



Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля

Факультет інженерії

Є. Зубцов, І. Кравченко, М. Ожередова

# Розрахунки обладнання хімічних виробництв Навчальний посібник

Київ 2023



УДК 66.023.011(075.8)

3-91

Рецензенти:

Ю. Скиба – доктор педагогічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи Інституту вищої освіти НАПН України;

В. Тарасов – доктор технічних наук, професор, декан факультету здоров'я людини Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

*Рекомендовано до друку*

*вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*

*(протокол № 5 від 28.12.2023 року)*

### **Зубцов Є.**

3-91 Розрахунки обладнання хімічних виробництв : навч. посіб. / Є. Зубцов, І. Кравченко, М. Ожередова ; Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Ф-т інж. – Київ : [Вид-во Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля], 2023. – 130 с.

ISBN 978-617-11-0253-8

Навчальна дисципліна «Розрахунки обладнання хімічних виробництв» належить до переліку обов'язкових освітніх компонент з циклу професійної підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Хімічні технології та інженерія» і спрямована на освоєння комплексу методів та підходів вибору і обґрунтування використання обладнання для хімічних виробництв, обґрунтування раціональних режимів роботи обладнання, принципів проектування хімічних виробництв з врахуванням економічного контексту та впливу на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей. Засвоєння принципів проектування маловідходних хімічних виробництв, використання ресурсозберігаючих технологій сприяє досягненню цілей сталого розвитку – ціль 12 Відповідальне споживання, спонукаючи перехід до раціональних моделей виробництва.

Навчальний посібник містить 5 тематичних частин, зміст яких конкретизовано у 14 темах та 11 підтемах. Кожна тема містить такі структурні елементи: основні поняття та його визначення, основні теоретичні положення, приклади вирішення практичних завдань, практичні завдання, питання для самоконтролю, тестові завдання. В навчальному посібнику наведено перелік використаних джерел.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти ОП «Хімічні технології та інженерія» (рівень бакалавр).

**УДК 66.023.011(075.8)**

Посібник підготовлено у рамках виконання Проекту «Відродження переміщених університетів: посилення конкурентоспроможності, підтримка громад» / «Reinventing displaced universities: enhancing competitiveness, serving communities» (REDU) (2020-2024 роки)

Публікація підготовлена за фінансової підтримки Європейського Союзу. Її зміст є виключною відповідальністю Є. Зубцова, І. Кравченко, М. Ожередової, Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля і не обов'язково відображає позицію Європейського Союзу.

This publication was produced with the financial support of the European Union. Its contents are the sole responsibility of Ye. Zubtsov, I. Kravchenko, M. Ozheredova, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University and do not necessarily reflect the views of the European Union.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2023

© Зубцов Є., Кравченко І., Ожередова М., 2023

ISBN978-617-11-0253-8

## Зміст

Частина 1. Загально-технологічне устаткування та конструкційні матеріали.....	4
Тема 1.1. Класифікація устаткування за призначенням .....	4
Тема 1.2. Матеріали для виготовлення та захисту обладнання. Вимоги до матеріалів і критерії їхнього вибору. ....	8
1.2.1. Металеві та неметалеві матеріали .....	10
1.2.2. Захисні покриття .....	17
1.2.3. Теплова ізоляція. Теплоізоляційні матеріали .....	19
Тема 1.3. Корозія конструкційних елементів .....	22
1.3.1. Класифікація видів корозії.....	23
1.3.2. Корозійна стійкість металів і сплавів .....	24
1.3.3. Корозія і деформаційне старіння сталей.....	24
1.3.4. Методи захисту металів і сплавів від корозії .....	33
Частина 2. Методи розрахунків габаритних розмірів устаткування.....	39
Тема 2.1. Розрахунок реакційного об'єму апарату.....	39
Тема 2.2. Розрахунок штуцерів введення й виведення реагентів.....	41
Тема 2.3. Розрахунки основних деталей хімічної апаратури на міцність .....	42
Тема 2.4. Розрахунок оптимального діаметра трубопроводу .....	50
Частина 3. Конструкція та принцип дії основного технологічного устаткування. Обладнання спільного призначення.....	58
Тема 3.1. Обладнання для переміщення рідин.....	58
Тема 3.2. Машини для стискування та переміщення газу .....	63
Тема 3.3. Апарати для очищення газу .....	67
Тема 3.4. Апарати для поділу систем рідина-тверде .....	71
Частина 4. Принципи та методика проектування хімічних виробництв .....	81
Частина 5. Засади створення маловідходних виробництв на стадії проектування. Основи проектування з використанням BIM-моделі .....	94
Тема 5.1. Хіміко-технологічні системи.....	94
Тема 5.2. Принципи створення безвідходних і маловідходних виробництв.....	97
5.2.1. Методологічні принципи створення безвідходних технологій .....	98
5.2.2. Хімічні принципи створення безвідходних технологій .....	98
5.2.3. Технологічні принципи створення безвідходних технологій.....	99
5.2.4. Організаційні принципи створення безвідходних технологій .....	101
Тема 5.3. Основи проектування з використанням BIM-моделі .....	102

## Частина 1. Загально-технологічне устаткування та конструкційні матеріали

### Тема 1.1. Класифікація устаткування за призначенням



#### Поняття та його визначення

Машини – механізми, що здійснюють певні доцільні рухи для перетворення енергії або для здійснення роботи.

Апарати – пристрої, призначені для проведення хімічних, фізико-хімічних, теплових і гідромеханічних процесів, в яких механічні операції відіграють допоміжну роль.



#### Основні теоретичні положення

Устаткування – це один з найважливіших елементів виробництва, що включає машини, апарати і транспортні пристрої, необхідні для здійснення даного технологічного процесу. Технологія виробництва і його апаратне оформлення взаємозв'язані: кожному способу отримання даної речовини відповідає певний набір машин і апаратів. Технолог повинен знати принцип дії і пристрій устаткування, його переваги і недоліки, щоб грамотно обирати машини і апарати для любого технологічного процесу, уміти розраховувати потужність для даного режиму роботи, виконувати перевірочні розрахунки на міцність найбільш відповідальних вузлів апарата і вибирати способи захисту від корозії.

За призначенням і принципом дії устаткування поділяється на машини і апарати.

Машини – це механізми або поєднання механізмів, що здійснюють певні доцільні рухи для перетворення енергії або для здійснення роботи. Так, наприклад, в компресорі механічна енергія витрачається на стискування газу, в дробарці на подрібнення матеріалу, в насосі, транспортері на переміщення речовин.

Апарати – це пристрої, призначені для проведення хімічних, фізико-хімічних, теплових і гідромеханічних процесів, в яких механічні операції відіграють допоміжну роль. Вони є основним видом хімічного устаткування, їх конструкція і розміри визначаються властивостями початкових і кінцевих речовин, умовами проведення процесу та необхідною продуктивністю.

За сферами застосування і масштабами виробництва устаткування поділяється на універсальне, спеціалізоване і спеціальне.

- До універсального відноситься типове устаткування, придатне для багатьох виробництв хімічної промисловості: насоси, компресори, теплообмінники, фільтри, центрифуги, конвеєри тощо. Характеризується масовим типом виробництва.
  - Спеціалізоване устаткування призначене для одного або декількох близьких за типом виробництв. До спеціалізованого обладнання відносяться абсорбери, ректифікаційні колони, випарні апарати, кристалізатори та ін. Випускається невеликими серіями.
  - Спеціальне устаткування застосовують для проведення одного певного технологічного процесу або операції; його не використовують в інших виробництвах, наприклад, колони синтезу аміаку, метанолу, контактні апарати для окиснення оксиду сірки, печі для випалу колчедану, колони карбонізації в содовому виробництві, печі для кальцинації соди тощо. Характеризується одиничним виготовленням.
- Технологічне устаткування по його ролі в здійсненні процесу поділяють на основне і допоміжне.
- До основного (технологічного) устаткування відносяться апарати і машини, необхідні для проведення хімічних і фізико-хімічних процесів, в результаті яких утворюються цільові продукти.

Оскільки таке обладнання призначене для здійснення певних технологічних процесів, то його розміри, форма та конструкція повинні відповідати властивостям матеріалів, що переробляються, і параметрам процесу, що проводиться в ньому. Найважливіші чинники, що визначають тип і конструкцію апарата – агрегатний стан речовин, що беруть участь в процесі, їх хімічні властивості, концентрація (С), температура (Т), тиск (Р) і тепловий ефект процесу. Розміри апарата залежать від кількості речовин, що проходять через нього, необхідного часу перебування та кількості переданого тепла або маси, а також від режиму роботи.

- Допоміжне устаткування (мірники, ємності, сховища, бункери) не робить істотного впливу на технологічний процес. Продуктивність установки (технологічної лінії) або вихід готового продукту не залежить від розмірів і конструкції допоміжного обладнання, тому останні можна змінювати в деяких межах.

За умовами роботи розрізняють безперервне і періодичне устаткування.

- У апаратах або машинах періодичної дії локальна інтенсивність процесу та його параметри (Т, Р, С) безперервно змінюються у часі. Продуктивність таких апаратів зазвичай менше, ніж апаратів безперервної дії, унаслідок того, що частка часу витрачається на допоміжні операції (у період завантаження-вивантаження апарат простоює). Апарати періодичної дії, як правило, вимагають великих витрат праці на обслуговування, їх важче автоматизувати.
- Апарати і машини безперервної дії відрізняються постійністю локальної інтенсивності процесу і його параметрів. Всі операції, необхідні для здійснення процесу, виконуються одночасно в різних апаратах або в різних частинах одного апарата, внаслідок чого досягається висока продуктивність. У апаратах даного типу менше питомо витрата енергії, порівняно легко підтримується оптимальний технологічний режим і їх простіше автоматизувати.
- У хімічній промисловості нерідко застосовують апарати змішаного типу – напівбезперервні, в яких один компонент (газ або рідина) подається і вивантажується безперервно, а інший (тверде або рідина) – періодично.

Машини, використовувані в хімічній промисловості, поділяють на наступні групи.

- Підйомно-транспортні пристрої – призначені для транспортування сипких (пилоподібних, порошкоподібних або шматків) твердих матеріалів і штучних вантажів (мішки, ящики і т. д.) в межах цеху або підприємства. До даного класу машин відносяться різні транспортери і елеватори, широко використовуються на підприємствах основної хімії.
- Дробильно-розмольне устаткування – машини, призначені для зменшення величини частинок твердих матеріалів. Це дробарки (щоківі, конусні, молоткові, валкові, роторні), бігуни, млини (кульові, стрижньові, струменеві й інших типів) і дезінтегратори.
- Змішувачі – пристрої для механічного змішування неоднорідних твердих і рідких матеріалів для отримання сумішей твердих речовин, суспензій та емульсій.
- Гранулятори і преси – машини для збільшення розміру частинок твердих сипких матеріалів. Вони широко використовуються для перетворення пилоподібних і порошкоподібних речовин на гранули з величиною частинок 1-50 мм.
- Класифікатори – пристрої для розділення твердих речовин за величиною, формою або щільністю частинок. У залежності від конструкції поділяються на сита і грохоти.
- Живильники (дозатори) для твердих сипких матеріалів – використовуються для безперервної або періодичної подачі матеріалів в заданій кількості. Залежно від принципу дії та конструкції підрозділяються на вагові й об'ємні.
- Машини для розтарювання матеріалів (наприклад, для розрізання паперових або пластикових мішків), розфасовки і упаковки готової продукції. Ними обладнують найчастіше склади.
- Машини для транспортування газів (компресори) та рідин (насоси). За принципом дії і особливостями конструкції вони поділяються на поршневі, відцентрові, вихрові, ротаційні, струменеві та інші типи.

Апарати залежно від основної величини, яка визначає їх продуктивність, діляться на поверхневі та об'ємні.

- До поверхневого типу відносяться всі апарати, продуктивність яких визначається поверхнею тепло- або масопередачі, а також деякі апарати гідромеханічних процесів, продуктивність яких залежить від поверхні фільтрації або відстоювання.
- У апаратах об'ємного типу величиною, що визначає продуктивність, є об'єм, а поверхня тепло- або масопередачі не відіграє істотної ролі.
- За технологічним призначенням апарати поділяються на теплообмінні, масообмінні, гідромеханічні та реакційні.

Слід мати на увазі, що в заводських апаратах одночасно можуть перебігати процеси різних типів, наприклад, при сушці одночасно відбуваються теплообмін і масопередача, а процеси абсорбції (масообмінні) часто супроводжуються хімічною взаємодією.

Апарати гідромеханічних процесів ділять на три групи:

- апарати для розділення газових неоднорідних систем – виділяють з газів пил і краплі рідини. До них відносяться пилові камери, циклони, бризко- та тумановловлювачі, електрофільтри і тканинні фільтри для очищення газів;
- апарати для розділення рідких неоднорідних систем – слугують для виділення з рідкої фази твердих частинок або крапель нерозчинної рідини. До цієї групи апаратів відносять відстійники, фільтри, центрифуги, гідроциклони та сепаратори;
- апарати для утворення неоднорідних систем – змішувачі, апарати з киплячим і зваженим шаром.

У теплообмінних апаратах здійснюється теплопередача між різними фазами або різними технологічними потоками.

До масообмінних відносяться ті апарати, в яких основним процесом є перенесення маси між різними фазами: абсорбери і десорбери різних типів, розчинники та кристалізатори, сушарки і реактори гетерофазних процесів.

Апарати, призначені для проведення хімічних процесів, в яких відбувається зміна молекулярного складу речовин, називають реакторами. Залежно від умов роботи вони бувають наступних видів [5, 17]:

- реактори ідеального змішення (PIЗ) – апарати з перемішувачами, які забезпечують сталість всіх параметрів в усіх точках об'єму. Це розчинники і кристалізатори, змішувачі, апарати киплячого шару;
- реактори ідеального витіснення (PIВ) – апарати, в яких відсутнє перемішування реагуючих речовин. До даного типу можна віднести контактні апарати з фільтруючим шаром, трубчасті контактні апарати та шахтні печі.

За технологічним призначенням реактори поділяються на:

- контактні апарати, або конвертори, які служать для проведення каталітичних процесів в системах газ – газ за участю твердих каталізаторів;
- печі – реактори, призначені для здійснення високотемпературних процесів;
- апарати для проведення хімічних процесів між рідинами і твердими речовинами – реактори рідинофазних процесів;
- апарати високого тиску – реактори, призначені для проведення хімічних процесів за високого тиску. Їх виділяють в окрему групу у зв'язку з особливостями конструкції, яка має витримувати тиск 10-200 МПа.

Будь-яке устаткування повинно задовольняти ряд технологічних і конструктивних вимог [15, 16].

Технологічні вимоги:

- максимальна продуктивність при мінімальних витратах матеріалів, енергії, праці на обслуговування. Досягається вибором оптимальної конструкції та режиму роботи, що забезпечує максимальну інтенсивність процесу;
- стійкість заданого технологічного режиму і основних параметрів процесу (P, T, C), точність та зручність регулювання, можливість вживання автоматичного контролю і управління.

Забезпечується правильним вибором конструкції, установкою приладів контролю і засобів регулювання параметрів процесу;

- механізація і автоматизація завантаження та вивантаження;
- конструкція апаратів повинна відповідати вимогам техніки безпеки та промислової санітарії: забезпечувати безпеку праці, виключати шкідливі викиди і випромінювання шляхом герметизації та ізоляції апаратури.

Конструктивні вимоги:

- механічна міцність і стійкість форми. Хімічні апарати працюють при підвищеній температурі і тиску і часто містять отруйні, шкідливі або вибухонебезпечні речовини. Для запобігання аваріям при розрахунку приймається підвищений запас міцності. У ряді випадків обичайки розраховуються з умов стійкості, наприклад, якщо апарати працюють під зовнішнім тиском;
- довговічність і надійність. Розрахунковий термін служби апаратури – 10-12 років, а фактичний може значно відрізнятись від зазначеного терміну. Підвищення довговічності досягається шляхом вживання корозійностійких матеріалів пристрою, покриттів, що захищають від дії корозійноактивних середовищ і високих температур, надійних вузлів і механізмів, а також шляхом періодичного ремонту і заміни деталей, що зношуються, та вузлів;
- конструктивна досконалість. Характеризується малими габаритами і вагою апарату або машини, малою витратою дефіцитних і дорогих матеріалів, простотою та дешевизною виготовлення, збірки і розбирання, а також безпечною експлуатацією;
- транспортабельність. Збільшення продуктивності апаратів приводить до зростання їх габаритних розмірів, у зв'язку з чим при конструюванні необхідно враховувати можливість транспортування апарата або його часток від заводу, який виготовляє це обладнання, до місця монтажу;
- уніфікація. Устаткування для хіміко-технологічних виробництв надзвичайно різноманітне за конструкцією і габаритами. Проте для близьких процесів в різних галузях промисловості можуть бути застосовані аналогічні за конструкцією машини, апарати або вузли. Це дає можливість уніфікувати багато вузлів та деталей хімічної апаратури, а також частину апаратів і машин. При проектуванні необхідно максимально використовувати уніфіковані вузли, деталі й апарати, керуватися ДСТУ (ISO), що регламентують типи, параметри та основні розміри хімічної апаратури. Апарати повинні відповідати ряду технологічних і конструктивних вимог, нормам техніки безпеки і промислової санітарії. У певній послідовності проводять наступні розрахунки апаратів [1-3, 17, 18].
- Технологічний розрахунок. Мета даного розрахунку – визначення розмірів апарата або їх числа при заданих розмірах. Його починають зі складання матеріального балансу апарата на основі закону збереження маси реагуючих речовин з урахуванням ступеня перетворення їх в кінцевий продукт, побічних реакцій та втрат. На основі заданої продуктивності і матеріального балансу розраховують матеріальні потоки початкових, проміжних та кінцевих речовин.
- Тепловий розрахунок необхідний для визначення поверхні теплопередачі, витрати енергії, теплоносія або охолоджуючого агенту і втрат тепла в навколишнє середовище, а також товщину ізоляції при заданих втратах тепла. На підставі матеріального балансу і закону збереження енергії складають тепловий баланс апарата з врахуванням всіх джерел підведення і витрати енергії.
- При розрахунку теплової ізоляції необхідно враховувати встановлену нормами техніки безпеки температуру зовнішньої поверхні, яка не повинна перевищувати 50°C.
- Гідралічний розрахунок – визначають опір апарата проходу газу або рідини при заданій продуктивності та обчислених габаритних розмірах, основні розміри патрубків і штуцерів для введення початкових речовин та виведення продуктів.
- Енергетичний розрахунок – необхідний для визначення потужності приводу переміщуючих та перемішуючих пристроїв.
- Механічний розрахунок. Перевірочному механічному розрахунку підлягають найбільш відповідальні вузли і деталі, що працюють в найважчих умовах під максимальними

навантаженнями: міцність обичайки, днища і кришки апаратів; валів і лопатей мішалок; ущільнень апаратів, працюючих за високого тиску.

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 1.1 можна ознайомитись за посиланням: [Мікульонек І. О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв стор. 11-13.](#)

## Тема 1.2. Матеріали для виготовлення та захисту обладнання. Вимоги до матеріалів і критерії їхнього вибору.



### Поняття та його визначення

Вуглецева сталь – сплав заліза і вуглецю (від 0,05 до 1,7%) з домішками сірки, кремнію, фосфору, марганцю тощо.

Чавун – сплав заліза і вуглецю (понад 1,7 %), характеризується більшою крихкістю та меншою міцністю.

Захисні покриття – використовуються для захисту від руйнівної дії середовища і зворотного впливу на нього матеріалу апарата.

Теплова ізоляція – забезпечує необхідний тепловий режим роботи обладнання, зменшує втрати теплоти або холоду, створює нормальні санітарно-гігієнічні умови праці персоналу.



### Основні теоретичні положення

Матеріали для виготовлення чи захисту технологічного обладнання вибирають з врахуванням досвіду роботи діючих виробництв, результатів науково-дослідних робіт, довідникових даних. Намагаються комплексно використовувати властивості вибраного матеріалу відповідно до специфіки його експлуатації. Обов'язково враховують можливість зміни фізико-хімічних властивостей матеріалу під впливом робочого середовища, температури та хіміко-технологічних процесів, які відбуваються в апараті.

До матеріалів для виготовлення технологічного обладнання висувають експлуатаційні вимоги:

- корозійна і хімічна стійкість до дії реакційного середовища, стійкість до водневої корозії, ерозії тощо;
  - відсутність впливу матеріалу на середовище, насамперед, відсутність антикаталітичної дії на основний процес або каталітичної – на побічні реакції. Матеріал апарата також не повинен забруднювати продукти реакції сторонніми речовинами;
  - високі механічні властивості – міцність, жаростійкість, морозостійкість тощо;
  - висока теплопровідність і низький коефіцієнт лінійного розширення;
  - технологічність під час виготовлення обладнання (легкість і простота обробки матеріалу, здатність до зварювання);
  - здатність проектованого апарата нормально працювати в певних кліматичних умовах; економічні вимоги:
    - максимальне використання фізичних, хімічних та механічних властивостей матеріалу;
    - недефіцитність і доступність;
    - мінімальна вартість.
- Ці вимоги визначаються:
- фізико-хімічними властивостями середовища в апараті;
  - параметрами технологічного процесу (температурою та тиском в апараті);
  - конструктивними особливостями апарата, його габаритними розмірами, умовами встановлення й експлуатації.

Під час вибору конструкційних матеріалів враховують, що кожний хімічний апарат складається з елементів, які відрізняються за технологічним призначенням, умовами роботи, вимогами до міцності, способом виготовлення.

Виготовляти всі деталі апарата з одного матеріалу часто економічно недоцільно, оскільки довелося б або вибирати матеріал, необхідний для забезпечення роботи деталі, яка працює в найжорсткіших умовах, або досить часто замінювати деякі спрацьовані вузли і деталі обладнання. Тому, за можливості, різні деталі апарата виготовляють з різних матеріалів.

У найжорсткіших умовах працюють деталі, які піддаються впливу рухомих середовищ, насамперед, суспензій – штуцери, патрубки для заповнення й спорожнення апарата, деталі, які піддаються ударам струменів, мішалки й інші рухомі елементи. Під час конструювання також необхідно враховувати термічні напруги, які мають знакозмінний характер (наприклад, внаслідок нагрівання-охолодження середовища) та виникають у теплообмінних елементах апарата. Найскладнішим є вибір матеріалу для виготовлення реакторів, в яких хімічні перетворення відбуваються за високої температури та тиску, під вакуумом чи під час глибокого охолодження.

