



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів

спеціальності

“Обладнання лісового комплексу”

з дисципліни

“Розрахунки та конструювання типового устаткування”

Київ-2014

Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності “Обладнання лісового комплексу” з дисципліни “Розрахунки та конструювання типового устаткування”: [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2014. – 99 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”
(Протокол № 9 від 8 грудня 2014 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Корнієнко Ярослав Микитович, професор, д.т.н,

Рецензент:

Собченко Віктор Васильович, заступник директора Інституту газу
НАН України, к.т.н.

Навчальне видання

Андреев Ігор Анатолійович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів спеціальності

“Обладнання лісового комплексу”

з дисципліни

“Розрахунки та конструювання типового устаткування”

Зміст

Вступ.....	4
Перелік позначень.....	5
1. Вихідні дані до розрахунку апарата.....	10
2. Практичне заняття 1. Розрахункові параметри і допустимі напруження.....	13
3. Практичне заняття 2. Розрахунок циліндричної обичайки, яка знаходиться під дією внутрішнього тиску	23
4. Практичне заняття 3. Розрахунок днищ і кришок, які знаходяться під дією внутрішнього тиску.....	29
5. Практичне заняття 4. Розрахунок циліндричної обичайки, яка знаходиться під дією зовнішнього тиску.....	40
6. Практичне заняття 5. Розрахунок циліндричної обичайки, яка знаходиться під спільною дією зовнішнього тиску і осьової стискуючої сили	45
7. Практичне заняття 6. Розрахунок конічного днища, яке навантажене зовнішнім тиском.....	49
8. Практичне заняття 7. Розрахунок еліптичного і півсферичного днищ, які навантажені зовнішнім тиском.....	54
9. Практичні заняття 8, 9. Розрахунок несучої спроможності обичайки під опорою.....	58
10. Практичні заняття 10, 11. Крайові навантаження: розрахунок крайової сили і крайового моменту. Розрахунок крайових напружень і перевірка умови міцності.....	59
11. Практичні заняття 12, 13, 14. Розрахунок валів перемішуючих пристроїв на вібростійкість, жорсткість і міцність.....	61

12. Практичні заняття 15, 16. Розрахунок товщини стінки апарата високого тиску. Розрахунок напружень, які виникають в корпусі апарата в робочих умовах.....	64
13. Практичне заняття 17. Розрахунок затворів апаратів високого тиску...	72
Додаток А. Механічні характеристики сталей.....	81
Додаток Б. Коефіцієнти міцності зварних швів.....	92
Додаток В. Сталевий листовий прокат.....	93
Додаток Г. Модуль пружності під час розтягу.....	96
Додаток Д. Номограма для розрахунку на стійкість в границях пружності циліндричних обичайок, які працюють під зовнішнім тиском.....	97
Додаток Е. Додаткові дані для розрахунку затворів апаратів високого тиску	98

Вступ

Дисципліна «Розрахунки та конструювання типового устаткування» викладається на кафедрі МАХНВ НТУУ «КПІ» у 5 семестрі студентам, які навчаються за спеціалізацією “Комп’ютерне проектування, програмне управління обладнання целюлозно-паперового виробництва”. Дисципліна має дати знання забезпечення міцності, стійкості, жорсткості, герметичності, корозійної тривкості і конструктивної довершеності основного хімічного обладнання.

Метою практичних занять є набуття досвіду проведення розрахунків основних елементів обладнання хімічних виробництв, систематизація і закріплення лекційного матеріалу.

Теоретичні положення дисципліни викладені у навчально-методичних розробках викладачів кафедри, посилання на які подаються окремо у кожному розділі вказівок.

