



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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів спеціальності

**“Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних
матеріалів”**

з дисципліни

**“Розрахунок і конструювання типового устаткування – 1”.
Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин”**

Київ-2014

Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” з дисципліни “Розрахунок і конструювання типового устаткування – 1.Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин”: [Електронний ресурс]:/ НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2014. – 103 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”
(Протокол № 4 від 26 травня 2014 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

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

Рецензент:

Кульбачний Василь Гаврилович, старший науковий співробітник
Інституту газу НАН України, к.т.н.

Навчальне видання

Андреев Игорь Анатолійович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів спеціальності

“Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних
матеріалів”

з дисципліни

“Розрахунок і конструювання типового устаткування –
1”.Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин”

Зміст

Вступ.....	5
Перелік позначень.....	6
1. Вихідні дані до розрахунку апарата.....	12
2. Практичне заняття 1. Матеріали та їх властивості. Розрахунковий, умовний, пробний тиск. Розрахункова температура. Допустиме напруження. Додаток до розрахункової товщини. Коефіцієнт міцності зварного шва. Теплофізичні властивості середовищ та їх визначення.....	15
3. Практичне заняття 2. Розрахунок товщини, допустимого тиску в циліндричній обичайці, яка навантажена внутрішнім тиском.....	25
4. Практичне заняття 3. Еліптичне днище. Розрахунок товщини і допустимого тиску при умові навантаження внутрішнім тиском	32
5. Практичне заняття 4. Еліптичне днище. Визначення радіусів кривизни, внутрішніх зусиль та напружень. Аналіз напруженого стану.....	39
6. Практичне заняття 5. Конічні днища. Визначення товщини, допустимого тиску та напружень в перерізах, порівняння з опуклими днищами.....	40
7. Практичне заняття 6. Плоскі днища. Визначення товщини і допустимого тиску, порівняння з опуклими днищами.....	46
8. Практичне заняття 7. Розрахунок гладкої циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском, конструювання обичайки.....	51
9. Практичне заняття 8. Розрахунок циліндричної обичайки підкріпленої кільцями жорсткості при дії внутрішнього тиску.....	56
10. Практичні заняття 9, 10. Розрахунок крайових навантажень: крайового моменту та крайової сили. Розрахунок міцності обичайки на краю.....	63

11. Практичне заняття 11. Розрахунок циліндричної обичайки, навантаженої осьовою силою, згинаючим моментом, поперечною силою, тиском.....	65
12. Практичне заняття 12. Розрахунок геометричних розмірів деталей для укріплення одиночного отвору.....	69
13. Практичне заняття 13, 14, 15. Фланцеві з'єднання. Вибір типу фланців, визначення геометричних розмірів. Розрахунок зусиль в болтах з'єднання. Розрахунок болтів. Розрахунок фланців на міцність та жорсткість. Перевірка міцності прокладки.....	73
14. Практичне заняття 16, 17. Сальникове ущільнення. Конструктивний розрахунок. Визначення сили затяжки болтів та потужності на подолання сил тертя.....	75
Додаток А. Механічні характеристики сталей.....	81
Додаток Б. Коефіцієнти міцності зварних швів.....	92
Додаток В. Сталевий листовий прокат.....	93
Додаток Г. Значення розрахункового діаметра D_p і коефіцієнта K	96
Додаток Д. Модуль пружності під час розтягу.....	99
Додаток Е. Номограма для розрахунку на стійкість в границях пружності циліндричних обичайок, які працюють під зовнішнім тиском.....	100
Додаток Ж. Зведена розрахункова довжина $l_{пр}$	101
Додаток З. Коефіцієнт K_L , який враховує усадку набивки.....	102
Додаток И. Коефіцієнт кінетичного тертя між валом і набивкою $f_{\text{вд}}$	103

Вступ

Дисципліна “Розрахунок і конструювання типового устаткування – 1”. Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин” викладається на кафедрі МАХНВ НТУУ «КПІ» у 6 семестрі студентам, які навчаються за спеціальністю “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів”

Дисципліна має дати знання забезпечення міцності, стійкості, жорсткості, герметичності, корозійної тривкості, конструктивної довершеності та інших вимог до 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

A_k – площа поперечного перерізу кільця, м²;

A_k^1 – площа поперечного перерізу кільця у першому наближенні, м²;

a – ширина зварного шва, м;

b – відстань між кільцями жорсткості, м;

b_e – ширина кільця, 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 елемента 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;

C_w – сума додатків до розрахункової товщини штуцера, м;

D – внутрішній діаметр посудини (обичайки, днища, сальникової камери), м;

D_R – розрахунковий діаметр обичайки, м;

D_o – внутрішній діаметр нижнього штуцера, м;