Температурний інтервал, в якому працюють апарати хімічної промисловості, охоплює широкі межі. Особливістю періодичних процесів є значне коливання температури в апараті внаслідок нагрівання чи охолодження середовища.

Низькою вважається температура від  $-254$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , помірною (середньою) – від  $-40$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ , високою – понад  $+200^{\circ}\text{C}$ .

Тому для виготовлення одних апаратів слід застосовувати матеріали з високою морозостійкістю, а для інших – з високою жаростійкістю.

Наприклад, високою жаростійкістю (до  $1300^{\circ}\text{C}$ ) володіє сплав X25Ю5, розроблений для високотемпературного піролізу вуглеводнів, який також виявляє стійкість до сполук сірки і практично не піддається закоксуванню. Основними матеріалами для виготовлення апаратів, які працюють за низької температури, є сталь X14Г14Н (до  $-100^{\circ}\text{C}$ ), мідь та її сплави ( $-100^{\circ}\text{C}$  і нижче), високолегована сталь X23Н18 (до  $-180^{\circ}\text{C}$ ) тощо. Для проведення низькотемпературних процесів за участю агресивних речовин використовують матеріали з високою стійкістю до корозії й до дії низьких температур, наприклад леговані сталі, які містять титан, молібден та ніобій.

Тиск у технологічних процесах хімічного синтезу становить від  $0,0005$ - $0,001$  МПа до  $100$ - $300$  МПа. Матеріали для виготовлення апаратів, які працюють при розрідженні чи високому тиску, повинні мати добрі механічні показники. При застосуванні апаратів високого тиску для реакцій з участю водню матеріал обирається з урахуванням газової корозії, або поверхня сталевого апарата захищається шаром стійкого до корозії матеріалу (листовою міддю або алюмінієм, якщо реакційне середовище не містить сірководню або сполук сірки, в іншому випадку – середньо-легованою хром-молібденовою сталлю).

Отже, апарати, які працюють за помірних температур та тиску, виготовляються зі звичайної сталі з нанесенням захисного антикорозійного покриття. Під час конструювання апаратів, які працюють за атмосферного або підвищеного тиску і високої температури, обирають корозійностійкий матеріал.

Деталі апарата, які не контактують з середовищем, також можуть піддаватися корозії при підвищеному вмісті хімічно агресивних речовин в атмосфері робочих приміщень, у випадку витоку речовин під час їхнього завантаження та вивантаження або внаслідок порушення герметичності апаратів і комунікацій. Вибір матеріалу цих деталей визначається необхідною механічною міцністю, вартістю, технологічністю виготовлення апарата.

Високі вимоги до корозійної стійкості матеріалів, які контактують з агресивними речовинами, часто обмежують номенклатуру матеріалів для виготовлення деяких менш відповідальних елементів апарату [1-3, 17].

### 1.2.1. Металеві та неметалеві матеріали

Для виготовлення обладнання хімічних виробництв застосовуються різні метали і сплави, незахищені та захищені покриттями (металевими і неметалевими). Окрім металів і сплавів для виготовлення деяких апаратів, трубопроводів, арматури та ізоляції придатні й неметалеві матеріали.

Найбільше застосовують залізовуглецеві сплави – сталь і чавун. Розрізняють сталь вуглецеву (звичайної якості та якісну) та леговану.

Вуглецева сталь (ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості [6]) – це сплав заліза і вуглецю (від 0,05 до 1,7%: сталь, яка містить менше ніж 0,25% вуглецю, називається низьковуглецевою, від 0,25 до 0,6% - середньовуглецевою, від 0,6 до 2% – високовуглецевою) з домішками сірки, кремнію, фосфору, марганцю:

- вуглецеву сталь звичайної якості використовують для виготовлення деталей і апаратів, до яких не ставляться вимоги щодо високих міцності та корозійної стійкості матеріалу, а при нанесенні антикорозійного покриття – для виготовлення апаратів для переробки агресивних середовищ. Вона поділяється на три групи:

А – за механічними властивостями (Ст0-Ст6);

Б – за хімічним складом (БСт0-БСт6);

В – за механічними властивостями і хімічним складом (ВСт2-ВСт5).

У хімічному апаратобудуванні найчастіше використовують Ст3, Ст4 і Ст5. За ступенем розкислення під час розливу вуглецева сталь звичайної якості характеризується як кипляча (кп), спокійна (сп), напівспокійна (пс). Характеристика деяких марок вуглецевої сталі наведена в таблиці 1;

- вуглецеву якісну сталь використовують для виготовлення відповідальних деталей і апаратів для переробки неагресивних середовищ (05кп, 08кп, 08, 10кп, 10, ..., 85, 60Г, 65Г тощо).

Таблиця 1

Застосування деяких марок вуглецевої сталі в хімічному апаратобудуванні (ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості [6])

Марка сталі	Робочі умови		Сфера застосування
	температура стінки, °С	максимально допустимий тиск середовища (надлишковий), МПа	
ВСт3кп	10-350	1,6	Корпус, днища при товщині стінки до 26 мм (апарати без внутрішнього футерування), фланці, внутрішні пристрої
	-15 - +350	0,07	
ВСт3кп, Ст3кп	-30 - +350	-	Пакети заглибних холодильників та інші нерозгалужені конструкції
	0-550		Облицювання та виготовлення ненавантажених деталей внутрішніх пристроїв, апаратів, які не піддаються корозії
ВКСт3	0-200	1,6	Корпус і днища при товщині стінки до 20 мм (у дослідно-промислових апаратах)
	0-350	-	Внутрішні пристрої апаратів
	0-300	1,6	Розпилювачі, трубопроводи води в занурюваних холодильниках та інші деталі
ВСт3, Ст3	-40 - +425	5,0	Корпус ємностей і апаратів, днища, патрубки, фланці та інші деталі
ВСт4	-40 - +425	5,0	Корпус, днища, фланці та інші деталі
БСт5, Ст5	-30 - +425	5,0	Фланці, трубні решітки та інші деталі, що не підлягають зварюванню

Легованою називають сталь, до складу якої з метою покращення властивостей і хімічної стійкості вводять спеціальні добавки (метали – нікель, хром, титан, вольфрам, ванадій, марганець тощо, неметали – кремній). Введення хрому, нікелю, титану, молібдену підвищує корозійну стійкість, а хрому, алюмінію та кремнію – жаростійкість сталі.

Залежно від кількості добавок сталь поділяють на низьколеговану (до 5% добавок), середньолеговану (5–10%) і високолеговану (понад 10%).

Низьколеговану сталь залежно від призначення поділяють на групи:

- А – сталь для металевих конструкцій (умовні позначення: Ni – Н, Мо – М, Ti – Т, Cu – Д, Cr – Х, Si – С, Nb – Б, N – А, Mn – Г, Al – Ю, W – В, V – Ф; 1/100 частини від цифри перед позначенням вказує приблизний вміст вуглецю у відсотках, а цифри після назви добавки – її середній вміст у відсотках; при вмісті до 1,5% цифра перед літерою не ставиться; наявність у кінці позначення літери А означає високоякісну сталь, а цифра III – (через дефіс) – дуже високоякісну): марганцева (14Г, 19Г, 09Г2, 14Г2, 18Г2); хроммолібденова (12ХМ, 15ХМ); кремніймарганцева (12ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 10Г2С1); марганцевованадієва (15ГФ); хромокремніймарганцева (14ХГС); хромокремнійнікелева з міддю (15ХСНД, 10ХСНД).
- Б – сталь для армування залізобетонних конструкцій. Низьколегована сталь використовується для виготовлення: апаратів середнього тиску для переробки некорозійних середовищ, що дає змогу зменшити товщину стінки апарату і його масу порівняно з використанням вуглецевої сталі чи чавуну; апаратів, які працюють в умовах низької температури (до -70°C), що значно підвищує їхню експлуатаційну надійність.

Високолеговану сталь (ДСТУ 12344:2005 Сталі леговані та високолеговані [7]) використовують для виготовлення апаратів для переробки корозійноактивних середовищ за високої температури, й, залежно від властивостей, поділяють на три групи:

- корозійностійка (нержавіюча) сталь (08Х13, 10Х17Н13М2Т) – стійка до електрохімічної, хімічної (атмосферної, ґрунтової, лужної, кислотної, сольової) та міжкристалітної корозії;
- жаростійка (окалиностійка) сталь (15Х18, 20Х23Н13) – стійка до хімічного руйнування поверхні в газових середовищах за температури понад 550°C і здатна працювати за атмосферного або низького тиску;
- жаростійка сталь (20Х13, 12Х13, 20Х23Н18) – витримує високу температуру за високого тиску і володіє достатньою окалиностійкістю протягом тривалого часу.

З метою зниження собівартості та металомісткості технологічного обладнання та економії дефіцитного нікелю використовують економнолеговану і безнікелеву сталь (08Х22Н6Т, 08Х12Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т, 07Х13АГ20). Характеристика деяких марок легованої сталі наведена в таблиці 2.

Чавун містить понад 1,7 % вуглецю, характеризується більшою крихкістю, меншою міцністю та поділяється за призначенням і легуванням на:

- сірий – використовують для виготовлення обладнання для переробки неагресивних середовищ при температурі до 250°C (С412-28, С415-32, С418-36 тощо – умовні позначення: перші дві цифри – межа міцності на розтяг, цифри після дефісу – межа міцності на згин у кгс/см<sup>2</sup>, 1 кгс/см<sup>2</sup> – 9,81·10<sup>4</sup> Па);
- високоміцний (ДСТУ 3925-99 Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки [8]) – застосовують для виготовлення відповідальних деталей обладнання полімеризації та трубопроводів (В445-5, В450-2 тощо);
- легований (ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007, NEQ; ISO/TR 15931:2004, NEQ [9]) Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями. Загальні технічні умови) – використовують для виготовлення деталей обладнання для переробки корозійноактивних середовищ при температурі до 500-600°C. Володіє високою жаростійкістю, жароміцністю, корозійною стійкістю та стійкістю до зношування (наприклад, 4Г6С3Ш – стійкий до зношування, легований марганцем; 4Н15Д3Ш, 4Н19Х3Ш, 4Н11Г7Ш – жароміцний, легований нікелем);

- кремнієвий (феросилід) – стійкий до дії нітратної та нагрітої до 100°C сульфатної кислот, недостатньо стійкий до дії хлоридної кислоти, розчинів лугів і відновних середовищ (С15, С17);
- кремніймолібденовий С15М4 (антихлор) – придатний для виготовлення деталей апаратів для переробки середовищ, які містять гарячу хлоридну кислоту. Володіє високою твердістю, але крихкий і погано переносить місцеве або швидке нагрівання;
- лугостійкий СЧЩ–1, СЧЩ–2 – використовують для виготовлення апаратів для переробки середовищ, які містять гарячі водні розчини або розплави гідроксиду калію.

Таблиця 2

Застосування деяких марок легованої сталі у хімічному машинобудуванні

Марка сталі	Робочі умови		Температура початку інтенсивного окалиноутворення, °С	Сфера застосування
	температура стінки, °С	тиск середовища, МПа		
X5M	-40 - +550	не обмежено	650	Корпус, днища, трубні решітки, трубні пучки, патрубки та інші деталі
1X8ВФ	до 500	-	650	Труби печей, апаратів і комунікації нафтозаводів
X16Н15МЗБ	до 350	-	850	Труби пароперегрівачів і трубопроводи високого тиску
X18Н9Т	-196 - +660	не обмежено	-	Корпус, днища, фланці та інші деталі за відсутності середовищ, які спричиняють міжкристалітну корозію
	-196 - +350		-	Те саме, за наявності середовищ, які спричиняють міжкристалітну корозію
OX18Н12Б	0 - +600	<0,07	-	Корпус, днища, трубні пучки, змійовики, фланці та інші деталі
X17Н13М2Т	-196 - +700	не обмежено	-	Те саме
OX23Н18	-	-	1050	Труби і деталі установок конверсії метану, піролізу, листові деталі
X25Т	до 700	-	1050	Труби печей піролізу, теплообмінники, арматура, деталі
X25Н20С2	-	-	1150-1200	Підвіски і опори в котлах, труби печей піролізу

З чавуну виготовляють литі апарати, які працюють за надлишкового тиску до 0,6 МПа, а при діаметрі апарата, більшому, ніж 2 м, – до 0,3 МПа.

Вуглецева сталь і чавун не володіють високою корозійною стійкістю, тому їх часто вкривають захисним покриттям. Для виготовлення хімічних апаратів сталь застосовують значно частіше, ніж чавун.

У хімічному машинобудуванні для виготовлення зварних, паяних і литих апаратів, які працюють в умовах середньої та високої агресивності середовищ, застосовують метали: мідь, алюміній, нікель, свинець, срібло, титан, цирконій, молібден, тантал, ніобій та їхні сплави (таблиця 3).

З метою економії дефіцитної високолегованої сталі використовують двошарові металеві матеріали з основним шаром з вуглецевої чи низьколегованої сталі та захисним (плакуючим) – з корозійностійкої сталі марок 08X13, 12X18H10T, 08X17H13M2T, 08X17H13M3T, 06XH28MDT, металу (мідь, срібло, титан, нікель) або його сплаву. Амортизаційний термін роботи апарата, відповідно, забезпечується шаром корозійностійкого матеріалу завтовшки декілька міліметрів, а необхідна міцність стінки – значно товстішим шаром з вуглецевої сталі. Двошарові листи виготовляють завтовшки 4–160 мм. Завдяки плакуванню також покращуються механічні властивості матеріалу.

Таблиця 3

Властивості та застосування металів та сплавів

Метал (сплав)	Властивості	Застосування
<p>Мідь (M0, M1, M2, M3, M4)</p> 	<p>дефіцитність, висока вартість і недостатня стійкість у багатьох середовищах (мінеральних кислотах, NH<sub>3</sub>, хлоридах); легко обробляється; висока теплопровідність; гранична температура застосування - 400°C; пластичність при дуже низькій температурі</p>	<p>виготовлення теплообмінної апаратури й апаратів, які працюють в умовах низької температури</p>
<p>Латунь* – Л96, Л90, Л80, Л70, Л68, Л62 (зокрема спеціальна - ЛО70-1, ЛО90-1, ЛС-74-3, ЛС-64-2); бронза (олов'яниста, алюмінієва, кремніймарганцева, берилієва)</p> 	<p>висока корозійна стійкість (до дії слабких неорганічних та органічних кислот, атмосферної корозії); не дають іскор при ударах (кремніймарганцева, берилієва)</p>	<p>виготовлення окремих деталей апаратів, насосів, кранів; виготовлення апаратів, які працюють під тиском і в умовах небезпеки вибуху</p>
<p>Алюміній (A995, A99, A0)</p> 	<p>алюміній високого ступеня чистоти (понад 99,6%) стійкий до дії HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, сірки та її сполук, сухого HCl, органічних середовищ</p>	<p>виготовлення ємностей для зберігання та перевезення HNO<sub>3</sub>, труб, реакторів, теплообмінників й інших апаратів, які працюють при атмосферному тиску і температурі до 150°C чи при мінусовій температурі (до - 254°C)</p>
<p>Срібло</p> 	<p>висока вартість; висока хімічна й корозійна стійкість</p>	<p>дуже рідко застосовується для виготовлення хімічних апаратів; єдиний придатний матеріал для виготовлення обладнання для одержання хлоретанової кислоти</p>
<p>Свинець (C2)</p>	<p>висока хімічна стійкість до H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; гранична температура</p>	<p>виготовлення труб та як захисне покриття апаратів і деталей,</p>


Метал (сплав)	Властивості	Застосування
	застосування до 150-200°C	виготовлених зі сталі, чавуну й інших металів
Нікель(Н-0, Н-1, Н-2, Н-3, Н-4)  сплави з міддю, молібденом та іншими металами	стійкість до впливу гарячих розчинів і розплавів лугів, корозійна стійкість при високій температурі в органічних середовищах (кислотах, фенолах, спиртах), в розбавлених холодних розчинах HCl та її солей пластичність і придатність до обробки різними способами; високі механічна міцність (до 500°C) і хімічна стійкість в агресивних середовищах (до 750°C)	внаслідок дефіцитності та високої вартості для виготовлення обладнання нікель і його сплави використовуються порівняно рідко
Титан (BT-1, BT1-2)  сплави з алюмінієм, молібденом, хромом, ванадієм (BT4, BT5, BT14, BT15, OT4)	порівняно висока вартість; високі міцність, жаростійкість і жароміцність, опір до ерозії, корозійна стійкість; негативна властивість – взаємодіє за високої температури з киснем, нітрогеном, воднем, CO, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , водяною парою й багатьма леткими органічними сполуками кращі механічні властивості та вища корозійна стійкість, ніж титану; температура експлуатації до 350-500°C	виготовлення відповідальних деталей та хімічних апаратів, зокрема у виробництвах карбаміду, синтетичних волокон, синтетичних жирних кислот, засобів відбілювання, хлору
Цирконій, тантал і ніобій 	високі хімічна та корозійна стійкість, механічна міцність, теплопровідність; висока вартість	виготовлення теплообмінних апаратів і арматури підвищеної надійності

\*Латунь – сплав міді та цинку, вміст міді в простих латунях коливається від 4 до 55%. Латуні, що містять до 20% цинку, називаються томпаком. При введенні невеликої кількості олова, нікелю, алюмінію, марганцю, заліза й інших добавок одержують спеціальну латунь з кращими механічними властивостями і високою корозійною стійкістю.


Неметалеві матеріали використовують для виготовлення як хімічних апаратів, так і внутрішніх, і зовнішніх захисних та ізоляційних покриттів обладнання, властивості основних матеріалів наведені в таблиці 4.

Таблиця 4


Властивості і застосування неметалічних матеріалів

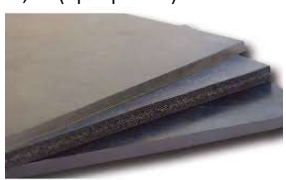
Матеріал	Властивості	Застосування
<p>Графіт і матеріали на його основі (графітоліти, графітотпласти)</p> 	<p>перевага: висока хімічна стійкість до дії деяких неорганічних та органічних кислот, розчинників, лугів, тепло- й електропровідність, стійкість до різких багаторазових перепадів температури; недоліки – низька механічна (ударна) міцність, пористість (проникність для рідин і газів усувають просочуванням органічними смолами і кремнійорганічними речовинами); температурна межа застосування графіту – 400°C, графітових матеріалів – 150-170°C</p>	<p>виготовлення футерувальних плиток і теплообмінних апаратів (тиск до 0,3 МПа, площа поверхні до 20 м<sup>2</sup>), випарників, абсорберів</p>
<p>Кераміка</p> 	<p>висока стійкість майже у всіх корозійно-агресивних середовищах (за винятком HF, H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, концентрованої гарячої H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, гарячих розчинів лугів концентрацією понад 30%), стійкість до ерозійного зношування; недоліки – висока крихкість, недостатня міцність, термічна стійкість, низька теплопровідність</p>	<p>виготовлення плиток і цегли для футерування сталевих апаратів, конструктивних елементів апаратів (тарілок, насадки (кілець Рашига), фільтруючих елементів і реакційних апаратів, насадкових колон, збірників, мірників, насосів, фільтрів, арматури</p>
<p>Скло зокрема нетермостійке (BBC) і термостійке (боросилікатне і безборне слабколужне)</p> 	<p>висока хімічна стійкість в агресивних середовищах (крім HF, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, гарячої H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, гарячих розчинів лугів); низька вартість; недоліки – крихкість, невисокий опір розтягу і згину, низька термічна стійкість</p>	<p>виготовлення труб</p>
<p>Склокристалічні матеріали (ситали)</p> 	<p>висока міцність, хімічна стійкість і термостійкість (до 1000°C в агресивних середовищах, до 300°C в мінеральних кислотах), добрі діелектричні й хімічні властивості</p>	<p>виготовлення реакторів, ємностей, скрубєрів, насадкових колон</p>

Матеріал	Властивості	Застосування
Пластичні маси, зокрема		

Термопластичні полімери – під час нагрівання з них можна формувати вироби і легко змінювати їхню форму		
<p>Вініпласт (ВН, ВП, ВНТ)</p> 	<p>висока хімічна стійкість (за винятком дії сильних окисників), розчинність в ароматичних і хлорованих вуглеводнях; висока механічна міцність; легкість механічної обробки, зварюється за допомогою прутка з пластифікованого ПВХ в потоці гарячого повітря (200-220°C); вогнетривкість; межі застосування – від -15 до +60°C</p>	<p>виготовлення листів, стрижнів, труб, арматури, деталей, ємностей і реакторів</p>
<p>Поліетен і поліпропілен</p> 	<p>висока хімічна стійкість; механічна міцність, легкість, простота виготовлення і монтажу трубних матеріалів, механічної обробки, лиття, зварювання</p>	<p>виготовлення труб, листів різної товщини, корпуси апаратів, тари для агресивних середовищ і пакувального матеріалу (плівку), листів для фільтрпресів (поліпропілен)</p>
<p>Поліізобутилен (ПСГ, ПС-2, ПТ, ГИ)</p> 	<p>висока хімічна стійкість, водостійкість та газонепроникність, невисока міцність і невеликий опір до стирання, температура застосування до 100°C</p>	<p>антикорозійні обкладання матеріалів, захист підземних трубопроводів та інших споруд, які знаходяться під катодним захистом чи розташовані в зоні дії блукаючих струмів; гідроізоляційний захист металу та бетону від корозійної дії ґрунтових і промислових вод з підвищеною агресивністю</p>
<p>Фторопласти фторопласт-4, фторопласт-42, фторопласт-3, фторопласт-3М</p> 	<p>Висока хімічна стійкість до більшості агресивних середовищ у широкому інтервалі температур (для фторопласту-4 від -269 до +260°C), механічна міцність; порівняно висока вартість</p>	<p>виготовлення труб, відповідальних деталей апаратів й арматури: прокладок, сальникових набивок, мембран і клапанів, ліхтарів, оглядового і мірного скла (з прозорих фторопластів). Фторопласт-3 у вигляді суспензій можна наносити на металеві вироби як безпористе покриття з високими захисними властивостями</p>

Матеріал	Властивості	Застосування
----------	-------------	--------------

Термореактивні полімери – характеризуються практично повною відсутністю холодотекучості під навантаженням та, як правило, вищою теплостійкістю, нерозчинністю й незначною здатністю до набухання, малою зміною фізико-механічних властивостей		
 <p>Хлорсульфований поліетен (хайполон)</p>	високі тепло- й вогнестійкість; після вулканізації утворює гуму	для виготовлення захисного покриття

Матеріал	Властивості	Застосування
Волокніти зокрема фаоліти марок А, Т (графоліт) азбовініл	хімічна стійкість в агресивних середовищах (крім розчинів лугів і кислот-окисників), низька густина (1,5-1,67), здатність до формування	труби, насоси, абсорбційні та ректифікаційні колони
	висока хімічна стійкість, добра адгезія до різних матеріалів, здатність затверджуватися і переходити в незворотну форму за звичайних температур, захисні властивості покриття зберігаються в межах від -50 до +110°C	для футерування та виготовлення труб, арматури і деталей апаратів
скловолокніти	хороша хімічна стійкість, висока механічна міцність, негорючість	ізоляційні матеріали

### 1.2.2. Захисні покриття

Використання легованої сталі чи кольорових металів для виготовлення обладнання суттєво збільшує вартість апарату. Тому, якщо можливо, його виготовляють зі звичайної сталі, яка вкривається покриттям для захисту від руйнівної дії середовища і зворотного впливу на нього матеріалу апарата.