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

- B_I – коефіцієнт;
- b – ширина плоскої прокладки, м;
- C – сума додатків до розрахункової товщини стінки, м;
- C_1 – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації корозії та (або) ерозії, м;
- C_2 – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації мінусового допуску, м;
- C_3 – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації стоншення стінки елементу посудини або апарата при технологічних операціях, м;
- C_e – додаток до розрахункової товщини стінки для компенсації ерозії, м;
- C_o – додаток до розрахункової товщини стінки, що йде на округлення до найближчої стандартної товщини листа, м;
- D – внутрішній діаметр посудини (обичайки, днища), м;
- D_I – внутрішній діаметр ущільнення, м;
- D_E – ефективний діаметр конічного днища, м;
- D_o – внутрішній діаметр нижнього штуцера, м;
- D_R – розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні, м;
- d_{ml}, d_{ml} – діаметри мішалок, м;
- E – модуль пружності в умовах розтягу за розрахункової температури, МПа;
- F – осьова стискаюча сила або розрахункове зусилля, що діє на шпильки, Н;
- F_Q – осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, Н;

F_p – осьова реакція прокладки, Н;
 F_{u1} – монтажне зусилля затягання шпильок, МН;
 F_{u2} – осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, МН;
 $[F]$ – допустима осьова стискуюча сила, Н;
 $[F]_E$ – допустима осьова стискуюча сила з умов стійкості в границях пружності, Н;
 $[F]_{E1}$ – допустима осьова стискуюча сила з умов місцевої стійкості в границях пружності, Н;
 $[F]_{E2}$ – допустима осьова стискуюча сила з умов загальної стійкості в границях пружності, Н;
 $[F]_\sigma$ – допустима осьова стискуюча сила з умов міцності, Н;
 H – висота днища, м;
 H_p – висота шару рідини, м;
 h – висота циліндричної частини (відбортовки) днища, м;
 h_0 – висота ущільнювального кільця, м;
 h_1, h_2 – основні розміри ущільнення з двоконусним кільцем, м;
 h_e – внутрішня висота днища без відбортовки, м;
 h_R – висота кільця по середній лінії ущільнювальної поверхні, м;
 $K_1, K_2, k_1, k_2, k_3, k_e$ – коефіцієнти;
 L – довжина вала, м;
 l – розрахункова довжина обичайки, м;
 l_1 – довжина циліндричної частини апарата, яка знаходиться під оболонкою, м;
 l_2 – довжина відбортовки, м;

l_z – розрахункова довжина елемента, що примикає до циліндричної обичайки, м;
 l_E – ефективна довжина конічного днища, м;
 l_{np} – зведена довжина обичайки, м;
 m – прокладочний коефіцієнт;
 m_1, m_2 – маси мішалок, кг;
 N_{m1}, N_{m2} – потужність мішалок, кВт;
 n – кількість обертів в одиницю часу, об./с;
 n_B – коефіцієнт запасу міцності за границею міцності;
 n_T – коефіцієнт запасу міцності за границею плинності;
 n_y – коефіцієнт запасу стійкості;
 p – розрахунковий внутрішній тиск, МПа;
 p_F – розрахунковий тиск з урахуванням впливу попереднього затягання при визначенні розрахункового зусилля, МПа;
 p_z – розрахунковий зовнішній тиск, МПа;
 p_{abs} – абсолютний тиск, МПа;
 p_{atm} – атмосферний тиск, МПа;
 p_c – гідростатичний тиск, МПа;
 p_u – пробний тиск, МПа;
 p_n – надлишковий тиск, МПа;
 $p_{роб}$ – робочий тиск, МПа;
 $[p]$ – допустимий надлишковий тиск, МПа;
 $[p_\varsigma]$ – допустимий зовнішній тиск, МПа;
 $[p_\varsigma]_E$ – допустимий зовнішній тиск з умов стійкості в границях пружності, МПа;
 $[p_\varsigma]_\sigma$ – допустимий зовнішній тиск з умов міцності, МПа;

$R_{0,2}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за розрахункової температури (напруження, за якого залишкове видовження становить 0,2 %), МПа;

$R_{0,2}^{20}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за температури 20 °С (напруження, за якого залишкове видовження становить 0,2 %), МПа;

$R_{1,0}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за розрахункової температури (напруження, за якого залишкове видовження становить 1 %), МПа;

$R_{1,0}^{20}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за температури 20 °С (напруження, за якого залишкове видовження становить 1 %), МПа;

