета на прочность). ГОСТ 14249-80. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1987. – 64 с.

4. Троянкин Ю.В. Проектирование и эксплуатация огнетехнических установок. Учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с.

ЗМІСТ

Вступ 3

Технічне завдання для курсової роботи 4
1. РОЗРАХУНОК ОБИЧАЙКИ, ЯКА ПРАЦЮЄ ПІД ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ 5
2. РОЗРАХУНОК ЕЛІПТИЧНОГО ДНИЩА ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ АПАРАТА 8
3. РОЗРАХУНОК КОНІЧНОГО ДНИЩА НИЖНЬОЇ ЧАСТИНИ АПАРАТА 10
4. ЗМІЦНЕННЯ ОТВОРІВ 15
5. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОБТЮРАЦІЇ ДЛЯ ЛЮКА 17
6. РОЗРАХУНОК БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗАГЛУШКИ ШТУЦЕРА 20
7. РОЗРАХУНОК КРУГЛОГО ПЛОСКОГО ФЛАНЦЯ ДЛЯ ЛЮКА 23
ДОДАТКИ 26
Література 45

Для нотаток

Для нотаток