Використовують металеві та неметалеві захисні покриття (ДСТУ 9.101:2004 Єдина система захисту від корозії та старіння. Основні положення; ДСТУ 2491-94 Покриття металеві та неметалеві неорганічні. Терміни та визначення), які вибирають залежно від умов роботи апарата і наносять у вигляді:

- обкладання;
- футерування;
- плакування;
- наплавлення або напилення;
- емалювання;
- фарбування.

Захисні покриття наносять лише після перевірки герметичності, міцності з'єднань апарата і попередньої підготовки його поверхні. Металеві покриття наносять на внутрішню поверхню апарата:

- обкладанням – накладанням листів свинцю, міді, легованої сталі. Його істотний недолік – при нагріванні або створенні в апараті вакууму обкладання (насамперед, свинцеве) може деформуватися й навіть руйнуватися повітрям, яке залишається між стінкою апарата і покриттям;
- наплавленням металу на заздалегідь луджену поверхню апарата;
- термодифузійним нанесенням – обробкою рідким, твердим (у вигляді порошку) або газоподібним металом чи неметалом при високій температурі. Найчастіше наносять кремній, хром і алюміній (відповідні назви - силіціювання, термохромовування й алітування). Силіційоване залізо за хімічною стійкістю схоже на кремнієву сталь, а термохромоване – на хромовану.

Алітують готові апарати, оскільки, внаслідок крихкості покриття, механічна обробка і зварювання алітованих деталей неприпустимі. Алітоване залізо стійке до газової корозії при 900-1000°C, до дії пари сірки та її сполук, не взаємодіє зі спиртами і вуглеводнями при високій температурі;

- плакуванням – шляхом спільного прокату або гарячого пресування металу, який захищається, з металевим захисним покриттям. Товщина захисного шару зазвичай становить 10–20% від товщини основного металу. Плаковану сталь (біметал) можна піддавати всім видам механічної обробки, штампуванню та зварюванню.

Розрізняють неметалеві покриття:

- емалювання – покриття поверхні металу склоподібною масою – емаллю, одержаною сплавленням кварцового піску з бурою, поташем, селітрою. Розрізняють кислотостійку, кислотолугостійку та універсальну емаль (ДСТУ 2238-96 Апарати емальовані з механічними перемішувальними пристроями. Типи, основні параметри і розміри [11]). Емаль стійка до дії органічних і мінеральних кислот (за винятком HF, H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> і H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), розбавлених розчинів лугів, практично всіх органічних речовин і добре захищає середовища від впливу матеріалу апарата. Застосовується до температури 300-400°C за умови близьких значень коефіцієнтів розширення емалі й металу. Недоліки: розтріскування покриття та викришування емалі при різких коливаннях температури і механічному впливі, порівняно висока вартість і складність виготовлення великих апаратів та деталей складної конфігурації з емальованим покриттям. Такі деталі зварювати не можна, тому апарати (реактори, сушарки, ємності, теплообмінники, трубки) емалюють після їхнього виготовлення. Емальовані апарати і трубопровід застосовують у процесах одержання галогеноводневих кислот, полімеризації тощо;

- футерування – покриття поверхні металу шаром захисного матеріалу. Недолік – можливість появи тріщин футерування, найчастіше під час коливань температури внаслідок різниці між коефіцієнтами розширення металу і покриття. У результаті агресивна речовина легко потрапляє до поверхні металу, руйнує його та весь шар покриття. Доцільніше футерувати апарати, заздалегідь обкладені гумою чи пластмасою (футерування захищає гуму від дії органічних речовин і високої температури, а гума компенсує різницю між коефіцієнтами розширення металу та футерування й захищає покриття від руйнування). Футерування може бути дво-, три- або багат шаровим. Для його нанесення використовують:

- силікатні матеріали – робоча поверхня апарата покривається двома (рідше одним або трьома) шарами кислотостійких порцелянових, керамічних або діабазових плиток, зцементованих кислотостійкими замазками. Застосовуються для захисту сталевих апаратів, призначених для роботи з розчинами, які містять хлоридну кислоту чи газоподібні агресивні середовища;

- графітові матеріали – у вигляді замазки з високою теплопровідністю.

- гумування – внутрішнє або зовнішнє покриття поверхні апарата шаром гуми на основі дивінілстирольних, дивінілнітрильних (СКН-18, СКН-26, СКН-40), дивінілових та ізопренових каучуків регулярної будови, хлоропренового каучуку (наїриту). Такі покриття добре витримують дію агресивних речовин, протистоять абразивному зношенню, кавітаційному впливу, знакозміним деформаціям матеріалу і різким коливанням температури, не мають стиків і швів, є однорідними за своїми властивостями.

Захист гумування здійснюється: обкладанням сирого гумою з подальшою вулканізацією; нанесенням каучукових розчинів або паст з подальшою термічною або холодною вулканізацією плівки; нанесенням покриттів з латексів чи інших дисперсій пульверизатором, зануренням тощо; фарбуванням поліхлоропренами; газополуменевим напиленням синтетичних каучуків – нанесенням на підігріту поверхню матеріалу порошкоподібної суміші каучуку, агентів вулканізації й інших, необхідних для виготовлення гуми інгредієнтів за допомогою пальника автогенного типу. При контакті з поверхнею суміш розплавляється та після охолодження утворює непроникне, міцно з'єднане з металом покриття;

- обкладання (оклеювання) листовими матеріалами на основі:
  - поліізобутилену – для захисту апаратів і трубопроводів від дії кислот, лугів і солей (до 80-85°C). Окремі листи можна зварювати, що забезпечує герметичність покриття, яке довговічніше й у 3 рази дешевше, ніж гумове; суміші поліізобутилену з порошкоподібними інгредієнтами (сажа, тальк) або з термопластичними органічними речовинами (поліетен, полістирол);
  - бутилкаучуку – переважають поліізобутиленові за стійкістю та завдяки здатності вулканізуватися;
  - ебонітів (твердих гум) – переважають м'які гуми за хімічною, тепловою стійкістю й адгезією до металу, застосовуються як проміжний шар для кріплення м'якої гуми. Погано протистоять абразивному зношуванню, знакозмінним деформаціям, ударам і різким температурним перепадам;
  - вініпласту – обкладанням плівками товщиною 0,5-1 мм, які наклеюють на підготовлену поверхню металу з допомогою перхлорвінілового клею. Недолік – недостатня адгезія до металу і механічна міцність покриття. Доцільніше виготовляти покриття у вигляді зварних вкладок з листового вініпласту товщиною від 2 до 8 мм;
- нанесення пасти з азбестового волокна і лаку етиноля (товщина покриття – 10-12 мм). Можна застосовувати також як підшар у комбінованих футеруваннях;
- газополуменева (вихрива) напилення поліетилену або поліпропілену;
- нанесення бакелітового лаку – для захисту теплообмінних апаратів від корозійної дії води;
- фарбування – для зовнішнього захисту обладнання від корозії, розміщених на відкритих майданчиках апаратів (газгольдерів, спиртосховищ, цистерн зі стисненим газом, пофарбованих алюмінієвою фарбою) від сонячних променів. Фарбування також має естетичне і службово-технічне значення – його колір дуже важливий для трубопроводів, ємностей зі стисненим газом, контрольно-вимірювальних пристроїв (нормується), що полегшує обслуговування та зменшує кількість аварій.

### 1.2.3. Теплова ізоляція. Теплоізоляційні матеріали

Апарати і трубопроводи, що працюють за температури, яка значно відрізняється від температури довкілля, покривають тепловою ізоляцією (ДСТУ Б 16381:2011 Матеріали і виробни будівельні теплоізоляційні. Класифікація і загальні технічні вимоги [12]). Це дає змогу забезпечити необхідний тепловий режим роботи обладнання, зменшити втрати теплоти або холоду, створити нормальні санітарно-гігієнічні умови праці персоналу (запобігти опікам, сильному підвищенню або зниженню температури в цеху).

Вимоги до теплової ізоляції – низький коефіцієнт теплопровідності, якомога менша об'ємна маса, мінімальна гігроскопічність, стійкість при температурі стінки апарата, хімічна стійкість та інертність, достатня механічна міцність.

Теплоізоляційні матеріали класифікуються за:

- структурою, зокрема: пористо-волокнисті (мінеральна вата, скловата); пористо-зернисті (перлітові, совелітові); коміркові (пористий бетон, піноскло);
  - формою, зокрема: штучні (плити, блоки, цеглини, циліндри, сегменти); рулонні (мати, матраци); шнурові; сипкі;
  - температурою використання, зокрема: високотемпературні (витримують температуру понад 450°C); середньотемпературні (150-450°C); низькотемпературні (до 150°C);
  - природою сировини, зокрема: неорганічні (мінеральні); органічні.
- Матеріали з мінеральної сировини виготовляють з:
- розплавів шлаків, скла, гірських порід та їх сумішей – мінеральна вата, скловолокно, газоскло;
  - азбесту – азбозурит, азботерміт, совеліт, ньувель;
  - кераміки – обпалюванням глиняної та іншої сировини (керамзит, кераміка, пінокераміт);

- мінеральних в'язучих речовин – бетони.

До органічних належать теплоізоляційні матеріали з волокнистої сировини з добавками органічних клеїв, смол та інших в'язучих чи синтетичних спінюючих речовин (поро- та пінопластів – пінополіуретан, пінополістирол).

Теплоізоляцію за конструкцією поділяють на:

- мастичну – ізоляційну мастику готують змішуванням порошку з водою та наносять на ізольований виріб або на каркас, приварений чи притягнутий до нього м'яким сталевим дротом;
- засипну – волокнисту або зернисту масу, засипають у заздалегідь виготовлені кожухи;
- обгорткову – ізольовану поверхню обгортають рулонами або листами з подальшим закріпленням хомутами або м'яким дротом;
- формовану – на ізольованій поверхні встановлюють або заздалегідь підганяють до її конфігурації механічною обробкою цеглини, плити, сегменти, виготовлені в спеціальних майстернях. Зручна для ізолювання арматури.

При високій температурі поверхні апарата наносять багатошарову ізоляцію: спочатку – матеріал, який витримує високу температуру, але, як правило, має гірші теплоізоляційні властивості, а на нього – матеріал із значно нижчою теплопровідністю. Товщину шару ізоляції, який контактує з поверхнею апарата, приймають такою, щоб температура на межі з зовнішнім ізоляційним шаром не перевищувала граничну температуру застосування цього теплоізоляційного матеріалу.

Для підвищення поверхневої міцності й формування шару ізоляції на нього наносять захисні покриття з листового поліетилену, стабілізованого сажею, азбоцементної штукатурки, суміші бітуму з діатомітом і водою або рулонних гідроізоляційних матеріалів (руберойд, толь).

Під час компонування та монтажу апарата або трубопроводу необхідно враховувати місце, яке займає ізоляція.

Характеристика основних теплоізоляційних матеріалів представлена в таблиці 5.

Таблиця 5

Характеристика теплоізоляційних матеріалів і конструкцій

Матеріал чи конструкція	Насипна вага матеріалу або середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури, Вт/(м·°C)	Гранична температура застосування, °C
Азбоцементні матеріали 	400	0,087+0,00013t	450
Діатоміт мелений 	400-500	0,091+0,00028t	1000
Діатомітові вироби (цегла, сегмент), марок 	500	0,116+0,00023t	900
	600	0,140+0,00023t	900
	700	0,163+0,00038t	900

Матеріал чи конструкція	Насипна вага матеріалу або середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури, Вт/(м·°C)	Гранична температура застосування, °C
Плити з мінеральної вати, напівжорсткі без штуркатурки, марок 	125	0,046+0,00020t	300
	150	0,051+0,00020t	300
	200	0,056+0,00019t	300
Матеріал чи конструкція	Насипна вага матеріалу або середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури, Вт/(м·°C)	Гранична температура застосування, °C
Піноскло, марок 	A 200	0,093	300
	B 300	0,116	300
	B 400	0,140	300
Перлітовий пісок марки 150 	180	0,058+0,00012t	900
Пінопласт ПХВ-2 	130-170	0,058 при 20°C	±60
Торфосегменти для теплових мереж 	400	0,0657+0,000163t	100

На рис. 1 і 2 зображена формована конструкція теплової ізоляції поверхні апарата й трубопроводу. Для встановлення каркаса до плоских і криволінійних поверхонь ізольованого апарата у шаховому порядку з інтервалом  $\approx 350$  мм приварюють шпильки зі сталевого дроту довжиною на 10-15 мм більшою, ніж товщина основного ізоляційного шару.

Рис  
шту

3 - каркас; 4 -

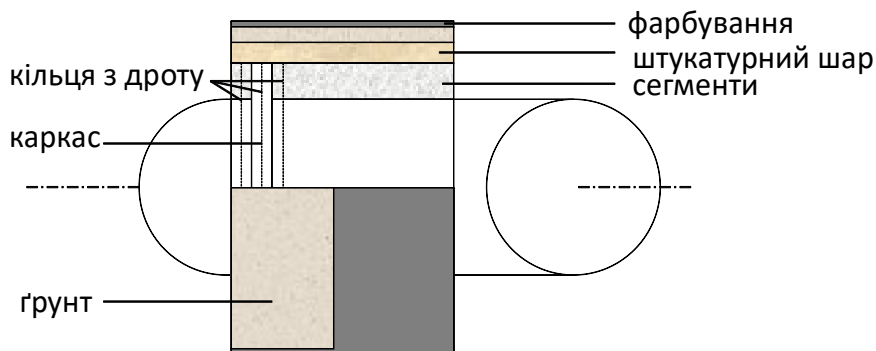


Рис. 2. Теплоізоляція трубопроводу: 1 - сегменти; 2 - каркас; 3 - кільця з дроту; 4 - штукатурний шар; 5 - ґрунт; 6 – фарбування

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 1.2 можна ознайомитись за посиланням: [Мікульонюк І. О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв стор. 13-20.](#)

22

## Тема 1.3. Корозія конструкційних елементів



### Поняття та його визначення

Корозія – руйнування матеріалу під дією середовища.

Корозійна стійкість – здатність матеріалу протистояти корозійній дії середовища.

Швидкість корозії  $K$  – це кількість металу, який руйнується в одиницю часу з одиниці геометричної поверхні металу.

Глибинний показник корозії (проникність)  $P$  – величина, що характеризує зменшення товщини металу протягом року унаслідок корозії



### Основні теоретичні положення

Вибір конструкційного матеріалу для виготовлення хімічної апаратури значною мірою визначається агресивністю середовища і умовами роботи даного апарату. Корозійна дія середовища призводить до зниження механічної міцності, твердості, зносостійкості матеріалу і до інших небажаних явищ.

Корозія – руйнування матеріалу під дією середовища. Корозійна стійкість – здатність матеріалу протистояти корозійній дії середовища. Це поняття відносне, оскільки корозійна стійкість залежить від виду середовища, концентрації хімічно активного компоненту, температури й інших чинників. Наприклад, вуглецеві сталі цілком стійкі в сульфатній кислоті при масовій концентрації 75% і вище, проте

вони нестійкі в розбавленій кислоті. Багато силікатів цілком стійкі в сульфатній кислоті будь-якої концентрації, але нестійкі в розчинах фторидної кислоти.

### 1.3.1. Класифікація видів корозії

Види корозії прийнято класифікувати за механізмом або за характером дії.

Залежно від природи агресивного середовища і умов роботи руйнування металів і сплавів може протікати за різними механізмами.

- Електрохімічна корозія – це корозія металу у присутності електропровідного середовища, що протікає за допомогою електрохімічних елементів, що мимоволі утворюються на поверхні металу.
- Хімічна корозія – це корозія, викликана безпосередньою взаємодією металу і агресивного середовища, причому середовище в цьому випадку може і не бути електролітом. До хімічної корозії відносяться: газова корозія (у газовому середовищі, яке не містить електроліт); корозія в розчинах неелектролітів.
- Комбінована корозія (одночасно протікає хімічна та електрохімічна корозія).
- Біологічна корозія – це корозія, яка виникає в результаті життєдіяльності якого-небудь роду бактерій.

Залежно від виду корозії і конкретних умов експлуатації (природа середовища, види металу, напруга, що діє) спостерігаються різні види руйнувань. Корозія металу поділяється на суцільну і місцеву.

Суцільна корозія з'являється за відсутності захисних плівок на поверхні металу або при рівномірному розподіленні анодних і катодних ділянок. Втрата міцності зразка металу приблизно пропорційна зменшенню його маси, тому даний вид корозійного руйнування менш небезпечний в порівнянні з іншими.

Місцева корозія має декілька різновидів: плямиста, виразкова, підповерхнева, міжкристалічна й ін. Для всіх її різновидів характерне руйнування окремих ділянок металу.

Так, при плямистій корозії виділяється велика площа руйнувань та їх мала глибина. Цей вид корозійних руйнувань близький до суцільної корозії.

При виразковій корозії глибина руйнувань, як правило, перевищує їх протяжність, а при точковій часто утворюються кризні отвори. Точкова корозія спостерігається за наявності в агресивному середовищі іонів хлору і розчиненого кисню, її вогнищами є домішки в металі, мікротріщини або подряпини. Метали високої чистоти і сплави, леговані молібденом, менш схильні до точкової корозії. Цей вид корозії небезпечніший, ніж суцільна або плямиста, оскільки в даному випадку міцність окремих ділянок знижується більшою мірою, ніж втрата маси зразка.

Підповерхнева корозія характеризується поширенням осередку руйнування під поверхнею металу, що приводить до спучення і розшарування металу продуктами корозії.

Вибіркова корозія обумовлена руйнуванням одного з компонентів або однієї з фаз гетерогенного сплаву. До неї відносять і міжкристалічну корозію, при якій руйнування йде по кордонах зерен кристалів. Особливо схильні до неї хромисті та хромонікелеві сталі після їх нагріву до 500-800°C. В деяких випадках руйнування може поширюватися по кристалах в глиб металу. Такий вид руйнувань називається транскристалічною (внутрішньокристалічною) корозією.

Міжкристалічна корозія – найбільш небезпечний вид корозійних руйнувань, оскільки в даному випадку її перебіг часто неможливо контролювати по зміні маси або візуальними спостереженнями. Вона призводить до значного зниження міцності зразка або деталі. Схильність до даного виду корозії падає при зменшенні вмісту вуглецю. Якщо його міститься не більше 0,01%, то міжкристалічна корозія не спостерігається.

Щілинна корозія – різновид електрохімічної корозії. Вона обумовлена нерівномірним обтіканням середовищем різних ділянок поверхні апарату. У щілинах, зазорах і застійних зонах, куди утруднений

доступ розчину, концентрація кисню в них значно менше, ніж в об'ємі розчину, і метал даних ділянок стає анодом, а метал ділянок, омиваних потоком розчину, катодом.

### 1.3.2. Корозійна стійкість металів і сплавів

Корозійна стійкість металів і сплавів оцінюється за швидкістю корозії і глибинним показником корозії.

Швидкість корозії – це кількість металу, який руйнується в одиницю часу (годину, добу, рік) з одиниці геометричної поверхні металу (м<sup>2</sup>):

$$K = \frac{\Delta m}{F \cdot \tau}, \left[ \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \right]$$

Глибинний показник корозії (проникність) – величина, що характеризує зменшення товщини металу (мм) протягом року унаслідок корозії. Даний показник відноситься до рівномірної або плямистої корозії.

Глибинний показник П (мм/рік) і швидкість корозії К зв'язані наступним співвідношенням:

$$P = \frac{K \cdot 8760}{\rho \cdot 1000} = 8,76 \frac{K}{\rho}, \text{ [мм/рік]}$$

де  $\rho$  – густина металу, г/см<sup>3</sup>.

При місцевій корозії фактична глибина руйнування металу буде вища розрахункової, оскільки в цьому випадку площа, уражена корозією, менше спільної площі, яка стикається з середовищем.

За [10] ДСТУ 9.101:2004 Єдина система захисту від корозії та старіння. Основні положення матеріали по їх корозійним стійкостям діляться на шість груп і оцінюються за десятибальною шкалою залежно від глибинного показника корозії (таблиця 6).

Таблиця 6

Корозійна стійкість металів

Бал	Позначення	Глибина (мм/рік)
1	Абсолютно стійкі	≥0,001
2	Вельми стійкі	0,001-0,005
3	Вельми стійкі	0,005-0,01
4	Стійкі	0,01-0,05
5	Стійкі	0,05-0,1
6	Знижено стійкі	0,1-0,5
7	Знижено стійкі	0,5-1,0
8	Нестійкі	1,0-5,0
9	Нестійкі	5,0-10
10	Абсолютно нестійкі	>10

Матеріали, використовувані для виготовлення хімічної апаратури, повинні мати бал стійкості не більше 5, а швидкість корозії не повинна перевищувати 0,1 мм/рік. Для невідповідальних деталей (перегородки, мішалки і т.д.) дозволяється вживання матеріалів з балом стійкості, рівним 6 (0,1 до 0,5 мм/рік).

### 1.3.3. Корозія і деформаційне старіння сталей

Корозія (від лат. *corrosio* – роз'їдання) – це самовільне руйнування металів внаслідок хімічної чи електрохімічної взаємодії їх з корозійним середовищем. Причиною корозії є термодинамічна нестійкість металів. Корозія металів завдає великої економічної шкоди внаслідок виходу з ладу обладнання, машин, механізмів, металевих конструкцій. Найбільше піддається корозії обладнання, що контактує з високоагресивними середовищами, наприклад розчинами кислот, солей тощо.