R_e – мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури, МПа;

R_d – внутрішній радіус кривизни в вершині днища або кришки, м;

R_e – внутрішній радіус кривизни у вершині еліптичного днища, м;

R_T^{20} – границя плинності за температури 20 °С, МПа;

R_0 – границя плинності за розрахункової температури, МПа;

S – виконавча товщина стінки обичайки (посудини), м;

S^I – виконавча товщина стінки обичайки (посудини) у першому наближенні, м;

S_R – розрахункова товщина стінки, м;

S_d – виконавча товщина стінки днища, м;

S_d^I – виконавча товщина стінки днища у першому наближенні, м;

S_{dR} – розрахункова товщина стінки днища, м;

S_k – виконавча товщина конічного днища у безмоментній зоні, м;

S_{κ}^1 – виконавча товщина конічного днища у безмоментній зоні у першому наближенні, м;
 $S_{\kappa R}$ – розрахункова товщина стінки днища, м;
 S_{np} – товщина прокладки, м;
 t – розрахункова температура, °С;
 t_3 – зовнішня температура, °С;
 t_6 – внутрішня температура, °С;
 $v_{кор}$ – швидкість корозії (проникність), м/рік;
 x – коефіцієнт;
 z_1 – координата ущільнення вала, м;
 z_2 – координата середини вала, м;
 z_3 – координата місця розташування першої мішалки, м;
 z_4 – координата місця розташування другої мішалки, м;
 α, α_{κ} – половини кута при вершині конічної оболонки (днища), град;
 α_t – коефіцієнт лінійного розширення, 1/град.;
 β – коефіцієнт товстостінності;
 β_R – розрахунковий коефіцієнт товстостінності;
 γ – кут нахилу ущільнювальної поверхні корпусу або кришки посудини до вертикалі, град.;
 γ_1 – кут нахилу ущільнювальної поверхні ущільнювального кільця, град.;
 Δt – перепад температур, °С;
 η – поправковий коефіцієнт;
 λ – гнучкість;
 μ – коефіцієнт Пуассона;
 ρ – густина рідини, кг/м³;
 ρ – кут тертя;

$\sigma_{екв}$ – еквівалентне напруження, МПа;
 σ_n – герметизуюче напруження зім'якшення прокладки для розрахункового тиску, МПа;
 σ_T – границя плинності за розрахункової температури, МПа;
 $\sigma_{\partial.е}$ – мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється, при розрахунковій температурі, МПа;
 $\sigma_{\partial.ей.дй.}$ – мінімальне значення границі плинності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі, МПа;
 $\sigma_{\partial.ед.}$ – мінімальне значення границі плинності матеріалу кришки при розрахунковій температурі, МПа;
 $[\sigma]$ – допустиме напруження за розрахункової температури, МПа;
 $[\sigma]_к$ – допустиме контактне напруження на ущільнювальних поверхнях при розрахунковій температурі, МПа;
 $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження за температури 20 °С, МПа;
 τ – строк служби апарата, рік;
 φ – коефіцієнт міцності зварного шва;
 φ_p – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва;

1. ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКУ АПАРАТА

Апарат знаходиться під дією внутрішнього тиску p . З боку оболонки на корпус діє зовнішній тиск p_z . Елементи апарата зварені з листового прокату. Довжина зварних швів, що контролюються, становить 100 % від загальної довжини. Конічне днище виконано без відбортки. Схема апарата наведена на рисунку 1.1, а вихідні дані для розрахунку – у таблицях 1.1 і 1.2.