D_k – розрахунковий діаметр конічного днища, м;
 D_p – розрахунковий діаметр плоского днища або кришки, м;
 d – діаметр отвору, м;
 d_b – діаметр болтів (шпильок), м;
 d_e – діаметр вала, м;
 d_o – найбільший діаметр поодинокого отвору, який не потребує додаткового укріплення, м;
 d_{oR} – розрахунковий діаметр поодинокого отвору, який не потребує укріплення при відсутності надлишкової товщини стінки днища, м;
 d_p – внутрішній діаметр різьби болтів (шпильок), м;
 d_R – розрахунковий діаметр отвору, м;
 Σd_i – максимальна сума довжин хорд отворів в найбільш ослабленому діаметральному перерізі днища або кришки, м;
 E – модуль пружності в умовах розтягу за розрахункової температури, МПа;
 F – осьова стискуюча сила, Н;
 F_ζ – зусилля затягування шпильок, Н;
 f – відстань міжопорами, м;
 $f_{\text{кін}} - \text{коефіцієнт кінетичного тертя;}$
 f_c – коефіцієнт статичного тертя;
 H – висота днища, м;
 H_p – висота шару рідини, м;
 H_c – повна глибина розточки сальникової камери з урахуванням встановлення фонарного кільця і забезпечення напрямку натискної втулки, м;

h – висота циліндричної частини (відбортовки) днища, м;
 h_n – висота фланця натискної втулки, м;
 h_o – первісна висота набивки з урахуванням герметизації, м;
 h_2 – висота перерізу кільця жорсткості, м;
 h_e – внутрішня висота днища без відбортовки або довжина циліндричної частини натискної втулки, м;
 h_p – висота набивки у робочому стані, м;
 h_ϕ – висота фонаря, м;
 $K, K_1, k_1, k_2, k_3, k_4, k_e$ – коефіцієнти;
 K_y – коефіцієнт усадки;
 k – коефіцієнт бокового тиску;
 l – розрахункова довжина обичайки, м;
 l_1 – довжина циліндричної частини апарата, яка знаходиться під оболонкою, м;
 l_2 – довжина відбортовки, м;
 l_3 – розрахункова довжина елемента, що примикає до циліндричної обичайки, м;
 l_{1R} – розрахункова довжина зовнішньої частини штуцера, яка приймає участь в укріпленні отвору, м;
 l_{np} – зведена розрахункова довжина, м;
 N_c – втрати потужності на подолання сил тертя у сальнику, Вт;
 n – число обертів валу, об/с;
 n_b – кількість болтів (шпильок);
 n_T – коефіцієнт запасу міцності за границею плинності;
 n_y – коефіцієнт запасу стійкості;
 p – розрахунковий внутрішній тиск, МПа;

$p_{абс}$ – абсолютний тиск, МПа;
 $p_{атм}$ – атмосферний тиск, МПа;
 p_z – гідростатичний тиск, МПа;
 $p_{герм}$ – тиск герметичності, МПа;
 p_z – розрахунковий зовнішній тиск, МПа;
 p_u – пробний тиск, МПа;
 p_n – надлишковий тиск, МПа;
 p_i^1 – робочий тиск натискної втулки, 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_{σ} – мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури, МПа;
 R_{∂} – 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;
 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_I – виконавча товщина стінки плоского круглого днища, м;
 S_1^I – виконавча товщина стінки плоского круглого днища у першому наближенні, м;
 S_{IR} – розрахункова товщина стінки плоского круглого днища, м;
 S_{∂} – виконавча товщина стінки днища, м;
 S_{∂}^I – виконавча товщина стінки днища у першому наближенні, м;
 $S_{\partial R}$ – розрахункова товщина стінки днища, м;
 S_{κ} – виконавча товщина конічного днища у безмоментній зоні, м;
 S_{κ}^I – виконавча товщина конічного днища у безмоментній зоні у першому наближенні, м;
 S_{eR} – розрахункова товщина стінки днища, м;
 S_i – товщина набивки, м;
 S_{ϕ} – виконавча товщина штуцера, м;
 $S_{\phi R}$ – розрахункова товщина штуцера, м;
 t – розрахункова температура, °С;
 v – швидкість обертання вала, м/с;

$v_{кор}$ – швидкість корозії (проникність), м/рік;
 x – коефіцієнт;
 α_k – половини кута при вершині конічної оболонки (днища), град;
 Δ – зазор між валом і натискною втулкою, м;
 δ – мінімальна відстань між зовнішніми поверхнями штуцерів, коли їх можна вважати поодинокими, м;
 η – поправковий коефіцієнт;
 χ_1 – відношення допустимого напруження матеріалу штуцера до допустимого напруження матеріалу днища при розрахунковій температурі;
 λ – гнучкість;
 ρ – густина рідини, кг/м³;
 σ_N – осьове напруження, МПа;
 σ_T – кільцеве напруження, МПа;
 $[\sigma]$ – допустиме напруження за розрахункової температури, МПа;
 $[\sigma]$ – допустиме напруження за розрахункової температури, МПа;
 $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження за температури 20 °С, МПа;
 $[\sigma]_k$ – допустиме напруження кілець жорсткості за розрахункової температури, МПа;
 $[\sigma]_p$ – допустиме напруження різьби болтів (шпильок), МПа;
 τ – строк служби апарата, рік;
 φ, φ_T – коефіцієнти міцності зварних швів;
 φ_k – коефіцієнти міцності зварних швів кільця жорсткості;
 φ_p – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва;
 ω – кутова швидкість обертання валу, 1/с.