Корозійне руйнування може охоплювати всю поверхню металу – «суцільна (загальна)» корозія або окремі ділянки – «місцева (локальна)» корозія. Воно починається з поверхні, тобто на межі метал – середовище, і поступово поширюється в глибину. При суцільному руйнуванні середовище взаємодіє з металевими виробами по всій поверхні, але це може протікати з різною швидкістю на окремих її ділянках. Саме тому цей вид руйнування поділяють на рівномірне та нерівномірне руйнування. У разі рівномірного руйнування швидкість взаємодії середовища з металом однакова, а в разі нерівномірного – різна на різних ділянках поверхні виробів. Внаслідок цього метал пошкоджується на різну глибину. Корозійне руйнування металу обладнання в агресивному середовищі обумовлене, як правило, рядом факторів. Залежно від особливостей експлуатації можливе протікання руйнування за трьома основними напрямками:

- переважно механічне руйнування за незначної дії корозивного середовища;
- переважно корозійне руйнування за рахунок дії агресивного середовища за незначної дії механічних напружень ;
- корозійно-механічне руйнування за сумісної дії середовища, механічних навантажень.

Часто корозійне і корозійно-механічне руйнування об'єднують загальним терміном – корозія. В технічній літературі зараз відсутня єдина класифікація корозійних пошкоджень. Залежно від специфіки діяльності підприємства, існуючих традицій використовуються різні підходи до цього питання. Існує декілька способів класифікації видів корозії за різними ознаками, найбільш поширеними є наступні: за механізмом протікання корозивного процесу, за умовами протікання корозії і за видом корозійного руйнування. У 1999 р. введено в дію ДСТУ 3830-98 Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення [14] основних понять, який узагальнив існуючі поняття щодо корозії металів та сплавів.

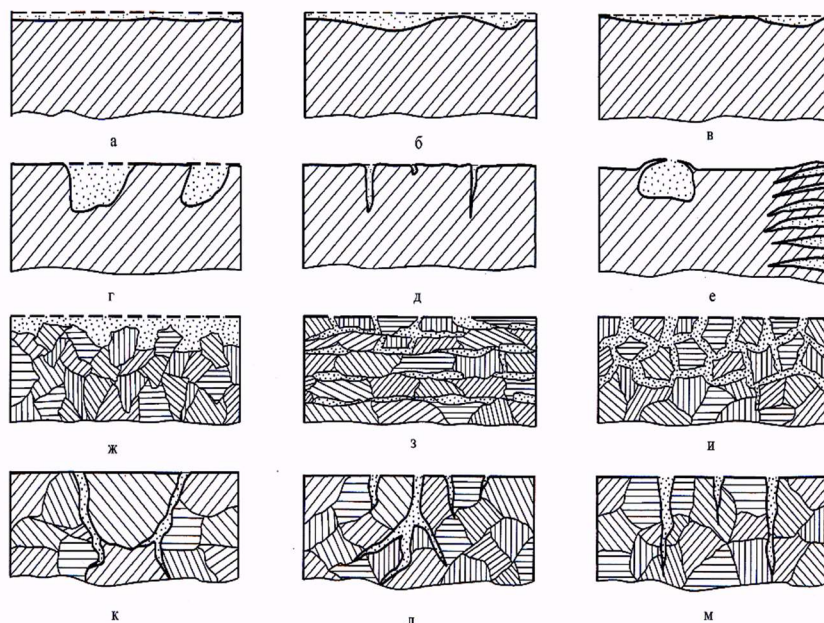


Рис. 3. Види корозійних руйнувань металу

Найбільш простою є класифікація за видом корозії. На рис. 3 представлено найбільш характерні ознаки приведених видів корозії, а нижче надано приклади практичних корозійних пошкоджень обладнання хімічних виробництв і газогонів.

Коли корозія протікає по всій поверхні вона називається загальною рівномірною (а) або нерівномірною (б). Місцева корозія може реалізовуватися як корозія плямами (в), виразкова (г) і пітингова (д), що локалізується на окремих точках. Підповерхнева корозія (е) супроводжується розшаруванням і вспучуванням металу. Компонентно-вибіркова корозія (ж) характеризується розчиненням однієї з компонент сплава, наприклад, знецинкуванням латуней. Структурно-вибіркова

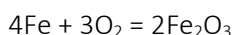
корозія (з) характеризується розчиненням однієї з структурних складових, наприклад, фериту в аустенітно-феритних сталях. Міжкристалітна корозія (и) відрізняється вибіркоvim розчиненням металу по границях зерен металу. Ножова корозія (к) локалізується в області лінії сплавлення зварних з'єднань. Корозійне розтріскування, обумовлене дією агресивного середовища і розтягальних механічних навантажень, може утворювати міжкристалітні (л) або транскристалітні тріщини (м).

За механізмом протікання корозія поділяється на хімічну та електрохімічну. До хімічної корозії відносяться процеси, що протікають при безпосередній хімічній взаємодії між металом і агресивним середовищем і не супроводжуються виникненням електричного струму. Цей вид корозії є хімічною гетерогенною реакцією рідинного чи газоподібного середовища з поверхнею металу. За хімічним механізмом на поверхню металу діють: сухі гази і пари при неможливості конденсації вологи на поверхні металу (газова корозія); рідкі середовища-неелектроліти, тобто рідини, що не проводять електричний струм (спирти, мінеральні масла та різні органічні сполуки).

Газова корозія зазвичай спостерігається за високих температур (окиснення металів киснем повітря при нагріванні). В більшості випадків при газовій корозії на поверхні металів утворюється шар оксидів. Механізм газової корозії зводиться до двосторонньої дифузії діючого середовища і атомів металу через цей шар оксидів. Газова корозія зустрічається досить часто, наприклад, корозія металів у печах, вихлопних трубах тощо. Найнебезпечнішими для металу компонентами газового середовища є кисень  $O_2$ , водяна пара  $H_2O$ , карбон(IV) оксид  $CO_2$ , сульфур(IV) оксид  $SO_2$ .

Також до хімічної корозії відносять водневу корозію (у воденьвмісних середовищах за високих температур і тисків) і сірчановодневу (за високих температур).

Корозійне руйнування заліза та його сплавів на повітрі зумовлено окисненням його киснем за реакцією:



З підвищенням температури швидкість газової корозії зростає. Прикладом такого виду корозії є руйнування деталей нагрівних печей, котлів, турбін, двигунів внутрішнього згорання, сопел реактивних двигунів тощо. У разі взаємодії газового середовища (підні та викидні гази) з металевими виробами на їх поверхні утворюються різні хімічні сполуки (наприклад, оксиди, сульфідні тощо) у вигляді плівок. Чим вища температура середовища, тим інтенсивніше кородує метал, оскільки зростають швидкість дифузії газів через плівку до металу і зустрічна дифузія атомів металу. У разі утворення не дуже щільної та міцної плівки газове середовище може різко прискорити руйнування виробів. Прикладом металів, на поверхні яких утворюється нещільна (крихка) оксидна плівка, є залізо, вуглецеві сталі та чавуни. Вони надзвичайно швидко руйнуються під дією газових середовищ, оскільки їх оксидні плівки слабкі, а в разі незначної зміни температури або навантаження – відшаровуються. Поверхня виробу «оголюється», і кисень чи інший газ знову взаємодіє з металом. З часом виріб тоншає, оскільки утворена плівка з часом обсипається. Отже, оксидні плівки, які утворюються на поверхні виробів, виготовлених з вуглецевих сталей і чавунів, не можуть захистити їх від корозійного руйнування.

Якщо на поверхні виробів утворюються міцні та щільні оксидні плівки, то корозійне руйнування сповільнюється. Саме тому на практиці використовують леговані сталі, які витримують дію газових середовищ до  $900^{\circ}C$ , у той час як вуглецеві легко руйнуються за температур понад  $500^{\circ}C$ .

Швидкість корозії чорних металів за наявності вологого хлористого водню становить 5-20 мм/рік, а спільна присутність  $H_2S$  і  $HCl$  підсилює корозію у 3-4 рази. Найінтенсивніше корозія протікає у конденсаторах-холодильниках, верхній частині ректифікаційних колон, трубопроводах гарячих залишків.

Електрохімічна корозія протікає в середовищі електролітів і супроводжується виникненням електричного струму. Основна відмінність електрохімічного механізму від чисто хімічного полягає в тому, що реакція взаємодії середовища з металом розділяється на два процеси: анодний (окиснення), що полягає у переході металу в розчин у вигляді гідратованих іонів, і катодний (відновлення), що полягає в приєднанні електронів деполаризаторами (атомами, молекулами, наприклад, кисню, або іонами розчину, наприклад, водню тощо). Внаслідок цього між ділянками одного металу чи різними за природою металами протікає електричний струм.

Отже, на аноді протікає реакція окиснення:  $Me - 2\bar{e} = Me^{2+}$

а на катоді відновлення компонентів середовища. Як правило, у водних електролітах окисниками виступають іони гідрогену  $H^+$  (корозія з водневою деполаризацією) або розчинений у воді кисень  $O_2$  (корозія з кисневою деполаризацією). У першому випадку під час катодного процесу виділяється водень:

а у другому – утворюються гідроксид-іони:  $O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} = 4OH^-$

Ділянки поверхні металу, на яких відбуваються процеси окиснення і відновлення, називають відповідно анодними й катодними.

Гальванічні пари можуть виникати також між найдрібнішими зернами сплавів, якщо вони різняться за хімічним складом та фізичними властивостями. Зокрема, ферит і цементит що входять до складу сталі, утворюють гальванічну пару, в якій анодом буде ферит, катодом - цементит. Тому в процесі окиснення ферит розчиняється. Залізо, що розчинилося, взаємодіє з киснем, що завжди присутнє в природній воді. В результаті реакції виникає гідроксид заліза, який з часом переходить в сполуки із загальною формулою  $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$  – пластинчасту речовину, що осідає на поверхні металу у вигляді іржі.

За умовами перебігання корозія поділяється на наступні види [19]:

- під напруженням – корозія металів за сумісної дії агресивного середовища і механічних напружень (рис. 4);

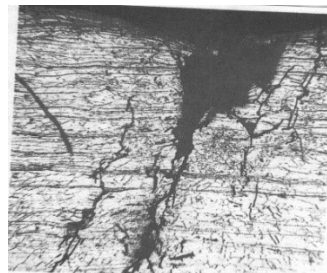
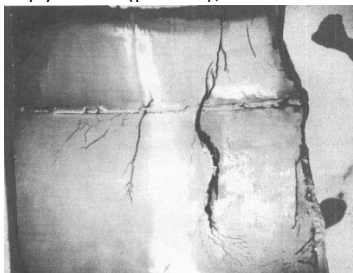


Рис. 4. Корозія труби, сталь 12X18Н10Т, що працювала в середовищі воденьвмісного газу тиск 1,4 - 3,5 МПа, температура 320°C: а-загальний вид труби; б-фрагмент корозійного пошкодження,  $\times 100$

- газова – корозія металів в газах за високих температур;
- в неелектролітах (в розплавленій сірці, органічних розчинниках, в рідкому паливі);
- підземна – корозія в ґрунтах і землі (корозія підземних комунікацій);
- кавітаційна – руйнування металу, що викликано одночасним корозійним впливом і ударною дією зовнішнього середовища (наприклад, руйнування деталей насосів) (рис. 5);

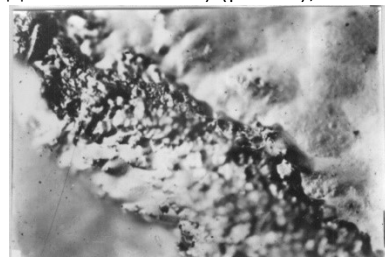
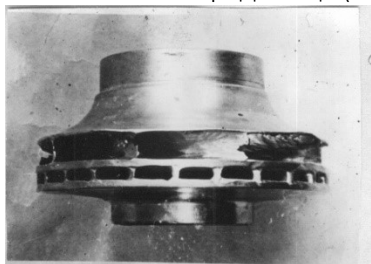
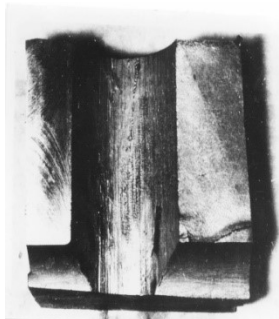


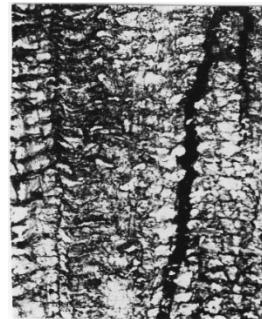
Рис. 5. Корозійно-ерозійний знос робочого колеса відцентрового насосу виробництва аміачної селітри: а – загальний вигляд, б – зона кавітаційного руйнування,  $\times 12$

- фретинг-корозія – руйнування металів, що викликано коливальним переміщенням двох металевих поверхонь в агресивному середовищі, наприклад, корозія у вузлі кривошип-вал потужних поршневих компресорів (рис. 6);
- контактна – електрохімічна корозія, що викликана контактом металів, що мають різні електродні потенціали (наприклад, корозія луженої сталі при порушенні покриття);

- при терті (тертьова) – руйнування металу за одночасної дії корозивного середовища і тертя (наприклад, руйнування шийки вала при терті з підшипником в агресивному середовищі);



а



б

Рис. 6. Фретинг-корозія на втулці від плунжера: а – загальний вигляд, б – фрагмент корозійного пошкодження,  $\times 100$

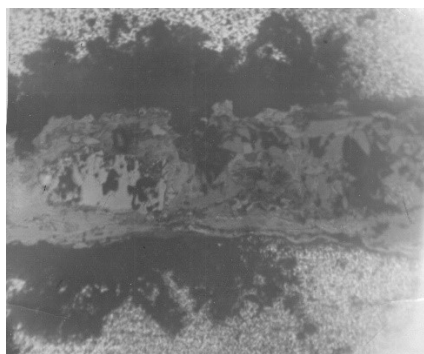


Рис. 7. Щілинна корозія в зоні підкладного кільця, що встановлене при зварюванні обичайки з днищем контейнера рідкого хлору,  $\times 100$

- біокорозія – корозія, що протікає при взаємодії металу і продуктів, які виділяють мікроорганізми;

- щілинна – посилена корозія в шпаринах і проміжках конструкції (наприклад, корозія ущільнюючих поверхонь фланцевих з'єднань) (рис. 7);

- радіаційна – корозія металів, що обумовлена сумісною дією агресивного середовища і радіаційних випромінювань;

- стрес-корозія – корозія підземних трубопроводів при порушенні режимів катодного захисту і протикорозійних покриттів;

- блукаючими струмами – електрохімічна корозія під дією блукаючих струмів (наприклад, корозія підземних трубопроводів, викликана цими струмами). Особливо небезпечним є постійний струм. Спостерігається цей вид корозії в околі трамвайних ліній і ліній електропоїздів. Під час руху трамваїв та електропоїздів частина електричного струму проникає в ґрунт, доходять до труб, якими транспортують воду, газ та інших підземних металевих

конструкцій, анодні ділянки яких руйнуються. Це дуже небезпечний вид корозії: струм силою 1 А за рік «з'їдає» 9 кг заліза, 3 кг алюмінію, 11 кг цинку і міді, 34 кг свинцю. Радіус дії цього виду корозії досягає десятків кілометрів;

- атмосферна – корозія в атмосфері повітря (найбільш значна у вологій атмосфері хімічних підприємств і в умовах морського клімату). У разі атмосферної корозії агресивним середовищем є сконцентрована на поверхні металевого виробу волога, агресивність якої зростає із збільшенням в ній газів:  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  тощо. Цей вид корозії найпоширеніший, оскільки близько 80% металовиробів та конструкцій експлуатується і зберігається під «відкритим небом»;

- в електролітах (в кислотах, лугах, солях, морській воді). Вони можуть діяти на метал при його повному зануренні, при неповному зануренні, при попереминому зануренні, також в спокійному електроліті або при його перемішуванні;

За видом руйнування корозію поділяють на загальну або суцільну, яка буває рівномірною і нерівномірною, і місцеву.

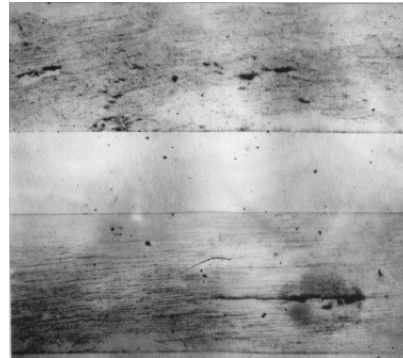
В свою чергу, місцева корозія поділяється на:

- виразкова корозія, яка характеризується досить глибоким пошкодженням металу на обмеженій площі (рис. 8);

- пітингова - корозія, що локалізується на окремих точках, при цьому більша частина поверхні, як правило, залишається пасивною (рис. 9);

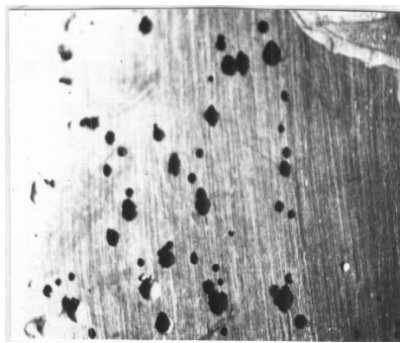


а



б

Рис. 8. Виразкова корозія корпусу реактора очищення сірчистих сполук при виробництві аміаку: а – виразки на внутрішній поверхні, б – тріщини, утворені на дні виразок після їх вибірки



а



б

Рис. 9. Пітінг трубопроводу живильної води котла-утилізатора установки каталітичного окиснення аміаку: а – загальний вигляд поверхні, б – пітінг і тріщини, що утворені від пітінгу,  $\times 5$

29

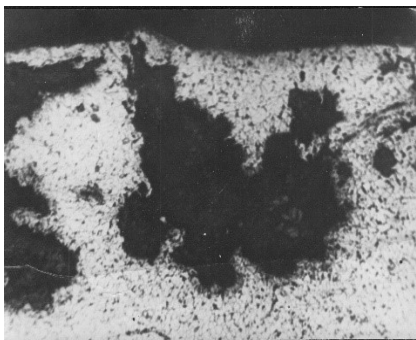


Рис. 10. Підповерхнева корозія контейнера рідкого хлору,  $\times 100$

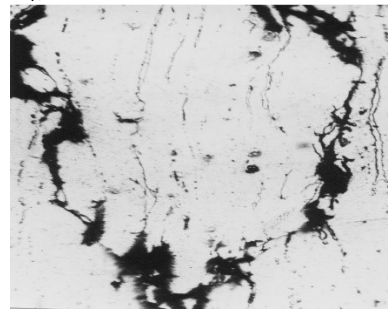
□ підповерхнева – корозія, що починається на окремих ділянках поверхні, розвивається під поверхнею і, як правило, супроводжується розшаруванням або вспучуванням металу внаслідок обмеженого виходу на поверхню продуктів корозії, об'єм яких більше об'єму пошкодженого металу (рис. 10);

□ вибіркова – корозія, що руйнує один із структурних складників чи один з його компонентів. Сюди можна віднести графітування чавуну та знецинкування латуні;

□ структурна – корозія, що залежить від структурної неоднорідності металу і характеризується розчиненням одного з структурних складових металу (наприклад, ферит в аустенітно-феритних сталях) (рис. 11);



а



б

Рис. 11. Структурно-вибіркова корозія по  $\alpha$  – фазі наплавленого металу зварного з'єднання сталі 03X18N14M2 футеровки колони синтеза карбаміду,  $\times 100$

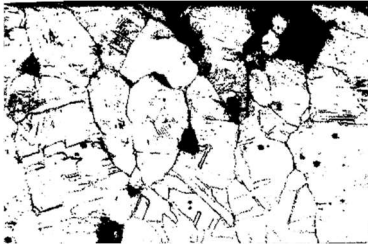


Рис. 12. Міжкристалітна корозія в клапані карбаматного насосу сталь 08X17N12M2T,  $\times 100$

- міжкристалітна корозія супроводжується вибіркоким розчиненням металу по границям зерен (кристалітів) (рис. 12);
- ножова корозія локалізується в області лінії сплавлення зварних з'єднань, що має вигляд надрізу ножем;
- корозія плямами (плямиста) при відносно невеликій глибині і на значних ділянках;
- корозійне розтріскування, що відбувається внаслідок сумісної дії корозивного середовища і внутрішніх або зовнішніх напружень розтягу, при цьому джерелами зародження тріщин найчастіше бувають корозійні пошкодження (рис. 13).

Найбільш частими випадками корозійного розтріскування апаратів і їх вузлів є місця зварних з'єднань, де найбільша структурна неоднорідність металу, зварні дефекти і високий рівень залишкових напружень (рис. 14);



Рис. 13. Корозійне розтріскування наплавленого металу зварного з'єднання біметалу 09Г2С+12Х18Н10Т в розчині 95 г/л  $H_2SO_4$  + 28 г/л  $Cu_2SO_4$  при  $18 \pm 30^\circ C$



Рис. 14. Тріщини на внутрішній поверхні реактору каталітичного окиснення аміаку

- корозійна втома – руйнування металу, спричинене одночасною дією корозивного середовища і змінних механічних навантажень (рис. 15);

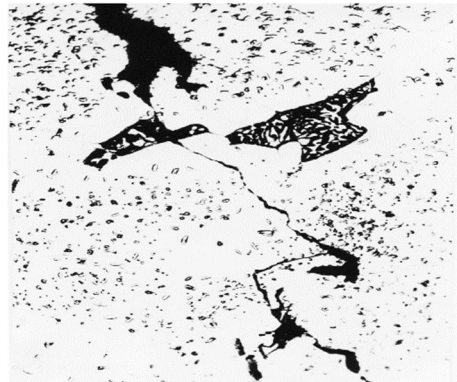
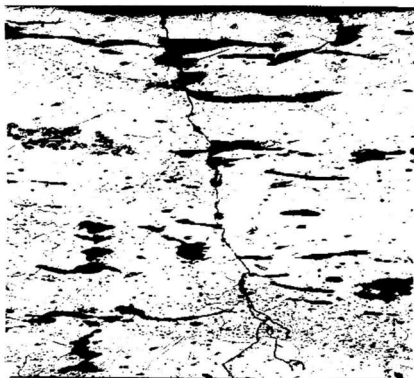


Рис. 15. Розвиток корозійно-втомних тріщин в сталі 10X17H3M3T



Рис. 16. Корозія по ватерлінії в контейнері рідкого хлору,  $\times 2$

□ корозія по ватерлінії, що інтенсивно протікає в області границі рідкої і газової фаз (рис. 16);

□ компонентно-вибіркова корозія, характеризується розчином одного із компонентів сплаву (наприклад, знецинкування латуней);

□ - корозійна крихкість, це властивість металу руйнуватися під дією корозивного середовища без помітного поглинання механічної енергії (рис. 17);

□ ниткаста корозія, що розповсюджується у вигляді ниток, переважно під неметалевими захистними покриттями;

□ пошарова корозія, яка поширюється шарами переважно у напрямку пластичної деформації металу (рис. 18);



Рис. 17. Водне розтріскування труби магістрального газопровіду (а), розтріскування днища вуглекислотного балону системи пожежотушіння газоперекачуючої станції (б),  $\times 2$

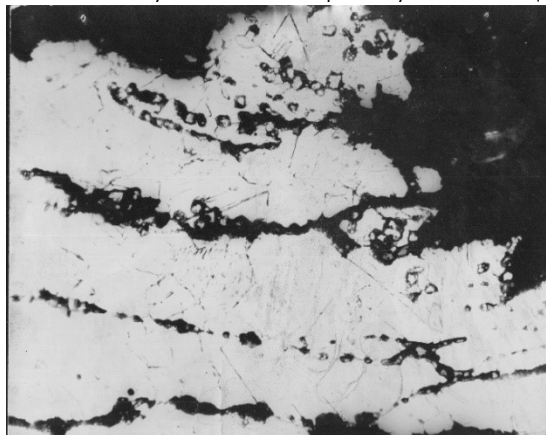


Рис. 18. Пошарова корозія сталі X17Ni13M2T обладнання виробництва циклогексана,  $\times 500$

□ воднева – корозія металу чи сплаву, викликана контактом з воднем за певних умов.