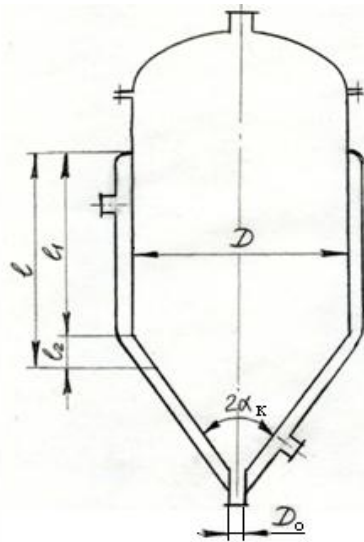


Рис. 1.1. Схема апарата

Таблиця 1.1. Вид зварного шва

Варіант	Вид зварного шва
1, 2	Стиковий, що виконується вручну з одного боку
3, 4	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
5, 6, 7	Стиковий, що доступний для зварювання з одного боку і що має у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу
8, 9, 10, 11	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну
12, 13	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
14, 15	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну
16, 17	Стиковий з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним зварюванням
18, 19, 20	Стиковий з підварюванням кореня шва, що виконується вручну

У прикладах подані розрахунки елементів цього апарата за робочих умов.

Тлумачення умовних позначень величин, які наведені у таблиці 1.2 можна отримати з переліку позначень.

Таблиця 1.2. Вихідні дані до розрахунку

Ва- ріант	D , м	D_o , м	l_l , м	α_k , град	p , МПа	p_z , МПа	t , °C	Марка сталі елементів апарата	$v_{кор}$, мм/рік	τ , рік
1	0,9	0,06	0,6	45	1,1	0,8	170	09Г2С	0,03	10
2	1	0,07	0,8	30	1,0	0,6	160	20К	0,08	15
3	1	0,07	0,9	45	1,1	0,7	165	16ГС	0,03	20
4	1,2	0,09	1,1	30	0,8	0,5	155	20	0,08	20
5	1,2	0,09	1,25	45	1,0	0,7	165	09Г2С	0,04	15
6	1,4	0,1	1,4	30	0,7	0,4	150	Ст3пс	0,05	20
7	1,4	0,1	1,6	45	0,9	0,6	160	16ГС	0,03	10
8	1,6	0,11	1,6	30	0,6	0,4	150	20	0,06	15
9	1,6	0,11	1,8	45	0,8	0,6	100	09Г2С	0,04	20
10	1,8	0,13	1,6	30	0,63	0,4	150	20	0,05	10
11	1,8	0,13	1,8	45	0,7	0,4	150	20К	0,06	15
12	2	0,14	2,2	30	0,54	0,3	140	Ст3пс	0,04	20
13	2	0,14	2,5	45	0,74	0,5	155	20К	0,07	10
14	2,2	0,16	1,6	30	0,54	0,4	150	10	0,08	15
15	2,2	0,16	1,8	45	0,64	0,5	155	Ст3пс	0,05	20
16	2,4	0,17	2,8	45	0,44	0,3	140	10	0,07	10
17	2,6	0,19	2,8	45	0,54	0,4	150	Ст3пс	0,05	15
18	2	0,14	2,5	30	0,50	0,4	170	09Г2С	0,07	20
19	2	0,14	2,5	45	0,45	6	175	16ГС	0,06	15
20	2	0,14	2,2	30	0,40	7	160	09Г2С	0,05	10

2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.

РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ І ДОПУСТИМІ НАПРУЖЕННЯ

Література.

1. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с.

2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни. Навч. посібник. – К.: 1999.- 148 с.

3. Андреев І.А., Мікульонко І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 216 с.

Завдання на 1 практичне заняття.

Визначити: 1) робочий, розрахунковий, умовний, пробний тиск всередині апарата; 2) розрахункову температуру для циліндричної обичайки апарата; 3) допустиме напруження для матеріалу циліндричної обичайки апарата; 4) додаток до розрахункової товщини стінки циліндричної обичайки апарата; 5) коефіцієнт міцності зварного шва для циліндричної обичайки апарата.

Таблиці для визначення допустимих напружень $[\sigma]$ і коефіцієнтів міцності зварних швів φ наведені у додатках А і Б.

Приклади до розділу

1. *Завдання.* Визначити робочий тиск $p_{роб}$ у посудині. Результат надати у МПа.

Вихідні дані. Абсолютний тиск у посудині становить $p_{абс} = 8$ ата.