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 відбортовки. Схема апарата наведена на рисунку 1.1, а вихідні дані для розрахунку – у таблицях 1.1 і 1.2.

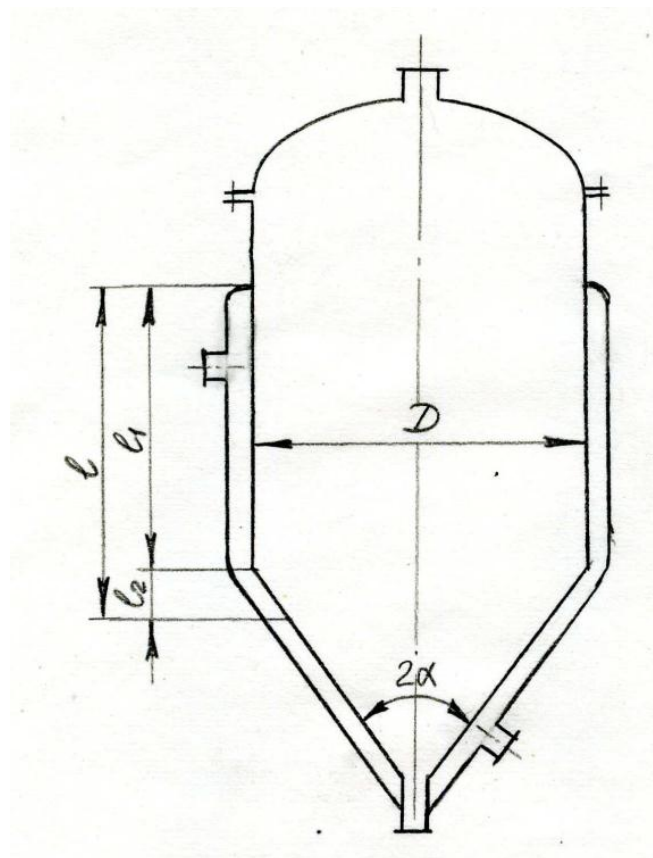


Рис. 1.1. Схема апарата

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 1.1. 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

Таблиця 1.2. Вихідні дані до розрахунку

Варіант	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.
МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.
РОЗРАХУНКОВИЙ, УМОВНИЙ, ПРОБНИЙ ТИСК;
РОЗРАХУНКОВА ТЕМПЕРАТУРА; ДОПУСТИМЕ НАПРУЖЕННЯ;
ПРИБАВКА ДО РОЗРАХУНКОВОЇ ТОВЩИНИ; КОЕФІЦІЄНТ
МІЦНОСТІ ЗВАРНОГО ШВА. ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
СЕРЕДОВИЩ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

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) додток 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, короточасного 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 $p_z = \rho g H_p = 1250 \cdot 9,81 \cdot 3,2 = 39240 \text{ Па}$

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

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 $\rho = 1400$ кг/м³.

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

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

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.

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

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.

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

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

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

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 $p_z = \rho g H_p = 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 12361$ Па = 0,012361 МПа

$p_z / p_{роб} = 0,012361 / 1,1 = 0,0112 < 0,05$, тому розрахунковий тиск $p = p_{роб} = 1,1$ 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: $p_1 = 0,7$ МПа, $p_2 = 0,2$ 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: $R_T^{20} = 400$ 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 сталевієї 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 однобічний 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 одnobічний 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 $C_2 + C_3 < 0,05 \text{ м}$, C_2 і C_3 не враховуються при розрахунку.

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

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

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

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

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

Вихідні дані. Розрахункова товщина незнімного навантаженого елемента $S_R = 0,0045 \text{ м}$, швидкість корозії матеріалу стінки через контакт з корозійним середовищем $v_{\text{кор}} = 0,06 \text{ мм/рік}$, 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 $C_0 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

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

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

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

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 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 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 знімно 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, додати 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 $C_1 = \max\{0,5 v_{кор} \cdot \tau; 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}\}$.

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

Тобто остаточно приймаємо $C_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

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

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2.

РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ, ДОПУСТИМОГО ТИСКУ НАПРУЖЕНЬ В ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБИЧАЙЦІ, ЯКА НАВАНТАЖЕНА ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ

Література.

1. Андреев И.А. Конструирование и расчет типового оборудования химических производств. Основные положения. Элементы тонкостенных сосудов, нагруженных внутренним давлением. Учеб. пособие. – К.: «Выдавецтво «Політехніка», 2011. – 272 с.

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

3. Андреев И.А., Мікульонк І.О. Расчет, конструирование та надёжность оборудования химических производств: Терминологический словарь. – К.: ІВЦ “Выдавецтво «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 C_3 і додаток для компенсації ерозії C_e в наведених розрахунках не враховуються.