Численними дослідженнями доведено, що за тривалої експлуатації один із видів корозії провокує черговий вид корозії. Наприклад, міжкристалітна корозія або пітінг викликають корозійне розтріскування.

Стійкості матеріалів в лужному (рис. 19). і в кислотному (рис. 20) середовищах представлені на діаграмах.

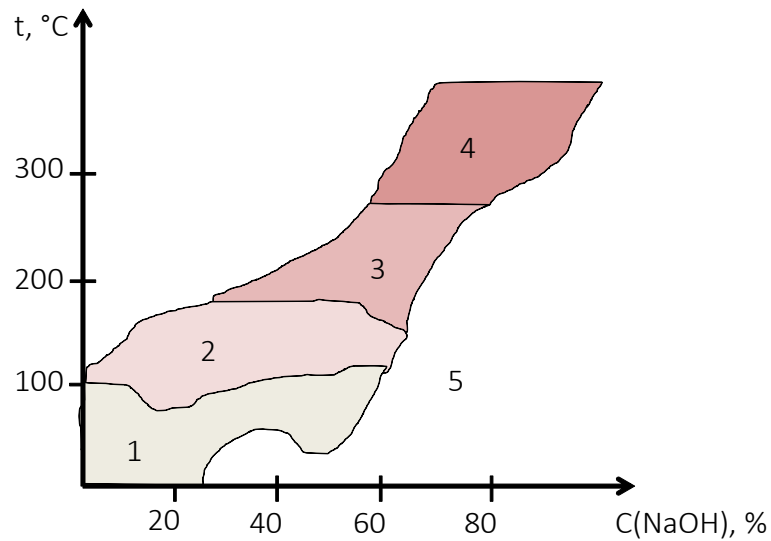


Рис. 19. Діаграма стійкості металів в лужному середовищі. Матеріали: 1 – звичайний чавун, вуглецева ста. H7C фтс фтс; 2 – звичайний чавун, вуглецева ста. H7C фтс фтс; 3 – звичайний чавун, вуглецева ста. H7C фтс фтс; 4 – звичайний чавун, вуглецева ста. H7C фтс фтс; 5 – звичайний чавун, вуглецева ста. H7C фтс фтс

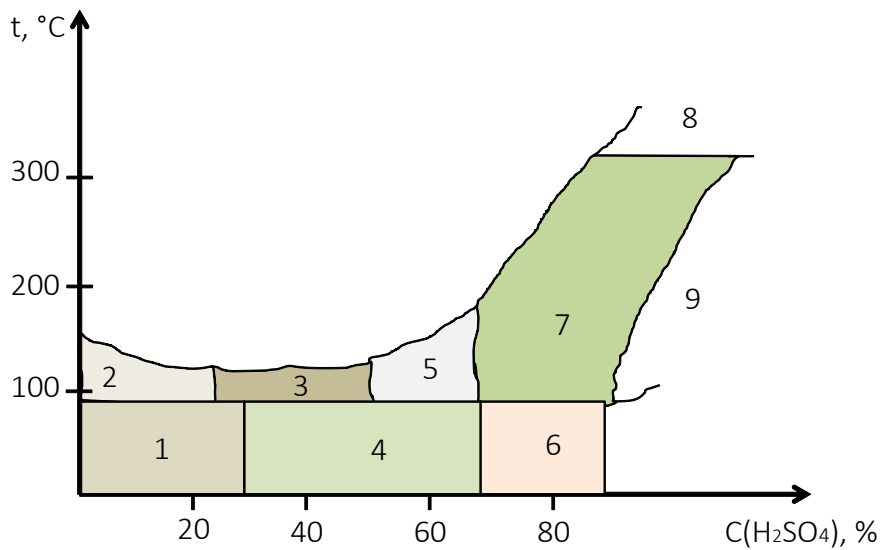


Рис. 20. Діаграма стійкості металів в сульфатній кислоті. Матеріали: 1 – звичайні чавуни (марки Ч), мідь, алюміній, свинець, фторопласт, фероселіт, кераміка, гума, поліетилен і скло; 2 – свинець, мідь, ферокремній, скло, фторопласт; 3 – ферокремній, свинець, фторопласт; 4 – ферокремній, мідь, свинець, кислотостійка кераміка, сталь H26M30Л; 5 – ферокремній, до 80°C свинець, фторопласт до 150°C, кислотостійка кераміка; 6 – кислотостійкі чавуни, вуглецева сталь, скло-фторопласт, кислотостійка кераміка; 7 – тантал, платина, фторопласт до 150°C, скло до 100°C; 8 – тантал, фарфор, діабас; 9 – тантал, сталі: 14X21M5T, O8X21HM2T.

### 1.3.4. Методи захисту металів і сплавів від корозії

Найбільш надійним методом захисту металів і сплавів від корозійної дії середовища є вживання матеріалів, стійких в даних умовах. При виборі матеріалу необхідно враховувати не лише його корозійну стійкість, але і вартість, а також доступність. Леговані сталі з підвищеною корозійною стійкістю в 4-20 разів дорожче вуглецевих. Ще вище вартість таких матеріалів, як титанові сплави, нікель і фторопласт. Використання дуже дорогих матеріалів може привести до різкого збільшення вартості устаткування, а отже, і до росту собівартості продукції. В той же час в багатьох випадках немає необхідності у використанні дорогих і дефіцитних матеріалів; апаратура, трубопроводи можуть бути виготовлені з дешевої вуглецевої сталі і захищені від корозії різними покриттями.

Двошарові сталі. Корозійностійка апаратура може бути виготовлена з двошарового металу: внутрішній шар, дотичний з руйнівним середовищем – з металу або сплаву, стійкого в даному середовищі, а зовнішній, несучий механічне навантаження – з вуглецевих або конструктивних сталей. Використання біметалу дозволяє понизити витрату дорогих легованих сталей і зменшити вартість апаратури.

За ДСТУ 8541:2015 [13] захисний шар виготовляється з різних корозійностійких металів і сплавів, його товщина змінюється в межах 1-20 мм, а спільна товщина складає 4-160 мм. Вартість двошарової сталі приблизно в 1,5-4 рази менша, ніж легованої тієї ж товщини. Особливо великий ефект дає використання біметалу для виготовлення товстостінної апаратури високого тиску.

Захисні покриття. Основний матеріал корпусу, що несе механічне навантаження, може бути захищений від дії агресивного середовища наступними методами: нанесенням плівки або порівняно товстого шару корозійностійкого матеріалу, покриттям поверхні листами хімічно стійкого матеріалу і обкладанням поверхні футеруванням з штучних хімічно стійких виробів (плитка, цегла або блоки) на хімічно стійкому в'язучому. Захисне покриття повинне володіти високою стійкістю до агресивного середовища, непроникністю, стійкістю до механічного і абразивного зносу та до температурних напруг, що виникають із-за різних коефіцієнтів температурного розширення матеріалу корпусу і футерування, а також із-за наявності градієнта температур в покритті.

Плівкові покриття з органічних (лаки, фарби, полімери, бітуми і каучуки) і неорганічних матеріалів використовуються для захисту від парогазового середовища, у тому числі й від атмосферної корозії. Вони наносяться різними способами: багатошаровим забарвленням лаками, фарбами або бітумами з сушкою кожного шару; гумуванням поверхні, що захищається, розчином каучуку з подальшою вулканізацією; газополум'яним або вихровим напиленням порошкоподібних полімерних матеріалів; багатократним напиленням емульсії з полімерних матеріалів з подальшою сушкою і спіканням; нанесенням шихти з порошкоподібного матеріалу з подальшим спіканням в скловидне покриття. Плівкові покриття володіють низькою механічною міцністю (товщина їх 0,1-0,5 мм) і їх не можна використовувати за наявності в реакційній масі абразивних частинок. Недоліком таких покриттів, окрім емалей, є низька дозволена температура середовища.

Посилене захисне покриття виконується з термореактивних пластмас (фаоліт і азбовініл) або з кислотостійких мастик, які при подальшій термообробці або витримці переходять в твердий стан. Товщина покриття складає 10-25 мм. Покриття на основі органічних матеріалів можна застосовувати при температурі середовища до 120°C, а з силікатних матеріалів при 300°C і вище. Такий вид покриття використовують для захисту трубопроводів, арматури, мішалок, газозбірників і кришок апаратів.

Листове покриття виконується з листових полімерних матеріалів, сировини або вулканізованої гуми, які кріпляться до поверхні, що захищається, клеєм або спеціальними болтами. Товщина покриття складає 3-6 мм. Найбільшого поширення набули покриття з резини, які рекомендується використовувати при температурі середовища до 70°C. Даний метод покриття має наступні переваги - можливість вживання готових матеріалів, що випускаються промисловістю, і нескладною технологією виконання захисного покриття. До недоліків його відносяться неможливість захисту деталей складної конфігурації, слабка механічна міцність з'єднання захисного матеріалу з металом.

Футерування апаратури штучними кислототривкими виробами знаходить все більш широке застосування в промисловості, особливо при високій агресивності середовища. Футеровки можуть бути одношаровими і багатшаровими. Товщина футерування може змінюватися від 50 до 500 мм.

Широке поширення футерувань обумовлене високою механічною міцністю, високою робочою температурою (до 400°C) і низькою вартістю.

Катодний захист – полягає в приєднанні металу, що захищається, до негативного полюса джерела зовнішнього поля або до металу, що має більш негативний потенціал.

У катодному захисті поляризуючий струм витрачається на придушення корозійного струму і поляризаційного струму анода, тому сила поляризуючого струму завжди більше струму захисного ефекту. Ось цей струм тим більший, чим більше площа поверхні матеріалу, що захищається, і тим менший, чим менше поляризуємість матеріалу, що захищається. Ефективність катодного захисту визначається величиною захисної дії.

Анодний захист металів від корозії полягає в приєднанні до матеріалу, що захищається позитивного потенціалу від джерела живлення або більше електропозитивного металу. Анодний захист застосовують тільки в тому випадку, коли метали (сплави, сталі тощо) у даному корозійному середовищі здатні пасивуватися.

Захист металів обробкою корозійного середовища включає 2 види:

- видалення з агресивного середовища деяких компонентів, які сприяють корозії. До цих компонентів відносяться:  $O_2$ , CO,  $CO_2$ , сірководень, перекисні сполуки. Від  $O_2$ , CO,  $CO_2$  можна позбавитися шляхом продування інертним газом, найчастіше азотом. Від сірководню шляхом адсорбції або іонним обміном;
- введення в агресивне середовище інгібіторів корозії (сповільнювачі корозії). Їх дія полягає в тому, що вони уповільнюють одну або декілька стадій корозії або зменшують площу поверхні, бувають анодні, катодні, змішані. За складом бувають: органічні (ефективні лише в кислому середовищі та в умовах атмосферної корозії); неорганічні (можна застосовувати для захисту від усіх видів корозії, залежно від середовища).

Анодні сповільнювачі корозії. Це речовини – окиснювачі, які в даному корозійному середовищі здатні пасивувати метали. До них відносять перекисні сполуки та кисень. Вимога: концентрація перекисних сполук повинна бути дуже велика; неможливо використовувати анодні сполуки в середовищах, де присутні  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ .

Безпечні сповільнювачі: хромат та біхромат іони, немає обмежень щодо концентрації та немає обмежень щодо присутнього іону; нітрит іони, до таких сповільнювачів належать речовини: нітрит натрію та нітрит калію, ефективні для захисту сталевих конструкцій від атмосферної та ґрунтової корозії; силікат натрію, застосовується для захисту сталей у нейтральних водних середовищах.

Катодні сповільнювачі корозії. Їхня дія полягає в уповільненні елементарних стадій корозії та зменшенні катодної площі. Гальмування процесу засноване на знекислюванні кисню в умовах кисневої деполяризації; підвищенні перенапруги водню за водневої деполяризації.

Скорочення площі катодної поверхні досягається шляхом осадження первинних та вторинних продуктів корозії у вигляді захисного шару. Наприклад, сполука  $Ca(HCO_3)_2$  у слаболужному середовищі дає  $CaCO_3$  та випадає саме на катодних ділянках. Типи сповільнювачів:  $CaCO_3$  у лужному середовищі; елементарний йод у концентрованих розчинах нітратної кислоти (у пітроліумі); фосфат іони у слабокислих середовищах.

Органічні сповільнювачі. Вони діють у кислих середовищах та в умовах атмосферної корозії. Найчастіше органічні сповільнювачі використовуються в колоїдних розчинах: агар-агар (речовина, яка утворюється у процесі екстрагування з морських водоростей), у слабокислих середовищах ця речовина здатна створювати колоїдний розчин, можна вживати замість желатину; желатин, принцип дії той самий; крохмаль (декстрин); більшість органічних амінів, кетонів; альдегіди (майже всі). Механізм дії органічних сповільнювачів полягає в адсорбції їх катіонів на поверхні металу, що кородує, тим самим зменшується площа, яка піддається корозії, і одночасно підвищує перенапругу водню.

Підвищення температури найчастіше призводить до збільшення швидкості корозії, незважаючи на наявність інгібіторів. Відбувається це через зменшення ступеня адсорбції іонів інгібіторів на поверхні металу, що захищається.

Леткі (газоподібні) сповільнювачі корозії. Використовують у 2 випадках - коли обладнання зберігається або коли обладнання транспортується. До летких сповільнювачів відносять речовини: циклічні та жирні аміни; азот; аргон.

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 1.3 можна ознайомитись за посиланням: [Стоев П. І., Литовченко С. В., Гірка І. О., Грицина В. Т. Хімічна корозія та захист металів стор. 9-28; Бик М. В., Букет О. І., Васильєв Г. С. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування стор. 10-33.](#)



## Приклади

Приклад 1.

Визначити на скільки зменшиться маса реактора з плоским днищем з внутрішнім діаметром 1,5 м та робочою висотою 2 м за 15 років (вважати, що експлуатується в році 330 діб), якщо швидкість корозії становить  $2,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ :

Рішення:

Кількість робочих годин за 15 років:  $15 \cdot 330 \cdot 24 = 118800$  годин;

Поверхня контакту реакційного середовища з матеріалом реактору становить:

$$1. \text{ Поверхня днища } S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,77 \text{ м}^2$$

$$2. \text{ Поверхня обичайки } S_o = P \cdot H = \pi \cdot d \cdot H = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2 = 9,42 \text{ м}^2$$

$$3. S_{\text{пов}} = S_d + S_o = 1,77 + 9,42 = 11,19 \text{ м}^2$$

Відповідь: втрата маси матеріалу реактора  $2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 118800 \cdot 11,19 = 3,32$  г.

Приклад 2.

Визначити швидкість корозії в  $\left[ \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ГОД}} \right]$  внутрішньої поверхні циліндричної обичайки з внутрішнім діаметром 1,3 м та висотою 1,8 м, якщо за 1 рік (330 робочих діб) втрата її маси складала 0,4 кг.

Рішення:

Площа поверхні обичайки становить:  $S = P \cdot h = \pi \cdot d \cdot h = 3,14 \cdot 1,3 \cdot 1,8 = 8,478 \text{ м}^2$

Кількість робочих годин становить:  $1 \cdot 330 \cdot 24 = 7920$  годин

$$\text{Відповідь: швидкість корозії становить } \frac{0,4 \cdot 1000}{8,478 \cdot 7920} = 0,006 \left[ \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ГОД}} \right].$$

Приклад 3.

Визначити середній глибинний показник корозії для матеріалу щільністю  $8900 \text{ кг/м}^3$ , якщо його втрата маси за 1 рік (330 робочих діб) становила 1,5 г з кожного  $1 \text{ м}^2$  поверхні.

Рішення:

Глибинний показник швидкості корозії визначається за формулою:

$$П = 8,76 \cdot \frac{К}{\rho},$$

де К – швидкість сполушної корозії  $\left[ \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ГОД}} \right]$ ;

$\rho$  – щільність матеріалу обичайки,  $\text{кг/дм}^3$ .

$$K = \frac{1,5}{1 \cdot 1 \cdot 330 \cdot 24} = 1,89 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{\text{Г}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}} \right]$$

$$\text{Відповідь } \Pi = 8,76 \cdot \frac{1,89 \cdot 10^{-4}}{8900 \cdot 10^{-3}} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ мм/рік}$$



## Практичне завдання

Задача 1.

Визначити на скільки зменшиться маса реактора с внутрішньою поверхнею  $10 \text{ м}^2$  за 10 років (вважати, що в році 330 робочих діб), якщо швидкість корозії становить  $10^{-6} \frac{\text{Г}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$ .

Задача 2.

Визначити швидкість корозії в  $\left[ \frac{\text{Г}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}} \right]$  внутрішньої поверхні циліндричної обичайки з внутрішнім діаметром 1 м та висотою 1,5 м, якщо за 1 рік (330 робочих днів) втрата її маси склала 0,5 кг.

Задача 3.

Визначити середній глибинний показник корозії для матеріалу щільністю  $8,9 \text{ кг/дм}^3$ , якщо його втрата маси за 1 рік (330 робочих днів) становила 0,2 г з кожного  $1 \text{ м}^2$  поверхні.

Задача 4.

Визначити на скільки зменшиться маса реактора с внутрішньою поверхнею  $5 \text{ м}^2$  за 15 років (вважати, що в році 330 робочих діб), якщо швидкість корозії становить  $2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Г}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$ :

Задача 5.

Визначити швидкість корозії в  $\left[ \frac{\text{Г}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}} \right]$  внутрішньої поверхні циліндричної обичайки з внутрішнім діаметром 1,3 м та висотою 1,8 м, якщо за 1 рік (330 робочих днів) втрата її маси склала 0,2 кг.

Задача 6.

Визначити середній глибинний показник корозії для матеріалу щільністю  $8,9 \text{ кг/дм}^3$ , якщо його втрата маси за 1 рік (330 робочих днів) становила 2,5 г з кожного  $1 \text{ м}^2$  поверхні.



## Питання для самоконтролю

1. Класифікація та вимоги до устаткування.
2. Машина та апарати. Реактори: ідеального змішення та ідеального витіснення.
3. Вимоги до матеріалів для виготовлення технологічного обладнання.
4. Залізовуглецеві сплави – сталь і чавун.
5. Властивості та застосування металів та сплавів.
6. Властивості і застосування неметалічних матеріалів.
7. Металеві та неметалеві захисні покриття.
8. Характеристика та вимоги до теплоізоляційних матеріалів і конструкцій.
9. Корозія і деформаційне старіння сталей.
10. Класифікація видів корозії.
11. Корозійна стійкість металів. Швидкість та глибинний показник корозії.

## 12. Методи захисту металів і сплавів від корозії.

### ! Тест

- По сферах застосування устаткування класифікується на:
  - хімічне, сільськогосподарське, металургійне;
  - універсальне, спеціалізоване, спеціальне
  - машини і апарати.
- Скільки існує видів місцевої корозії:
  - 3;
  - 4;
  - 6.
- У хімічному машинобудуванні за 10-ти бальною шкалою корозійна стійкість конструкційних матеріалів оцінюється як:
  - втрата маси конструкційного матеріалу апарату –  $г/(м^2 \cdot год)$ ;
  - швидкість корозії конструкційного матеріалу – мм/рік;
  - зміна щільності конструкційного матеріалу апарату.
- До основних показників швидкості корозії відносяться:
  - час корозії і глибинний показник швидкості корозії;
  - швидкість корозії і глибинний показник швидкості корозії;
  - швидкість корозії і час корозії.
- За якою з приведених формул визначають швидкість суцільної корозії  $K$  ( $\Delta m$  – втрата маси;  $F$  – поверхня корозії;  $\Delta t$  – час):
  - $K = \Delta m / (F \cdot \Delta t)$ ;
  - $K = F / (\Delta m \cdot \Delta t)$ ;
  - $K = F \cdot \Delta t / (\Delta m)$ .
- Сталі – це
  - сплави заліза й інших металів (інколи неметалів), в яких вміст заліза складає менше 45 %;
  - сплави заліза й інших металів (інколи неметалів), в яких вміст заліза складає більше 45 %;
  - сплави заліза й інших металів (інколи неметалів), в яких вміст заліза складає 45 %.
- Скільки груп включає класифікація машин:
  - 8;
  - 5;
  - 10.
- Скільки конструктивних вимог пред'являється до устаткування:
  - 4;
  - 5;
  - 6.
- Легована сталь містить 0,1% вуглецю, 18% хрому, 10% нікелю і менше 1% титану. Яке з приведених маркувань відповідає даній сталі:
  - 1X18H10T;
  - X1H18T10;
  - 1X18H10T1.
- Скільки існує видів корозії, залежно від механізму її протікання:
  - 4;
  - 3;
  - 2.
- Неметалічні конструкційні матеріали діляться на:
  - природні і синтетичні;
  - напівпровідники і провідники;

- в) корозійностійкі і корозійномалостійкі.
12. По технологічному призначенню апарати діляться на:
- а) гідромеханічні, хімічні і масообмінні;
  - б) гідравлічні, теплообмінні і масообмінні;
  - в) гідромеханічні, теплообмінні і масообмінні.
13. Скільки існує видів електрохімічної корозії:
- а) 8;
  - б) 7;
  - в) 6.
14. У хімічному машинобудуванні для виготовлення апаратів використовують конструкційні матеріали з балом стійкості за 10-ти бальною шкалою:
- а) 8-10;
  - б) 5-7;
  - в) 1-5.
15. Вимоги, що пред'являються до устаткування:
- а) естетичні та універсальні;
  - б) технологічні та конструктивні;
  - в) поверхневі та об'ємні.
16. За характером руйнування корозія ділиться на:
- а) місцеву і суцільну;
  - б) хімічну, електрохімічну і газову;
  - в) морську (сольову), ґрунтову і реакційну.
17. У хімічному машинобудуванні для виготовлення апаратів використовують конструкційні матеріали з балом стійкості за 5-ти бальною шкалою:
- а) 1-3;
  - б) 2-4;
  - в) 2-5.
18. Скільки існує видів суцільної корозії:
- а) 3;
  - б) 4;
  - в) 2.
19. Корозійну стійкість конструкційних матеріалів для виготовлення хімічної апаратури оцінюють за:
- а) 3-х і 5-ти бальною шкалою;
  - б) 5-ти і 10-ти бальною шкалою;
  - в) 4-х і 6-ти бальною шкалою.
20. У хімічному машинобудуванні за 5-ти бальною шкалою корозійна стійкість конструкційних матеріалів оцінюється як:
- а) швидкість корозії конструкційного матеріалу – мм/рік;
  - б) втрата маси конструкційного матеріалу апарату – г/(м<sup>2</sup>\*год);
  - в) зміна щільності конструкційного матеріалу.