Рішення. Надлишковий тиск $p_n = p_{абс} - p_{атм} = 8 - 1 = 7$ ати

Через те, що $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,0981 \text{ МПа}$, а за визначенням робочий тиск є надлишковим тиском без врахування гідростатичного тиску, короткочасного підвищення тиску під час спрацювання запобіжних пристроїв і т. ін.

$$p_{роб} = p_n = 7 \cdot 0,0981 = 0,6867 \text{ МПа.}$$

2. Завдання. Визначити розрахунковий тиск p у посудині.

Вихідні дані. Робочий тиск становить $p_{роб} = 0,5$ МПа, висота шару рідини в посудині $H_p = 3,2$ м, густина рідини $\rho = 1250 \text{ кг/м}^3$.

Рішення. Гідростатичний тиск $p_z = \rho g H_p = 1250 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 39240 \text{ Па}$

$$p_z / p_{роб} = 0,039240 / 0,5 = 0,078 > 0,05,$$

$$\text{тому } p = p_{роб} + p_z = 0,5 + 0,039 = 0,539 \text{ МПа.}$$

3. Завдання. Визначити гідростатичний тиск p_z у посудині.

Вихідні дані. Висота шару рідини становить $H_p = 3,2$ м, густина рідини $\rho = 1250 \text{ кг/м}^3$.

Рішення. Гідростатичний тиск $p_z = \rho g H_p = 1250 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 39240 \text{ Па} = 0,039 \text{ МПа.}$

4. Завдання. Визначити розрахунковий тиск p (МПа) у посудині.

Вихідні дані. Робочий тиск становить $p_{роб} = 1,1$ МПа, висота шару рідини $H_p = 0,9$ м, густина рідини $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$.

Рішення. Гідростатичний тиск $p_z = \rho g H_p = 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 12361 \text{ Па} = 0,012361 \text{ МПа}$

$$p_z / p_{роб} = 0,012361 / 1,1 = 0,0112 < 0,05, \text{ тому } p = p_{роб} = 1,1 \text{ МПа.}$$

5. Завдання. Визначити розрахунковий тиск p у посудині. Результат надати у МПа.

Вихідні дані. Абсолютний тиск становить $p_{абс} = 6,0$ ата, висота шару рідини в посудині $H_p = 3,2$ м, густина рідини $\rho = 1250$ кг/м³.

Рішення. Надлишковий тиск

$$p_n = p_{абс} - p_{атм} = 6 - 1 = 5 \text{ ати} = 0,4905 \text{ МПа} \quad (1 \text{ кгс/см}^2 = 0,0981 \text{ МПа}).$$

Робочий тиск

$$p_{роб} = p_n = 0,4905 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск

$$p_z = \rho g H_p = 1250 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 39240 \text{ Па} = 0,03924 \text{ МПа}$$

Відношення $p_z / p_{роб} = 0,03924 / 0,4905 = 0,08 > 0,05$, тому

$$p = p_{роб} + p_z = 0,4905 + 0,03924 = 0,52974 \text{ МПа.}$$

6. Завдання. Визначити пробний тиск p_u для зварної посудини.

Вихідні дані. Розрахунковий тиск становить $p = 0,8$ МПа, допустиме напруження матеріалу посудини при розрахунковій температурі $[\sigma] = 140$ МПа і допустиме напруження матеріалу посудини при 20°C $[\sigma]_{20} = 150$ МПа.

$$\text{Рішення. } p_u = 1,25 p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,8 \frac{150}{140} = 1,07 \text{ МПа.}$$

7. Завдання. Визначити пробний тиск p_u для литої посудини.

Вихідні дані. Розрахунковий тиск становить $p = 0,8$ МПа, допустиме напруження матеріалу посудини при розрахунковій температурі $[\sigma] = 140$

МПа і допустиме напруження матеріалу посудини при 20°C $[\sigma]_{20} = 150$ МПа.

$$\text{Рішення. } p_u = 1,5p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,5 \cdot 0,8 \frac{150}{140} = 1,286 \text{ МПа.}$$

8. Завдання. Визначити пробний тиск p_u для кріогенної посудини при наявності вакууму в ізоляційному просторі.