## Частина 2. Методи розрахунків габаритних розмірів устаткування

### Тема 2.1. Розрахунок реакційного об'єму апарату



#### Поняття та його визначення

Ступінь перетворення (конверсії) вихідної речовини  $\alpha_A$  – відношення кількості (маси, об'єму) речовини, яка вступає в хімічну взаємодію з іншою речовиною або підлягає іншим хімічним перетворюванням до кількості (маси, об'єму) цієї речовини в потоці, який надходить до реакційного апарату.

Вихід продукту від теоретичного  $\beta_B$  – відношення кількості (маси, об'єму) продукту до кількості (маси, об'єму) похідної речовини (з урахуванням стехіометричних співвідношень), або вихід продукту від теоретичного - відношення його кількості (маси, об'єму) до теоретично можливої кількості (маси, об'єму) у розрахунку на вихідну сировину.

Об'ємна швидкість  $V_{об}$  – об'єм газової суміші (рідини), що проходить через одиницю насипного об'єму каталізатора в одиницю часу.

Продуктивність каталізатора  $N_k$  – маса (об'єм) цільового продукту, одержаного з одиниці об'єму (маси) каталізатора в одиницю часу.



#### Основні теоретичні положення

Всі апарати хімічної промисловості повинні відповідати ряду технологічних і конструктивних вимог, нормам техніки безпеки й промислової санітарії.

Розрахунок реакційного апарату виконують на основі матеріального й теплового балансів.

Ціль розрахунку – визначення числа апаратів і їхніх основних розмірів. Як правило, виконується перевіірочний розрахунок прийнятої конструкції апарату з метою перевірки забезпечення заданої продуктивності – кількості цільового продукту, одержаного в одиницю часу [20, 21].

Ступінь перетворення (конверсії) вихідної речовини – відношення кількості (маси, об'єму) речовини, яка вступає в хімічну взаємодію з іншою речовиною або підлягає іншим хімічним перетворюванням до кількості (маси, об'єму) цієї речовини в потоці, який надходить до реакційного апарату:

$$\alpha_A = N_{\text{пер}}/N_A; \quad \alpha_A = m_{\text{пер}}/m_A; \quad \alpha_A = V_{\text{пер}}/V_A.$$

Вихід продукту від теоретичного – відношення його кількості (маси, об'єму) до кількості (маси, об'єму) похідної речовини (з урахуванням стехіометричних співвідношень), або вихід продукту від теоретичного - відношення його кількості (маси, об'єму) до теоретично можливої кількості (маси, об'єму) у розрахунку на вихідну сировину:

$$\beta_B = N_{\text{факт}}/N_{\text{теор}}; \quad \beta_B = m_{\text{факт}}/m_{\text{теор}}; \quad \beta_B = V_{\text{факт}}/V_{\text{теор}}.$$

Об'єм реакційної зони апарату безперервної дії знаходять за формулою:

$$V_p = V_\tau \tau,$$

де  $V_p$  – об'єм реакційної зони, м<sup>3</sup>;  $V_\tau$  – об'ємна витрата реагентів, м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  – час перебування реагентів в апарату, с.

Час перебування або тривалість взаємодії обчислюють відповідно до законів кінетики хімічних реакцій з урахуванням температури, тиску, концентрації вихідних речовин, активності каталізатора і необхідного ступеня перетворення сировини або виходу готового продукту.

Площа перетину апарата:

$$S = V_\tau / \omega,$$

де  $S$  – площа перетину апарата, м<sup>2</sup>;  $\omega$  – лінійна швидкість потоку в апарату, м/с.

Діаметр апарата циліндричної форми (м):

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{S}.$$

Висота (довжина) реакційної зони апарата (м):

$$H = V_p / S = \omega \cdot \tau.$$

Для апаратів, завантажених каталізатором, об'єм робочої зони дорівнює об'єму каталізатора ( $V_k$ , м<sup>3</sup>), який визначають по об'ємній швидкості газу (рідини) або продуктивності каталізатора.

Об'ємна швидкість – об'єм газової суміші (рідини), що проходить через одиницю насипного об'єму каталізатора в одиницю часу:

$$V_{об} = V_t / V_k.$$

Звідки об'єм каталізатору:

$$V_k = V_t / V_{об}.$$

Продуктивність каталізатора – маса (об'єм) цільового продукту, одержаного з одиниці об'єму (маси) каталізатора в одиницю часу:

$$N_k = N_{прод} / V_k.$$

Звідки:

$$V_k = N_{прод} / N_k.$$

Основне рівняння, за яким розраховується реакційний об'єм апарату:

$$V_p = W \cdot \tau / n,$$

де  $W$  – об'ємна продуктивність з реакційної маси, м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  - час перебування реакційної маси в апараті, с;  $n$  – кількість апаратів, од.

Коефіцієнт заповнення апарату (або ступінь) –  $\phi$ , визначається за формулою:

$$\phi = V_p / V_q,$$

де  $V_q$  – повний об'єм апарату, м<sup>3</sup>.

Для мірників, збірників, будь-якого виду сховищ величина  $\phi$  становить 0,85-0,9; тобто, апарат має бути заповнений або на 85% або на 90%.

Для реакторів розчинників, осадників, кристалізаторів  $\phi$  становить 0,75-0,8

Для апаратів з інтенсивним перемішуванням або піноутворенням  $\phi$  становить 0,4-0,6. Для цих апаратів якщо є піногасники  $\phi$  вибирається довільно.

Коефіцієнт запасу продуктивності  $\phi_{запас}$ . Мета його введення – підвищення надійності роботи апарату. Він залежить від конструктивних характеристик апарату та типу процесу, який у ньому протікає.

Для простих апаратів без рухомих частин величина  $\phi_{запас}$  становить 1-1,05

Для апаратів з будь-якими внутрішніми пристроями, але без рухомих частин (завихрювачі, стаціонарна мішалка, секційні реактори) при тиску близькому до атмосферного і при низьких температурах до 200-300°C  $\phi_{запас}$  становить 1,1-1,15

Для апаратів з частинами, що обертаються і особливо швидко обертаються, працюють за високих тиску і температурі або при вакуумі та при дуже низьких температурах  $\phi_{запас}$  становить 1,15-1,2. Високий тиск це понад 10 атмосфер. Висока температура більше 500°C.

Тоді повний об'єм апарата періодичної дії дорівнює [27, 28]:

$$V_q = V_p \cdot \phi_{запас} / \phi,$$

$$V_q = W \cdot \tau \cdot \phi_{запас} / (\phi \cdot n),$$

де  $\tau$  – загальний час технологічного циклу, годин.

Тема 2.2. Розрахунок штуцерів введення й виведення реагентів

✓ **Поняття та його визначення**

Штуцер - передбачається для здійснення роз'ємного приєднання труб на апараті.



**Основні теоретичні положення**

Приєднання труб до хімічних апаратів буває роз'ємне та нероз'ємне.

У більшості випадків у хімічних апаратах застосовується роз'ємне приєднання труб. Для здійснення роз'ємного приєднання труб на апараті, звичайно, передбачаються штуцера, які бувають фланцевими й різьбовими. Перші користуються переважним поширенням для труб з  $D_v > 10$  мм, другі застосовуються, головним чином, для  $D_v < 10$  мм і в ряді випадків для  $D_v < 32$  мм.

Діаметр штуцерів введення та виведення реагентів визначають за формулою

$$d = 1,13 \sqrt{V/\omega}$$

де  $V$  – об'ємна витрата газу,  $m^3/c$ ;  $\omega$  – лінійна швидкість газу (рідини),  $m/c$ .

Якщо лінійна швидкість середовища невідома, то для розрахунків можна скористатися даними, представленими в таблиці 7.

Таблиця 7

Швидкість руху середовища

Середовище, що перекачується	Рекомендована швидкість, м/с
Рідини	
При русі самопливом:	
- в'язкі	0,1-0,5
- малов'язкі	0,5-1
При перекачуванні насосами:	
- у всмоктувальних трубопроводах	0,8-2
- у нагнітальних трубопроводах	1,5-3
Гази	
При природній тязі	2-4
При невеликому тиску (від вентиляторів)	4-15
При великому тиску (від компресорів)	15-25
Пара	
Перегріті	30-50
Насичені при тиску, Па	
- більше $10^5$	15-25
$(1-0,5) \cdot 10^5$	20-40
$(5-2) \cdot 10^4$	40-60
$(2-0,5) \cdot 10^4$	60-75

У розрахунках необхідно використовувати значення витрати газу (газової суміші) при реальних умовах:

$$V = V_0 \cdot \frac{T_1 \cdot \rho_0}{T_0 \cdot \rho_1}$$

де  $V_0$  – об'ємна витрата газу за нормальних умов (н.у.), м<sup>3</sup>/с;  $T_1$  – температура газу, К;  $T_0$  – температура газу за н.у., К;  $\rho_0$  – щільність газу за н.у., кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_1$  – щільність газу при заданій температурі, кг/м<sup>3</sup>.

Оптимальні швидкості руху реагентів обирають на підставі довідникових та експериментальних даних [22, 23].

Основні розміри фланцевих штуцерів від 20 до 500 мм стандартизовані: для кожного виду штуцера існує зовнішній діаметр патрубка  $D_n$ , умовний діаметр штуцера  $D_y$ , діаметр фланця  $D_f$  і загальна висота штуцера  $l$ , які наведені в таблиці 8.

Таблица 8

Виводи труб зі зварених сталевих апаратів

$P_y$ , МН/м <sup>2</sup>	Вивідна труба, мм			
	$D_y$	$D_n$	$l$	$D_f$ фланців
1,6	20	25	70	40
	25	32	70	40
	32	38	80	50
	40	45	80	50
1,0	50	57	85	70
	70	76	85	80
	80	89	90	100
	100	108	90	125
0,6	150	156	105	200
0,25	200	219	115	250

## Тема 2.3. Розрахунки основних деталей хімічної апаратури на міцність



### Поняття та його визначення

Робочий тиск - надлишковий тиск середовища в апараті, що виникає при нормальному або дозволеному форсованому перебігу технологічного процесу, без урахування короточасного підвищення тиску в апараті (до 10% від робочого).

Розрахунковий тиск - надлишковий тиск середовища в апараті, на який здійснюється розрахунок апарата на міцність і стійкість.

Умовний тиск - максимальний надлишковий тиск середовища в апараті, що дозволений при експлуатації (без урахування гідростатичного тиску від стовпа рідини) при температурі стінок апарата 20°C.

Робоча температура - температуру середовища в апараті при протіканні в ньому нормального або дозволеного форсованого технологічного процесу.

Розрахункова температура стінки й інших внутрішніх деталей апарата при температурі середовища в ньому менше 250°C - максимальна можлива в експлуатації температура середовища.



### Основні теоретичні положення

Робочий, розрахунковий, умовний і пробний тиски [15, 16].

Однією з головних визначальних величин при розрахунку на міцність вузлів і деталей хімічних апаратів, що працюють під надлишковим тиском, є тиск середовища в апараті. Розрізняють: робочий, розрахунковий, умовний і пробний тиски.

Під робочим тиском розуміють надлишковий тиск середовища в апараті, що виникає при нормальному або дозволеному форсованому перебігу технологічного процесу, без урахування короткочасного підвищення тиску в апараті (до 10% від робочого).

Під розрахунковим тиском (внутрішнім  $p$ , зовнішнім  $p_3$ ) розуміють надлишковий тиск середовища в апараті, на який здійснюється розрахунок апарата на міцність і стійкість.

Розрахунковим тиском, як правило, є робочий тиск. Гідростатичним тиском в апараті (при наявності в ньому рідини), якщо величина його до 5% від робочого, зневажають. У протилежному випадку розрахунковий тиск  $p$  у Па для нижньої частини апарата варто визначати за формулою

$$p = p_c + g \cdot \rho_p \cdot H_p \cdot 10^{-6},$$

де  $p_c$  – робочий надлишковий тиск середовища, Па;  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $H_p$  – висота стовпа рідини, м.

Для високих колонних апаратів розрахункові тиски доцільно визначати по зонах, умовно розбивши апарат по висоті на кілька зон.

При підвищенні тиску в апараті під час дії запобіжних пристроїв більш ніж на 10% від робочого розрахунковий тиск приймається рівним 90% від тиску при повному відкритті запобіжного пристрою.

Для апаратів, призначених для переробки або зберігання пожежно-вибухонебезпечних середовищ, розрахункові тиски варто приймати згідно табл. 9.

Таблиця 9

Розрахункові тиски в апаратах, призначених для зберігання й переробки пожежно-вибухонебезпечних середовищ [Па]

Робочий надлишковий тиск середовища $p_c$ або $p_{нс}$	Розрахунковий надлишковий тиск $p_c$ або $p_{нс}$	Тиск (надлишковий) спрацьовування запобіжного клапана $p_k$
Без надлишкового тиску: при ємності апарата <30 м <sup>3</sup> при ємності апарата ≥30 м <sup>3</sup>	0,01 0,005	– –
<0,005	0,06	$p_c + 0,03$
0,05 – 0,07	0,1	$p_c + 0,04$
>0,07 – 0,3	1,2 $p_c$ , але не менш 0,3	$p_c + 0,05$
>0,3 – 6,0	1,2 $p_c$	1,15 $p_c$
>6,0		1,1 $p_c$

Під умовним тиском розуміється максимальний надлишковий тиск середовища в апараті, що дозволений при експлуатації (без урахування гідростатичного тиску від стовпа рідини) при температурі стінок апарата 20°C. Для більш високих температур стінок апарата умовні тиски повинні бути відповідно знижені пропорційно зниженню дозволених напруг при цих температурах для кожної марки металу.

Робоча й розрахункова температури

Досить важливим при розрахунку на міцність вузлів і деталей є визначення їх розрахункової температури. У зв'язку із цим розрізняють робочу й розрахункову температури.

Під робочою температурою варто розуміти температуру середовища в апараті при протіканні в ньому нормального або дозволеного форсованого технологічного процесу.

Розрахункова температура стінки й інших внутрішніх деталей апарата при температурі середовища в ньому менше 250°C приймається рівною максимально можливій в експлуатації температурі середовища.

При обігріванні стінки й інших деталей апарата відкритим полум'ям, гарячими газами з температурою 250°C й вище або відкритими електронагрівниками розрахункова температура цих

деталей приймається рівною температурі середовища, що стикається із зазначеними деталями, збільшеною на 50°C, але не менше 250°C.

При наявності в апараті ізоляції розрахункова температура його стінки й інших деталей приймається рівною температурі поверхні ізоляції, що стикається із цими деталями (визначається теплотехнічним розрахунком), збільшеною на 20°C.

Для апаратів, у яких здійснюється теплообмін, середня розрахункова температура стінок (труб, кожуха, пластин, ребер і т.д.) визначається теплотехнічним розрахунком.

Дозволені напруги

Дозволені напруги у вузлах і деталях при розрахунку їх на міцність і стійкість обираються залежно від стійкісних характеристик конструкційного матеріалу при розрахунковій температурі. Характеристики міцності, у свою чергу, залежать від технології виготовлення (зварювання, лиття, ковка, штампування), термообробки, характеру дії навантажень (статична, динамічна), розмірів деталей (товщини стінок із прокату, лиття, кувань), а також з урахуванням особливостей середовища в апараті й умов експлуатації.

Для вузлів і деталей апаратів з основних конструкційних металевих матеріалів (сталей, кольорових металів та їх сплавів), підданих статичним навантаженням від внутрішнього або зовнішнього надлишкового тиску, і при вакуумі в апараті, а також при дії на них вітрових і сейсмічних навантажень, установлені номінальні (нормативні) – без урахування умов експлуатації апарата – дозволені напруги  $[\sigma^*]$ .

Ці дозволені напруги застосовуються при розрахунку деталей на розтягання, стиск і вигин. При розрахунку на крутіння й зріз номінальні дозволені напруги за інших рівних умов рекомендується приймати з коефіцієнтом 0,6.

Величину номінальної дозволеної напруги залежно від характеристик міцності конструкційного матеріалу при розрахунковій температурі приблизно можна визначити за формулою:

$$[\sigma] = \eta \cdot [\sigma^*].$$

Значення  $\eta$  рекомендується обирати, виходячи з наступних міркувань:

- для вузлів і деталей апаратів, призначених для обробки або зберігання під тиском або без нього вибухо-пожежебезпечних продуктів, а також продуктів високої токсичності - з обігрівом цих вузлів і деталей відкритим полум'ям, топковими газами або відкритими електронагрівачами  $\eta=0,9$ ;
- те ж, але для вузлів і деталей, 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 зберігання під тиском або без нього всіх інших продуктів з обігрівом цих вузлів і деталей відкритим полум'ям, топковими газами або відкритими електронагрівачами  $\eta=0,95$ ;
- у всіх інших випадках  $\eta=1,0$ .

Збільшення до номінальної розрахункової товщини

При розрахунку вузлів, деталей і окремих елементів апаратів на міцність необхідно враховувати хімічний і механічний вплив середовища, що переробляється, на матеріал апарата. Тому до номінальної розрахункової товщини деталі або елемента апарата додається збільшення  $S$ .

Величина сумарного збільшення  $S$  у мм у загальному вигляді визначається за формулою

$$S = S_k + S_e + S_d + S_0,$$

де  $S_k$  – збільшення на корозію або інший вид хімічного впливу середовища на матеріал у мм;  $S_e$  – збільшення на ерозію або інший вид механічного впливу середовища на матеріал у мм;  $S_d$  – додаткове збільшення по технологічним, монтажним та іншим міркуванням у мм;  $S_0$  – збільшення на округлення розміру в мм.

Величина збільшення  $S_k$  залежить від хімічної проникненості середовища в конструкційний матеріал і розрахункового терміну служби апарата. Дані про хімічну проникненість та стійкість основних конструкційних матеріалів у хімічному апаратобудуванні, що рекомендуються для застосування в різних середовищах, наведені в спеціальних довідниках.

Розрахунковий термін служби апарата, якщо це спеціально не обумовлено в технічному завданні, на підставі статистичних даних приймається 10-15 років.

Значення збільшення  $C_k$  залежно від хімічної проникненості середовища, виходячи з розрахункового терміну служби апарата 10 років, рекомендується обирати згідно з наступними даними:

- для стійких матеріалів у заданому середовищі із проникненістю не більше 0,05 мм/рік  $C_k=0$ ;
- для матеріалів із проникненістю більше 0,05 до 0,1 мм/рік, а також для стійких матеріалів у заданому середовищі при відсутності даних про проникненість  $C_k=1$  мм.

Застосування матеріалів, проникненість яких у заданому середовищі більше 0,1 мм/рік, варто уникати.

У випадку застосування захисного покриття, стійкого до заданого середовища (антикорозійний шар біметалу, обкладка металевими й неметалевими матеріалами, нанесення металевого покриття, емалювання, гумування й т.д.)  $C_k=0$ .

При двосторонньому контакті з агресивним середовищем  $C_k$  відповідно збільшується.

Збільшення  $C_e$  на ерозію або інший механічний вплив середовища на деталі в хімічних апаратах здебільшого не враховується. Ураховувати такий вплив рекомендується в тих випадках, коли має місце рух середовища в апараті зі значними швидкостями (для рідких середовищ при  $w \geq 20$  м/сек, для газоподібних середовищ при  $w \geq 100$  м/сек), при наявності в середовищі, що рухається, абразивних твердих частинок, а також при ударній дії середовища на деталь. Величина збільшення у всіх цих випадках береться на підставі експериментальних даних з урахуванням строку служби даної деталі апарата.

Величина додаткового збільшення  $C_d$  залежить від виду деталі, технології її виготовлення й ряду інших міркувань.

Збільшення, що застосовувалося раніше при конструюванні, на мінусовий допуск по товщині листа (для деталей, виконуваних з відповідного прокату) останнім часом при розрахунках здебільшого до уваги не приймається. Це обумовлено тим, що розрахунок здійснюється по дозволеним напругам, що визначаються, виходячи з мінімальних значень механічних характеристик, гарантованих відповідними ДЕРЖСТАНДАРТАми і ТУ.

Крім того, номінальні розрахункові розміри збільшуються різного роду збільшеннями й округляються в більший бік до розмірів, визначених сортаментом.

Розрахунок товщини обичайок [21].

Всі фізико-хімічні процеси, здійснювані в хімічних апаратах, насамперед, вимагають наявності ємності, обмеженої корпусом. Головним складовим елементом корпуса є обичайка – найбільший матеріаломісткий і відповідальний вузол будь-якого хімічного апарата.

При конструюванні циліндричних обичайок, незалежно від матеріалу та технології їхнього виготовлення, варто дотримуватися переважно внутрішніх базових діаметрів згідно табл. 10.

Таблиця 10

Внутрішні базові діаметри  $D_b$  (у мм) циліндричних обичайок (відповідно до ОСТ 24.201.03-90 (Галузевий стандарт) Посудини і апарати сталеві високого тиску. Загальні технічні вимоги; СОУ МПП 71.120-217:2009 (Стандарт міністерства промислової політики України) Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови)

200	250	300	350	400	(450)	500	(550)	600
(650)	700	750	800	850	900	950	1000	1100
1200	(1300)	1400	(1500)	1600	(1700)	1800	(1900)	2000
2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800
4000	4500	5000	5500	6000	6400	7000	8000	9000
10000	11000	12000	14000	16000	18000	20000	–	–

Примітка: наведений ряд діаметрів поширюється на сталеві обичайки, що виготовляються з листів, при цьому для кольорових металів і сплавів дійсні діаметри тільки до 3800 мм; для сталевих обичайок діаметри, в дужках, варто застосовувати тільки для сорочок апаратів, що обігріваються або охолоджуються; наведений ряд діаметрів до 2000 мм рекомендується застосовувати при конструюванні литих і кованих металевих корпусів апаратів, а також корпусів і обичайок – з неметалевих матеріалів.

Форма корпусу, а, отже, і обичайки визначається хіміко-технологічними вимогами, що висуваються до того або іншого типу апарата, а також конструктивними міркуваннями, й може бути циліндрична, коробчата, сферична тощо.

Найбільше поширення в хімічному апаратобудуванні одержали циліндричні обичайки, що відрізняються простотою виготовлення й раціональною витратою матеріалу. Тому при проектуванні апаратів, якщо це не йде в розріз із якимись особливими вимогами, рекомендується застосовувати циліндричні обичайки.

Допускається виготовлення циліндричних обичайок зі сталевих труб з базовими зовнішніми діаметрами, наведеними в табл. 11.

Таблиця 11

Зовнішні базові діаметри  $D_3$  (у мм) циліндричних обичайок зі сталевих труб

159	219	273	325	377	426	480
530	630	720	820	920	1020	–

Співвідношення між висотою  $H$  циліндричного корпусу та його внутрішнім діаметром  $D_b$  для апаратів вертикального виконання і між довжиною  $L$  циліндричного корпусу та його внутрішнім діаметром  $D_b$  для апаратів горизонтального виконання визначаються хіміко-технологічними вимогами й зазвичай бувають наступними:

$$\frac{H}{D_b} \leq 30 \quad \text{і} \quad \frac{L}{D_b} \leq 10$$

Визначення номінальної розрахункової товщини стінки  $S^1$  обичайок, що працюють під внутрішнім тиском, рекомендується робити за формулами, наведеними у таблиці 12, залежно від конструкційного матеріалу, величини відношення заздалегідь відомих визначальних параметрів  $[\sigma]$  і  $p$  з урахуванням коефіцієнта ослаблення обичайки в поздовжньому напрямку  $\varphi$  і від того, який заданий базовий діаметр обичайки (внутрішній  $D_b$  або зовнішній  $D_3$ ).

Таблиця 12

Формули для визначення номінальної розрахункової товщини стінки  $S^1$  циліндричних металевих вальцованих (зварених, паяних, клеїних) і литих обичайок, що працюють під внутрішнім тиском

$\frac{[\sigma]\varphi}{p}$	При базовому $D_b$ , м	При базовому $D_3$ , м
	Номінальна розрахункова товщина стінки $S^1$ , м	
$\geq 5,5$ але $< 25$	для будь-яких матеріалів	
	$S^1 = \frac{D_b p}{2[\sigma]\varphi - p}$	$S^1 = \frac{D_3 p}{2[\sigma]\varphi + h}$
$\geq 25$	для будь-яких матеріалів	
	$S^1 = \frac{D_b p}{2[\sigma]\varphi}$	$S^1 = \frac{D_3 p}{2[\sigma]\varphi}$
$p$ – розрахунковий тиск в апараті, Па $[\sigma]$ – дозволена напруга на розтягання для матеріалу обичайки, Па		

Пропонований однозначний розрахунок залежно від  $\frac{[\sigma]\varphi}{p}$  отриманий на основі відповідного перетворення умови (межі) застосування формули:

$$\frac{S - C_k}{D_b} \leq 0,1$$

Товщина стінки обичайки  $S$  у мм із урахуванням збільшень визначається за формулою:

$$S = S^1 + C$$

При цьому збільшення на округлення товщини  $C$  варто приймати, виходячи з найближчого більшого розміру по відповідному сортаменту на листовий прокат, з якого виготовляється обичайка.

Коефіцієнт  $\phi$  у формулах табл. 7 враховує ослаблення обичайки в поздовжньому напрямку, що може бути за рахунок звареного, паяного або клеяного швів і, крім того, за рахунок наявності неукріплених (або частково укріплених) отворів в обичайці.

Значення коефіцієнта міцності циліндричної стінки при ослабленні її неукріпленими отворами залежать від розташування отворів та їхнього діаметра.

При коридорному та шаховому розташуваннях отворів одного діаметра на рівній відстані один від одного коефіцієнт міцності  $\phi_0$  визначається:

у поздовжньому напрямку за формулою:

$$\phi_0 = \frac{t - d}{t};$$

у поперечному напрямку за формулою:

$$\phi_0 = \frac{t_1 - d}{t_1}$$

де  $d$  – діаметр отвору, м;  $t$  – відстань між отворами, м;  $t_1$  – відстань між центрами отворів, м.

У випадку діаметрів отворів у рядах, що чергуються по величині, у формули для визначення коефіцієнта  $\phi_0$  замість  $d$  приймається середньоарифметичне значення діаметрів, що чергуються.

Товщину стінки гладкої циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском, вибирають більшою із двох розрахованих за формулами:

$$S = 10^{-2} K_2 D + C,$$

$$S = \frac{1,1 p D}{2[\delta]} + C$$

з наступною перевіркою.

Коефіцієнт  $K_2$  визначають за номограмою 1.

Зовнішній дозволений тиск визначають за формулою:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + ([p]_p/[p]_E)^2}}.$$

Дозволений тиск з умови міцності визначають за формулою:

$$p_p = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C_K)}{D + (S - C_K)}$$

Дозволений тиск з умови стійкості в межах пружності визначають за формулою:

$$[p]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} E}{n_y B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[ \frac{100(S - C)}{D} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100(S - C)}{D}},$$

де  $B_1$  – менше із двох, обчислених за формулами

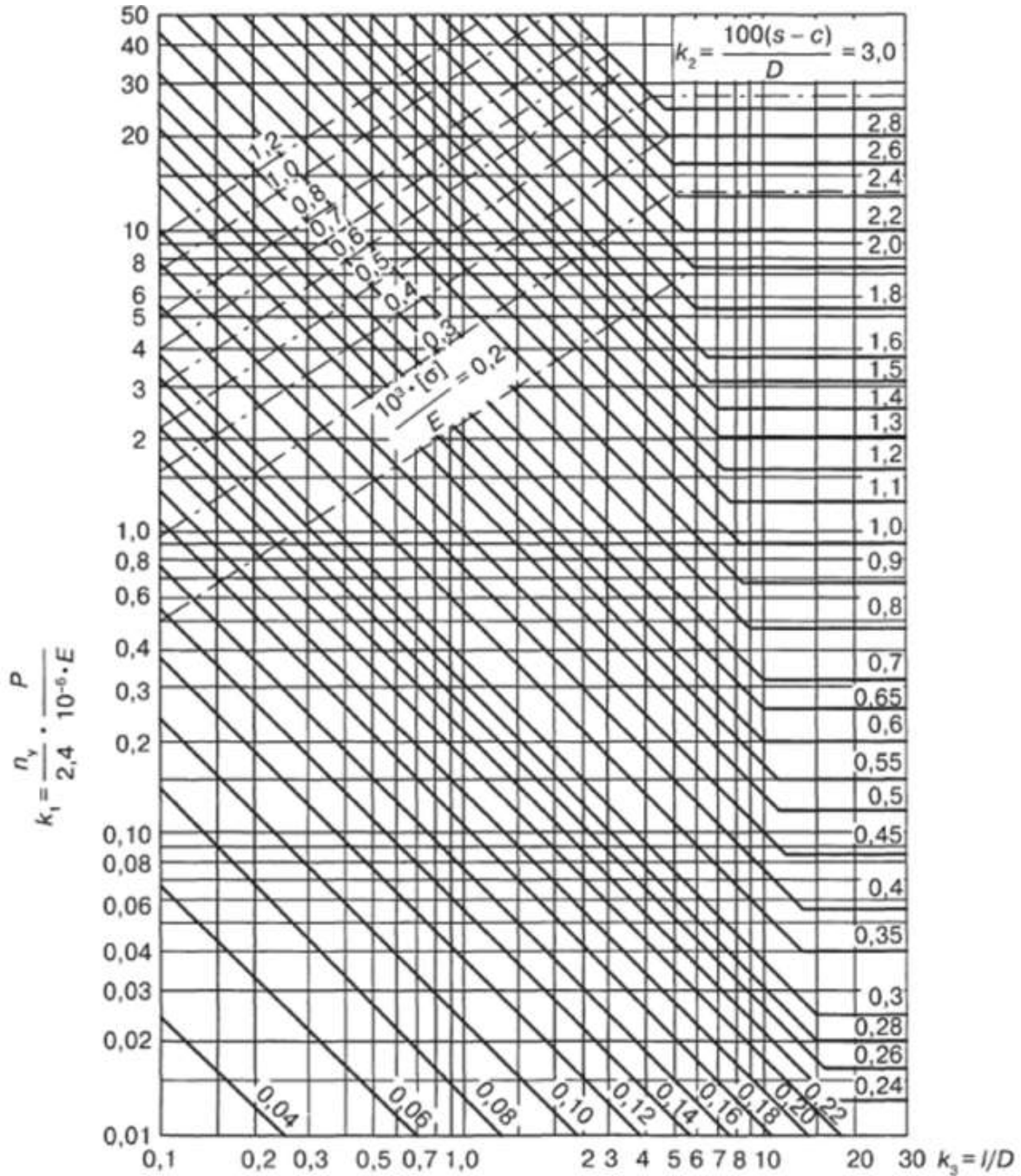
$$B_1 = 1,0$$

$$B_1 = 8,15 \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}}$$

де  $n_y$  – запас стійкості, рівний 2,4;  $D$  – діаметр обичайки, м; у межах припустимої погрішності – для обичайок з базовим внутрішнім діаметром  $D = D_v$ , для обичайок з базовим зовнішнім діаметром  $D = D_3$ ;  $l$  – розрахункова довжина обичайки, м;

$$l = L + l_3,$$

де  $L$  – довжина циліндричної частини обичайки, м;  $l_3$  – довжина, що враховує вплив на стійкість циліндричної обичайки елементів, що примикають до неї.



Номограма 1. Номограма для розрахунку на стійкість у межах пружності циліндричних обичайок, що працюють під зовнішнім тиском

Так, для обичайок, що з'єднуються з опуклими частинами або елементами, наприклад:

- з еліптичними або напівсферичними днищами й кришками

$$l_3 = H/3 ,$$

де  $H$  – висота днища або кришки без відбортовки;

- з конічними днищами без відбортовки

$$l_3 = D/3 \operatorname{tg} \alpha ,$$

де  $\alpha$  – половина кута при вершині конуса.

Гладкі конічні обичайки, що працюють під внутрішнім або зовнішнім тиском, розраховують за тими ж формулами, що й конічні днища.

Розрахунок товщини днища

Однією з раціональних форм днищ у циліндричних апаратах (з точки зору сприйняття тиску) є еліптична. Цим пояснюється широке застосування в хімічному апаратобудуванні штампованих (з листового прокату) еліптичних днищ.

Товщину стінки еліптичного або напівсферичного днища визначають за формулою:

$$S = \frac{pR}{2\varphi[\delta] - 0,5p} + C,$$

де  $R$  – радіус кривизни у вершині днища.

$$R = D^2/4H,$$

де  $H$  – висота днища без обліку циліндричної відбортовки;  $R=D$  – для еліптичних днищ із  $H=0,25D$ ;  $R=0,5D$  – для напівсферичних днищ із  $H=0,5D$ .

Якщо довжина циліндричної відбортовки ( $h_1$ ) у еліптичного днища більше  $0,8[D(S - C)]^{1/2}$ , а у напівсферичного днища більше  $0,3[D(S - C)]^{1/2}$ , то товщина днища повинна бути не менше товщини обичайки, розрахованої при  $\varphi=1$ .

Для днищ, виготовлених із цільної заготовки  $\varphi=1$ , для зварених днищ цей коефіцієнт визначають по таблиці.

Якщо днище ослаблене рядом неукріплених отворів, коефіцієнт міцності визначається за формулою:

$$\varphi_o = \frac{D_b - \sum d}{D_b}$$

Товщину стінки еліптичних і напівсферичних днищ, навантажених зовнішнім тиском, приймають рівною більшому із двох значень, розрахованих за формулами:

$$S = \frac{K_e R}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y p}{10^{-6} E}} + C$$

$$S = \frac{pR}{2[\delta]}$$

де коефіцієнт  $K_e$  можна прийняти рівним 1,0 для напівсферичних днищ і 0,9 – для еліптичних.

Формули можуть бути застосовані для розрахунку еліптичних днищ при дотриманні умов:

$$0,002 \leq (S - C)/D \leq 0,1$$

$$0,2 \leq H/D \leq 0,5$$

Товщину стінок гладких конічних днищ із тороїдальним переходом (відбортовкою), навантажених внутрішнім надлишковим тиском, розраховують за формулою:

$$S = \frac{pD_k}{2\varphi[\sigma] - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + C$$

де  $D_k$  – розрахунковий діаметр конічного днища

$$D_k = 0,8D$$

$D$  – діаметр відбортовки або основи конуса;  $\alpha$  – половина кута при вершині конуса.

Для визначення товщини плоскої кришки використовують вираз:

$$S = kD_{с.п.} \sqrt{\frac{p}{[\delta]}} + C$$

де  $k$  – коефіцієнт конструкції кришки, для попередніх розрахунків приймається рівним 0,41;  $D_{с.п.}$  – середній діаметр прокладки.

Для штампованих днищ збільшення на стоншення товщини стінки на ділянці переходу від циліндричної частини до еліптичної не додається, якщо це стоншення не перевищує зазначеного вище допуску (10% від товщини стінки). У кожному разі товщина стінки днища повинна бути не менша товщини стінки циліндричної обичайки, що з'єднується із днищем [24, 25].

Додатково ознайомитись з матеріалом за темами 2.1-2.3 можна ознайомитись за посиланням: [Михайліченко В. П., Нечипоренко Д. І., Новожилова Т. Б., Себко В. В., Пітак І. В., Пітак О. Я. Розрахунок і конструювання посудиніапаратів хімічної та харчової промисловості стор. 121-132.](#)

## Тема 2.4. Розрахунок оптимального діаметра трубопроводу



### Основні теоретичні положення

Ціль розрахунку – визначення діаметра трубопроводу й втрати тиску в ньому, а при великій довжині трубопроводу – також визначення його продуктивності.

Принцип розрахунку не відрізняється від загальновідомого, проте має деякі специфічні особливості.

Діаметр трубопроводу знаходять із рівняння:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}}$$

де  $V$  – об'ємна витрата потоку, м<sup>3</sup>/сек;  $\omega$  – середня лінійна швидкість руху потоку, що залежить від фізичних властивостей речовин, що рухаються по трубопроводу, м/сек.

Якщо витрата перекачуваного середовища відома, то для розрахунку діаметра трубопроводу необхідно визначити швидкість перекачуваного потоку. Чим більше швидкість, тим менше діаметр трубопроводу, тобто менше вартість трубопроводу, його монтажу й ремонту. Однак зі збільшенням швидкості зростають втрати напору в трубопроводі, що приводить до збільшення перепаду тиску, необхідного для переміщення середовища й, отже, до росту витрат енергії на її переміщення.

Оптимальний діаметр трубопроводу, при якому сумарні витрати на переміщення рідини або газу мінімальні, варто знаходити шляхом техніко-економічних розрахунків.

На практиці можна виходити зі значень швидкостей, що забезпечують близький до оптимального діаметр трубопроводу, представлених у таблиці 13.

Втрати тиску на тертя розраховують за формулою:

Таблиця 13

Значення середньої лінійної швидкості в залежності від виду рухомого потоку

Рухомий потік	Середня лінійна швидкість
В'язкі продукти, такі як високомолекулярні рідкі вуглеводні, багатоатомні спирти, водні емульсії високої концентрації	0,6
Розчини кислот, лугів, солей та вищих вуглеводнів	1
Більшість низькомолекулярних вуглеводнів, спиртів, альдегідів, кетонів, етерів та естерів	1,5
Газоподібні продукти	30-35

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{\rho \omega^2}{2d} L,$$

де  $\rho$  – густина речовини, що рухається по трубопроводу, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – довжина трубопроводу, м;  $\lambda$  – коефіцієнт тертя, що є функцією критерію Рейнольдса  $Re$  і шорсткості труб, що виражають як абсолютну шорсткість  $e$ , тобто як середню висоту виступів на стінках трубопроводу в мм.

Для гладких труб при будь-якому режимі руху  $\lambda$  залежить лише від  $Re$ , що розраховується за загальновідомою формулою:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}$$

Для шорстких труб при ламінарному й турбулентному режимах руху при відносно невисоких значеннях  $Re$   $\lambda$  також не залежить від абсолютної шорсткості.

При  $35(d/e)^{1,14} < Re < 550(d/e)^{1,14}$  значення  $\lambda$  залежить як від критерію Рейнольдса, так і від шорсткості труби.

При вищих значеннях  $Re$  значення  $\lambda$  залежить лише від  $e$  й визначається за формулою:

$$\lambda = 0,111 \left( \frac{e}{d} \right)^{0,25}$$

Розрахунок за цими рівняннями дає досить точне, але набагато завищене (приблизно на 15 %) значення.

Значення  $e$  не піддається розрахунку та не є постійним. Особливо в хімічних виробництвах внаслідок корозії матеріалу трубопроводу або відкладення на стінках смолоподібних і полімерних відкладень і т.п. Середні значення абсолютної шорсткості для трубопроводів хімічних виробництв наведені в таблиці 14.

Таблиця 14

Середні значення абсолютної шорсткості для трубопроводів хімічних виробництв

Матеріал трубопроводу	Характеристика продуктів, що транспортуються трубопроводом	Абсолютна шорсткість, мм
Сталь	Некорозійні гази й пара: вода, повітря, азот, вуглеводні, пари спирту, сухий хлор, регенераційні гази	0,1
	Некорозійні рідини: гаряча й холодна річкова вода, спирти, вуглеводні, розчини лугів	0,3
	Слабокорозійні рідини: артезіанська вода, конденсат, хлор, аміак, галогенпохідні вуглеводнів	0,6
	Сильнокорозійні рідини: оцтовий альдегід і його розчини; рідини, що містять домішки органічних кислот, формалін і т.п.	0,8
Червона мідь, латунь	Некорозійні рідини й гази	0,1
Свинець	Некорозійні рідини й гази	0,5
Чавун і кераміка	Різні некорозійні речовини	1,0

Втрати тиску на проходження місцевого опору визначаються за рівнянням:

$$\Delta p_{\text{м.о.}} = \Sigma \xi \frac{\rho \omega^2}{2},$$

де  $\Sigma \xi$  – сума коефіцієнтів місцевого опору, які знаходять із довідників.

За формулами визначають основні параметри трубопроводів – діаметр і втрату тиску.

Втрата тиску визначається за рівнянням:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.о.}},$$

яка визначає витрати енергії на транспортування речовин і дозволяє підібрати необхідне устаткування (насоси, компресори, вентилятори), наприклад за розрахованим значенням потужності:

$$N_{\text{дв.}} = \frac{V \cdot \Delta p}{1000 \eta},$$

де  $\eta$  – загальний к.к.д. двигуна.

При визначенні оптимального діаметра виходять із того, що завищення діаметра призводить до збільшення вартості самого трубопроводу і його ремонту, і в деяких випадках внаслідок знижених швидкостей, обумовлених таким завищенням, відбувається випадіння твердих осадів і закупорка трубопроводів; з іншого боку, завищення діаметра зменшує витрату енергії на проштовхування рідини або газу по трубопроводу, що розраховується.

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 2.4 можна ознайомитись за посиланням: [Пелевін Л. Є., Міщук Д. О., Рашківський В. П., Горбатюк Є. В., Аржаєв Г. О., Красніков В. Ф. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика стор. 22-30.](#)



## Приклади

Приклад 1.

Визначити об'ємну продуктивність реактора об'ємом  $3 \text{ м}^3$ , якщо необхідний час перебування реакційної суміші – 0,25 години, ступінь заповнення – 80%, коефіцієнт запасу продуктивності – 1,2.

Рішення:

Об'ємну продуктивність реактора визначимо за формулою:

$$W = \frac{V \cdot \alpha}{\tau \cdot \gamma} = \frac{3 \cdot 0,8}{0,25 \cdot 1,2} = 8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Відповідь –  $8 \text{ м}^3/\text{год.}$

Приклад 2.

Визначить кількість реакторів, повним об'ємом по  $1,5 \text{ м}^3$  та ступенем заповнення 80%, що потребуються для забезпечення продуктивності  $20 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$  та часу перебування реакційної суміші в апараті 10 хвилин, якщо коефіцієнт запасу продуктивності – 1,15.

Рішення:

Час перебування реакційної суміші в реакторі становить  $10 \text{ хв} = 10/60 = 0,17 \text{ год}$

Кількість реакторів визначимо за формулою:

$$n = \frac{W \cdot \tau \cdot \gamma}{V \cdot \alpha} = \frac{20 \cdot 0,17 \cdot 1,15}{1,5 \cdot 0,8} = 3,26 \text{ штук. Приймаємо } n = 4 \text{ реактори.}$$

Відповідь – 4 реактори.

Приклад 3.

Визначити масу каталізатора в реакторі, діаметр якого 1,1 м, висота шару каталізатора 200 мм, насипна щільність каталізатора  $600 \text{ кг/м}^3$ .

Рішення:

Визначаємо об'єм каталізатора:

$$V = 0,785 D^2 H = 0,785 \cdot (1,1)^2 \cdot 0,2 = 0,19 \text{ м}^3;$$

Визначаємо масу каталізатора в реакторі

$$m(\text{кат}) = V(\text{кат}) \cdot \rho(\text{кат}) = 0,19 \cdot 600 = 114,0 \text{ кг.}$$

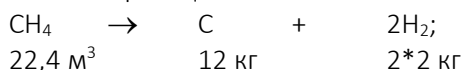
Відповідь – 114,0 кг.

Приклад 4.

Визначити об'єм каталізатора в реакторі піролізу метану до вуглецю продуктивністю 1200 кг/год (за вуглецем), якщо об'ємна швидкість вихідної сировини складає 270 год<sup>-1</sup>, ступінь конверсії метану 80%, а селективність за вуглецем 70%.