Вихідні дані. Розрахунковий тиск становить $p = 0,8$ МПа.

$$\text{Рішення. } p_u = 1,25p - 0,1 \text{ МПа} = 1,25 \cdot 0,8 - 0,1 = 0,9 \text{ МПа.}$$

9. Завдання. Визначити пробний тиск p_u для зварної посудини.

Вихідні дані. Робочий тиск становить $p_{роб} = 0,5$ МПа, висота шару рідини в посудині $H_p = 3,2$ м, густина рідини $\rho = 1250$ кг/м³, допустиме напруження матеріалу посудини при розрахунковій температурі $[\sigma] = 140$ МПа і допустиме напруження матеріалу посудини при 20°C $[\sigma]_{20} = 150$ МПа.

$$\text{Рішення. Гідростатичний тиск } p_z = \rho g H_p = 1250 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 39240 \text{ Па}$$

$$p_z / p_{роб} = 0,039240 / 0,5 = 0,078 > 0,05, \text{ тому розрахунковий тиск } p = p_{роб} + p_z = 0,5 + 0,039 = 0,539 \text{ МПа}$$

$$\text{Пробний тиск } p_u = 1,25p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,539 \frac{150}{140} = 0,722 \text{ МПа}$$

10. Завдання. Визначити пробний тиск p_u для литої посудини.

Вихідні дані. Робочий тиск становить $p_{роб} = 1,1$ МПа, висота шару рідини в посудині $H_p = 0,9$ м, густина рідини $\rho = 1400$ кг/м³, допустиме

напруження матеріалу посудини при розрахунковій температурі $[\sigma] = 140$ МПа і допустиме напруження матеріалу посудини при 20°C $[\sigma]_{20} = 150$ МПа.

Рішення. Гідростатичний тиск $p_z = \rho g H_p = 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 12361 \text{ Па} = 0,012361 \text{ МПа}$

$p_z / p_{\text{роб}} = 0,012361 / 1,1 = 0,0112 < 0,05$, тому розрахунковий тиск $p = p_{\text{роб}} = 1,1 \text{ МПа}$,

$$\text{Пробний тиск } p_u = 1,5 p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,5 \cdot 1,1 \frac{150}{140} = 1,768 \text{ МПа}.$$

11. Завдання. Визначити розрахунковий тиск p для елемента, що розділяє простори з різними тисками, якщо забезпечується одночасна дія цих тисків.

Вихідні дані. Розрахункові тиски у просторах: $p_1 = 0,7 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$.

Рішення. Для випадку, коли забезпечується одночасна дія тисків, тоді допускається виконувати розрахунок на різницю цих тисків, тобто

$$p = p_1 - p_2 = 0,7 - 0,2 = 0,5 \text{ МПа}.$$

12. Завдання. Визначити допустиме напруження матеріалу сталевій зварної посудини при гідравлічних випробуваннях $[\sigma]$

Вихідні дані. Границя плинності сталі при 20°C : $R_T^{20} = 400 \text{ МПа}$.

Рішення. Для випадку гідравлічних випробувань коефіцієнт запасу міцності за границею плинності $n_T = 1,1$; поправочний коефіцієнт для зварної конструкції $\eta = 1$.

Тому допустиме напруження матеріалу сталевій посудини при гідравлічних випробуваннях можна визначити за формулою:

$$[\sigma] = \eta \frac{R_T^{20}}{n_T} = 1 \frac{400}{1,1} = 363,64 \text{ МПа}.$$

13. Завдання. Визначити виконавчу товщину S стінки посудини.

Вихідні дані. Розрахункова товщина стінки посудини $S_R = 0,00695$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через одnobічний контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,07$ мм/рік, термін роботи посудини $\tau = 15$ років, сума технологічного додатка C_3 і додатка до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск C_2 менше 5% номінальної товщини стінки посудини. Додаток на компенсацію ерозії C_e не враховується.

Рішення. Виконавча товщина стінки посудини $S = S_R + C + C_0$;

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік додаток для компенсації корозії C_1 розраховується за формулою $C_1 = v_{кор} \cdot \tau = 0,07 \cdot 15 = 1,05$ мм = $1,05 \cdot 10^{-3}$ м.

Через те, що $C_2 + C_3 < 0,05 S$, C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

Тоді $S = 0,00695 + 1,05 \cdot 10^{-3} + 0 = 0,008$ м (додаток до розрахункової товщини стінки, що йде на округлення до найближчої стандартної товщини листа $C_0 = 0$ м).

14. Завдання. Визначити виконавчу товщину S стінки обичайки, яка зварена з листового прокату.

Вихідні дані. Розрахункова товщина стінки посудини $S_R = 0,0045$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,07$ мм/рік, термін роботи посудини $\tau = 15$ років, сума технологічного додатка C_3 і додатка до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск C_2 менше 5% номінальної товщини стінки

посудини. Має місце двобічний контакт з корозійним середовищем. Додаток на компенсацію ерозії C_e не враховується.

Рішення. Виконавча товщина стінки посудини $S = S_R + C + C_0$;

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік і корозійне середовище знаходиться з обох боків стінки, додаток для компенсації корозії C_1 розраховується за формулою $C_1 = 2 v_{кор} \cdot \tau = 2 \cdot 0,07 \cdot 15 = 1,05$ мм $= 2,1 \cdot 10^{-3}$ м.

$C_2 + C_3 < 0,05 S$, тому C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

Тоді $S = 4,5 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,007$ м (додаток до розрахункової товщини стінки, що йде на округлення до найближчої стандартної товщини листа $C_0 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м через те, що найближча товщина листового прокату дорівнює 7 мм).

15. Завдання. Визначити виконавчу товщину S стінки обичайки, яка зварена з листового прокату.

Вихідні дані. Розрахункова товщина стінки посудини $S_R = 0,0047$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через однобічний контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,04$ мм/рік, термін роботи посудини $\tau = 15$ років, сума технологічного додатка C_3 і додатка до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск C_2 менше 5% номінальної товщини стінки посудини. Має місце двобічний контакт з корозійним середовищем. Додаток на компенсацію ерозії C_e не враховується.

Рішення. Виконавча товщина стінки посудини $S = S_R + C + C_0$;

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$

Через те, що $v_{кор} < 0,05$ мм/рік, приймається додаток для компенсації корозії $C_1 = 10^{-3}$ м.

$C_2 + C_3 < 0,05 S$, тому C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

Тоді $S = 4,7 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} + 0,3 \cdot 10^{-3} = 0,006$ м (додаток до розрахункової товщини стінки, що йде на округлення до найближчої стандартної товщини листа $C_0 = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м через те, що найближча товщина листового прокату дорівнює 6 мм).

16. Завдання. Визначити виконавчу товщину S стінки обичайки із вуглецевої сталі.

Вихідні дані. Внутрішній діаметр обичайки $D = 2$ м. Розрахункова товщина стінки обичайки $S_R = 0,0025$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через однобічний контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,07$ мм/рік, термін служби $\tau = 15$ років, сума технологічного додатка C_3 і додатка до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск C_2 менше 5% номінальної товщини стінки посудини. Додаток на компенсацію ерозії C_e не враховується.

Рішення. Виконавча товщина стінки обичайки $S = S_R + C + C_0$;

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік додаток для компенсації корозії C_1 розраховується за формулою $C_1 = v_{кор} \cdot \tau = 0,07 \cdot 15 = 1,05$ мм = $1,05 \cdot 10^{-3}$ м.

Через те, що $C_2 + C_3 < 0,05 S$, C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

Тоді $S = 0,0025 + 1,05 \cdot 10^{-3} + C_0 = 3,55 \cdot 10^{-3} + C_0$ м.

Товщини обичайок, днищ, опор із вуглецевої сталі з урахуванням додатка для компенсації корозії повинні бути не менше $D/1000 + 2,5 \cdot 10^{-3}$ м

.

$$D/1000 + 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2/1000 + 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Тобто приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки $S = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м.

17. Завдання. Визначити виконавчу товщину S незнімного навантаженого елемента.

Вихідні дані. Розрахункова товщина незнімного навантаженого елемента $S_R = 0,0045$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,06$ мм/рік, термін роботи посудини $\tau = 15$ років, додатки до розрахункової товщини $C_2 = 0$, $C_3 = 0$, $C_e = 0$. Додаток до розрахункової товщини незнімного навантаженого елемента $C_0 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м

Рішення. Виконавча товщина стінки посудини $S = S_R + C + C_0$.

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$.

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік і розраховується незнімний навантажений елемент, додаток для компенсації корозії C_1 визначається за формулою

$$C_1 = 2 v_{кор} \cdot \tau = 2 \cdot 0,06 \cdot 15 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$\text{Тоді } S = 4,5 \cdot 10^{-3} + 1,8 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3} = 0,0065 \text{ м.}$$

18. Завдання. Визначити виконавчу товщину S стінки обичайки із аустенітної сталі.

Вихідні дані. Розрахункова товщина стінки обичайки $S_R = 0,0025$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через одnobічний контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,07$ мм/рік, термін служби $\tau = 15$ років, сума технологічного додатка C_3 і додатка до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск C_2 менше 5% номінальної товщини стінки обичайки. Додаток на компенсацію ерозії C_e не враховується.

Рішення. Виконавча товщина стінки обичайки $S = S_R + C + C_0$;

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік додаток для компенсації корозії C_1 розраховується за формулою $C_1 = v_{кор} \cdot \tau = 0,07 \cdot 15 = 1,05$ мм $= 1,05 \cdot 10^{-3}$ м.

Через те, що $C_2 + C_3 < 0,05$ S, C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

Тоді $S = 0,0025 + 1,05 \cdot 10^{-3} + 0,45 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3}$ м (додаток до розрахункової товщини стінки, що йде на округлення до найближчої стандартної товщини листа $C_0 = 0,45 \cdot 10^{-3}$ м через те, що найближча товщина листового прокату дорівнює 4 мм).

З урахуванням вимоги, що товщина обичайки з урахуванням додатка для компенсації корозії, яка виконана із сталі аустенітного класу, повинна бути не менше $2,5 \cdot 10^{-3}$ м остаточно приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки $S = 4,0 \cdot 10^{-3}$ м.

19. Завдання. Визначити виконавчу товщину S знімного навантаженого елемента.

Вихідні дані. Розрахункова товщина знімного навантаженого елемента $S_R = 0,0045$ м, швидкість корозії матеріалу стінки через контакт з корозійним середовищем $v_{кор} = 0,06$ мм/рік, термін роботи посудини $\tau = 15$ років, додатки до розрахункової товщини $C_2 = 0$, $C_3 = 0$, $C_e = 0$, $C_0 = 0$.

Рішення. Виконавча товщина стінки посудини $S = S_R + C + C_0$.

Сума додатків до розрахункової товщини $C = C_1 + C_2 + C_3$.

Через те, що $v_{кор} > 0,05$ мм/рік і розраховується знімний навантажений елемент, додаток для компенсації корозії C_1 необхідно визначати за формулою $C_1 = \max \{0,5 v_{кор} \cdot \tau; 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}\}$.

$0,5 v_{кор} \cdot \tau = 2 \cdot 0,06 \cdot 15 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ м. Остаточно приймаємо $C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

Тоді $S = 4,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,0065$ м.

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2.

РОЗРАХУНОК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБИЧАЙКИ, ЯКА ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД ДІЄЮ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ

Література.

1. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с.

2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни,- К.: 1999.-148 с.

3. Андреев І.А., Мікульонко І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 216 с.

Завдання на 2 практичне заняття.

Розрахувати товщину циліндричної обичайки з умови міцності за безмоментною теорією у випадку, коли обичайка навантажена внутрішнім тиском.

У прикладі наведені розрахунки за 8 варіантом. Корозійне середовище знаходиться всередині апарата. Технологічний додаток S_3 і додаток для компенсації ерозії S_e в наведених розрахунках не враховуються.