Рішення:

Рівняння реакції:



$$\text{Об'ємна витрати метану (теорет.): } V = \frac{N_c \cdot V_m}{M_c} = \frac{1200 \cdot 22,4}{12} = 2240 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'ємна витрата метану з урахуванням ступіню конверсії та селективності:

$$V(\text{CH}_4) = 2240,0 / (0,8 \cdot 0,7) = 4000,0 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{Об'єм каталізатора в реакторі складе: } V_{\text{кат}} = V_{\text{сировини}} / V_{\text{об}} = 4000 / 270 = 14,8 \text{ м}^3.$$

Відповідь – 14,8 м<sup>3</sup>.

Приклад 5.

Визначити максимальну продуктивність 4-секційного апарату з довжиною, шириною та робочою глибиною, відповідно, 35 м, 4 м та 2,5 м кожної секції для забезпечення необхідного часу перебування сировини в ньому 14 годин.

Рішення:

$$\text{Робочий об'єм апарату становить: } V = n \cdot (a \cdot b \cdot h) = 4 \cdot (35 \cdot 4 \cdot 2,5) = 1400 \text{ м}^3.$$

Максимальна продуктивність становить:

$$W = \frac{V}{\tau} = \frac{1400}{14} = 100 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відповідь – 100 м<sup>3</sup>/год.



## Практичне завдання

Задача 1.

Обґрунтувати, чи забезпечить або ні необхідний час перебування 20 хвилин реакційної маси апарат об'ємом 6 м<sup>3</sup> при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,1, об'ємній витраті 0,5 л/сек.

Задача 2.

Визначити який повинен бути реакційний об'єм одного з трьох однакових реакторів, якщо необхідний час перебування реакційної суміші в цих реакторах складає 1,2 години, а об'ємна витрата – 1 л/сек при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,1

Задача 3.

Визначити об'ємну продуктивність реактора об'ємом 6 м<sup>3</sup>, якщо необхідний час перебування реакційної суміші – 0,1 година, ступінь заповнення – 90%, коефіцієнт запасу продуктивності – 1,1.

Задача 4.

Визначить кількість реакторів, повним об'ємом 1 м<sup>3</sup> та ступенем заповнення 80%, що потребуються для забезпечення продуктивності 10 м<sup>3</sup>/год при часі перебування реакційної суміші в апараті 750 секунд, якщо коефіцієнт запасу продуктивності – 1,1

Задача 5.

Визначити масу каталізатора в реакторі, діаметр якого 1,6 м, висота шару каталізатора 80 мм, насипна щільність каталізатора  $620 \text{ кг/м}^3$ .

Задача 6.

Визначити об'єм каталізатора в реакторі піролізу метану до ацетилену продуктивністю 2600 кг/год (за ацетиленом), якщо об'ємна швидкість вихідної сировини складає  $320 \text{ год}^{-1}$ , ступінь конверсії метану 32%, а селективність за ацетиленом 69%.

Задача 7.

Визначити максимальну продуктивність 6-секційного апарату з довжиною, шириною та робочою глибиною, відповідно, 25 м, 4 м та 3 м кожної секції для забезпечення необхідного часу перебування сировини в ньому 12 годин.

Задача 8.

Обґрунтувати, чи забезпечить або ні необхідний час перебування 30 хвилин реакційної маси апарат об'ємом  $6 \text{ м}^3$  при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,2 та об'ємній витраті  $0,8 \text{ л/сек}$ .

Задача 9.

Визначити який повинен бути реакційний об'єм одного з двох однакових реакторів, якщо необхідний час перебування реакційної суміші в цих реакторах складає 1 годину, а об'ємна витрата –  $1,5 \text{ л/сек}$  при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,2

Задача 10.

Визначити об'ємну продуктивність реактора об'ємом  $6 \text{ м}^3$ , якщо необхідний час перебування реакційної суміші – 0,5 годин, ступінь заповнення – 80%, коефіцієнт запасу продуктивності – 1,2.

Задача 11.

Визначить кількість реакторів повним об'ємом  $1,5 \text{ м}^3$  та ступенем заповнення 80%, що потребуються для забезпечення продуктивності  $10 \text{ м}^3/\text{год}$  при часі перебування реакційної суміші в апараті 10 хвилин, якщо коефіцієнт запасу продуктивності – 1,15.

Задача 12.

Визначити масу каталізатора в реакторі, діаметр якого 1,3 м, висота шару каталізатора 120 мм, насипна щільність каталізатора  $580 \text{ кг/м}^3$ .

Задача 13.

Визначити об'єм каталізатора в реакторі піролізу метану до етилену продуктивністю 2800 кг/год (за етиленом), якщо об'ємна швидкість вихідної сировини складає  $280 \text{ год}^{-1}$ , ступінь конверсії метану 70%, а селективність за етиленом 65%.

Задача 14.

Визначити максимальну продуктивність 3-секційного апарату з довжиною, шириною та робочою глибиною, відповідно, 25 м, 4 м та 3,5 м кожної секції для забезпечення необхідного часу перебування сировини в ньому 10 годин

Задача 15.

Обґрунтувати, забезпечить або ні необхідний час перебування 5 хвилин реакційної маси апарат об'ємом  $3 \text{ м}^3$  при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,2 та об'ємній витраті  $1,6 \text{ л/сек}$ .

Задача 16.

Визначити, який повинен бути реакційний об'єм одного з двох однакових реакторів, якщо необхідний час перебування реакційної суміші в цих реакторах складає 1,5 години, а об'ємна витрата –  $1,5 \text{ л/сек}$  при ступені заповнення 80%, коефіцієнті запасу продуктивності 1,2.



## Питання для самоконтролю

1. Вихід продукту від теоретичного, ступінь перетворення вихідної речовини.
2. Об'ємна швидкість та продуктивність каталізатора.
3. Об'єм реакційної зони апарата, площа перетину та діаметр апарату, висота (довжина) реакційної зони.
4. Коефіцієнт запасу продуктивності та заповнення апарату.
5. Приєднання труб до хімічних апаратів.
6. Розрахунок штуцерів введення й виведення реагентів.
7. Робочий, розрахунковий, умовний і пробний тиски.
8. Робоча й розрахункова температури.
9. Дозволені напруги у вузлах і деталях при розрахунку їх на міцність і стійкість, збільшення до номінальних розрахункових товщин.
10. Розрахунок товщини обичайок.
11. Розрахунок товщини днища.
12. Визначення діаметра трубопроводу й втрати тиску в ньому.



## Тест

1. За якою з приведених формул розраховують повний об'єм апарату  $V$  ( $\tau$  – час перебування середовища в апараті для досягнення заданого ступеня перетворення;  $W$  – об'ємна швидкість подачі,  $\varphi$  – ступінь заповнення;  $\alpha$  – коефіцієнт запасу продуктивності;):

а)  $V = \frac{W \cdot \tau \cdot \alpha}{n \cdot \varphi}$ ;

б)  $V = \frac{W \cdot \tau \cdot \varphi}{n \cdot \alpha}$ ;

в)  $V = \frac{n \cdot \varphi}{W \cdot \tau \cdot \alpha}$

2. При розрахунку повного об'єму апарата чисельне значення коефіцієнта заповнення реакційним середовищем 0,85-0,9 вибирається для апаратів:

- а) з інтенсивним перемішуванням або піноутворенням;
  - б) реакторів розчинників, осаджувачів, кристалізаторів та ін.;
  - в) мірників, збірників, різного роду сховищ.
3. Розрахунок апарату обов'язково включає розрахунки:
- а) технологічний, тепловий, гідравлічний, енергетичний і механічний;
  - б) масовий, тепловий, механічний, гідродинамічний і енергетичний;
  - в) масовий, динамічний, тепловий, енергетичний і механічний.
4. По ролі здійснення процесу устаткування класифікується на:
- а) основне і допоміжне;
  - б) періодичної і безперервної дії;
  - в) напівперіодичної і напівбезперервної дії.
5. За умовами роботи устаткування класифікується на:
- а) періодичної, безперервної і напівперіодичної дії;
  - б) хімічне, сільськогосподарське, металургійне;
  - в) для роботи в тяжких і м'яких технологічних умовах.
6. За призначенням і принципом дії устаткування ділиться на:
- а) машини і апарати;
  - б) для роботи в тяжких і м'яких технологічних умовах;
  - в) періодичної, безперервної і напівперіодичної дії.

7. Скільки технологічних вимог пред'являється до устаткування:
- 4;
  - 5;
  - 6.
8. Залежно від величин, що визначають продуктивність, апарати діляться на:
- поверхневі і об'ємні;
  - поверхневі і масові;
  - масові і об'ємні.
9. При розрахунку повного об'єму апарата чисельне значення коефіцієнта запасу продуктивності 1,0-1,05 вибирається для:
- апаратів з внутрішніми устроями, але без рухомих частин, що працюють під тиском близькому до атмосферного і за температур до 300°C;
  - простих апаратів без рухомих частин, що працюють під тиском близькому до атмосферного і за температур до 300°C;
  - апаратів з частинами, що обертаються, що працюють за високих тиску і температурі або під вакуумом і низьких температурах.
10. При орієнтовних розрахунках горизонтальних пісколовок приймають співвідношення ширини (В) і глибини (Н):
- $V:H=1:1$ ;
  - $V:H=1:2$ ;
  - $V:H=1:5$ .
11. Надлишковий тиск середовища в апараті, що виникає при нормальному або дозволеному форсованому перебігу технологічного процесу, без урахування короточасного підвищення тиску в апараті це:
- розрахунковий тиск;
  - робочий тиск;
  - умовний тиск.
12. Максимальний надлишковий тиск середовища в апараті, що дозволений при експлуатації (без урахування гідростатичного тиску від стовпа рідини) при температурі стінок апарата 20°C це:
- розрахунковий тиск;
  - робочий тиск;
  - умовний тиск.
13. Надлишковий тиск середовища в апараті, на який здійснюється розрахунок апарата на міцність і стійкість це:
- розрахунковий тиск;
  - робочий тиск;
  - умовний тиск.
14. Температура середовища в апараті при протіканні в ньому нормального або дозволеного форсованого технологічного процесу це:
- робоча температура;
  - розрахункова температура;
  - умовна температура.
15. Відношення кількості речовини, яка вступає в хімічну взаємодію з іншою речовиною або підлягає іншим хімічним перетворенням до кількості цієї речовини в потоці, який надходить до реакційного апарату це:
- ступінь перетворення (конверсії) вихідної речовини;
  - вихід продукту від теоретичного;
  - продуктивність каталізатора.

16. Відношення кількості продукту до кількості похідної речовини (з урахуванням стехіометричних співвідношень), або відношення кількості продукту до теоретично можливої кількості у розрахунку на вихідну сировину це:

- а) ступінь перетворення (конверсії) вихідної речовини;
- б) вихід продукту від теоретичного;
- в) продуктивність каталізатора.

17. Маса цільового продукту, одержаного з одиниці об'єму (маси) каталізатора в одиницю часу це:

- а) ступінь перетворення (конверсії) вихідної речовини;
- б) вихід продукту від теоретичного;
- в) продуктивність каталізатора.

18. Об'єм газової суміші (рідини), що проходить через одиницю насипного об'єму каталізатора в одиницю часу це:

- а) об'ємна швидкість;
- б) вихід продукту від теоретичного;
- в) продуктивність каталізатора.

19. Більше одиниці при розрахунку повного об'єму апарата періодичної дії має значення:

- а) коефіцієнт заповнення апарату;
- б) коефіцієнт запасу продуктивності;
- в) коефіцієнт теплопровідності.

20. Максимальна можлива в експлуатації температура середовища це:

- а) робоча температура;
- б) розрахункова температура;
- в) умовна температура.

## Частина 3. Конструкція та принцип дії основного технологічного устаткування. Обладнання спільного призначення

### Тема 3.1. Обладнання для переміщення рідин



#### Поняття та його визначення

Насоси - машини, призначені для переміщення рідин.



#### Основні теоретичні положення

Для переміщення рідин служать насоси – поршневі, відцентрові, осьові, ротаційні, струминні.

При підборі будь-якого насоса необхідно знати продуктивність  $Q$ , напір  $H$ , характеристику рідини, що перекачується.

Поршневі насоси рекомендують застосовувати для перекачування невеликих кількостей рідини при високих напорах і для перекачування грузлих, текучих гарячих та холодних рідин.

У поршневому насосі рідина безвідривно іде за поршнем, займаючи об'єм, що звільняється ним. Тому, теоретично без об'єму, який займає поршень, продуктивність поршневого насоса залежить від об'єму, опору та плунжер

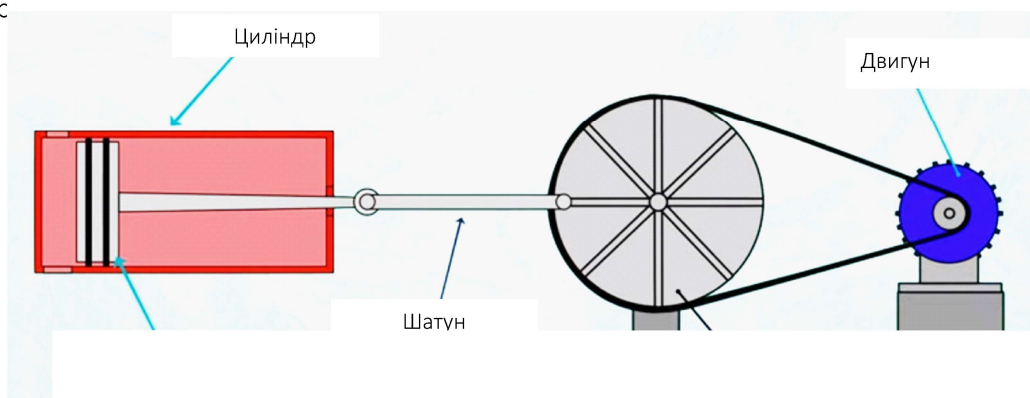


Рис. 21. Поршн



Рис. 22. Плунжерний насос простої дії.

В поршневому насосі простої дії за один оберт колінчастого валу і за два ходи поршню відбувається одна операція всмоктування і одна операція нагнітання. На інтерактивному рис. 23 зображений принцип дії поршневого насосу.

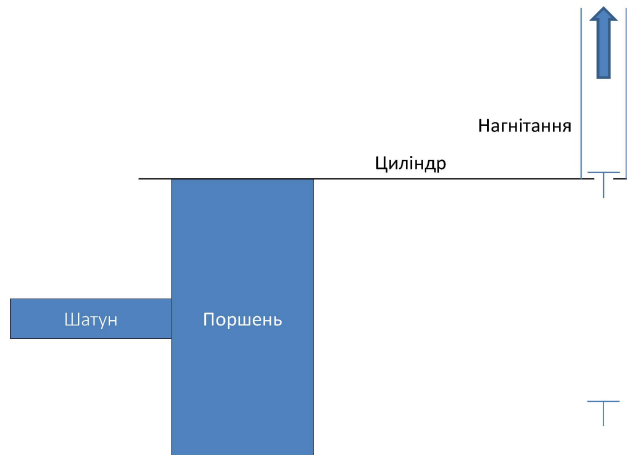


Рис. 2

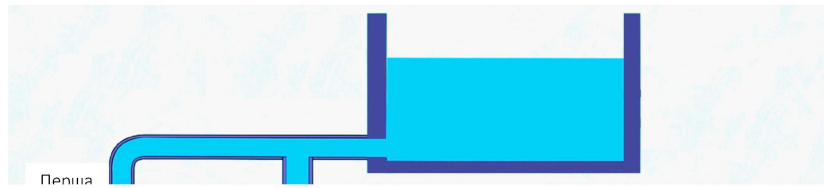


рис. 25.

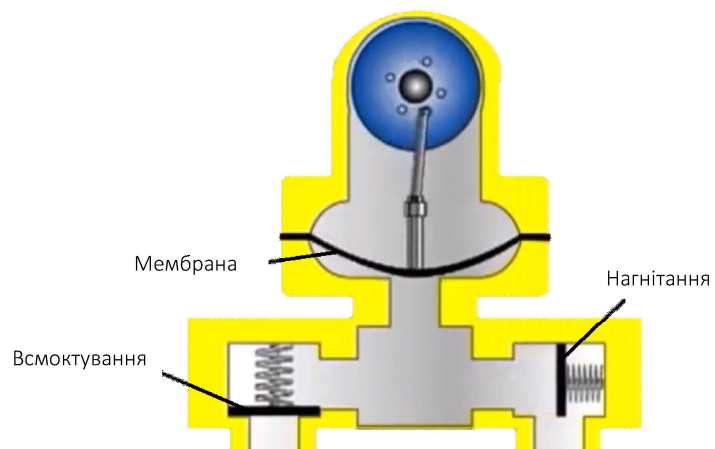


Рис. 25. Мембранний насос.

Використання: поршневі і тим більше плунжерні насоси використовують для створення великих тисків, але спостерігається мала витрата рідини. Всі ці насоси ділять на три класи по напору, що розвивається (по тиску):

- насоси низького тиску (висота нагнітання до 15 м);
- середнього тиску (від 15 до 40м);
- високого тиску (понад 40м).

Порівняльні недоліки:

- плунжерні, на відміну від поршневих, призначені для перекачування тільки освітлених рідин;
- більш примхливі в експлуатації;
- більш складні у виготовленні;
- потрібна вісь, щоб згладити коливання плунжера;
- дають вищий тиск, ніж поршневі.

Загальні недоліки:

- громіздкість;
- складність у виготовленні;
- мала продуктивність;
- велика нерівномірність подачі.

Із принципом дії поршневих насосів можна ознайомитись за наступними посиланнями:

[Поршневий насос односторонньої та двосторонньої дії](#)

[Поршневий насос двосторонньої дії](#)

[Ручний плунжерний насос](#)

[Аксіально-поршневий насос](#)

[Плунжерний насос](#)

Відцентрові насоси (Рис. 26).

Відцентрові насоси класифікують за:

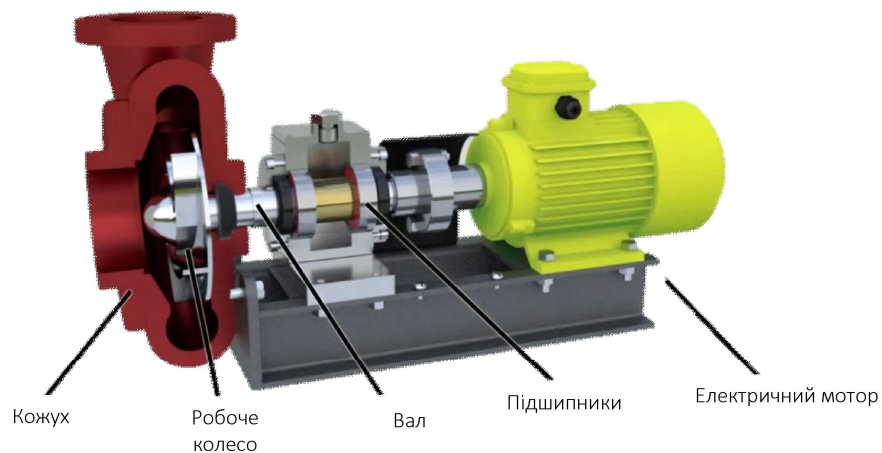


Рис. 26. Відцентровий насос.

Відцентрові насоси поділяються:

- одноступінчасті;
- багатоступінчасті.

Максимальний напір  $\approx 40$  м.

Для того щоб збільшити напір використовують багатоступінчасті відцентрові насоси. Вони складаються з декількох лопатей в одному корпусі, розділеному на секції.

Формула до розрахунку продуктивності

$$Q = K_2 \cdot d_n^2, (\text{м}^3/\text{год})$$

де  $K_2$  – коефіцієнт залежить від діаметра патрубку, якщо діаметр патрубка до 100 мм.,  $K_2 = 1,3-1,5$ , іноді 1,8. Якщо діаметр патрубка більший 100 мм, то  $K_2 = 2,0-2,5$ ;  $d_n^2$  – діаметр нагнітального патрубка.

Для розрахунку напору:

$$H = K_1 \cdot U^2 \cdot D, (\text{м})$$

де  $U$  – швидкість обертання робочого колеса,  $K_1$  – коефіцієнт гасіння напору за рахунок тертя в насосі (розбіжність від 0,4 до 0,7),  $D$  – діаметр.

Універсальна характеристика відцентрових насосів.

Переваги:

- здатність створити велику витрату;
- малі габарити;
- простота конструкції та виготовлення;
- простота обслуговування;
- рівномірне подання рідини.

Недоліки:

- можливі великі витоки рідини через ущільнення.

Із принципом дії відцентрових насосів можна ознайомитись [ТУТ](#), [ТУТ](#) та [ТУТ](#).

Осьові насоси (Рис. 27).

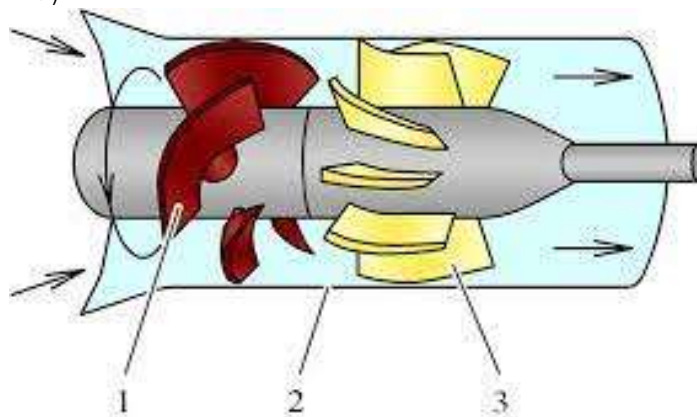


Рис. 27. Осьовий насос: 1 – лопаті; 2 – корпус; 3 – виправляючий апарат.

Переваги:

- дуже компактні;
- швидкохідність;
- простота виготовлення та обслуговування;
- призначені для створення великих витрат.

Недоліки: невеликий натиск.

Із принципом дії осьового насосу можна ознайомитись [ТУТ](#).

Роторні насоси.

Призначені для перекачування в'язких середовищ. Поділяються на:

- шестерінчасті (рис. 28);
- гвинтові (рис. 29).

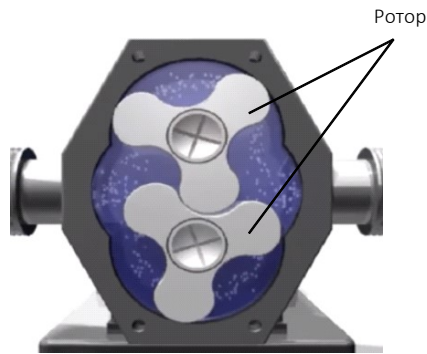


Рис. 28. Роторний насос.

Із  
[Ш](#)  
[Ш](#)  
[ГВ](#)  
[ЛС](#)

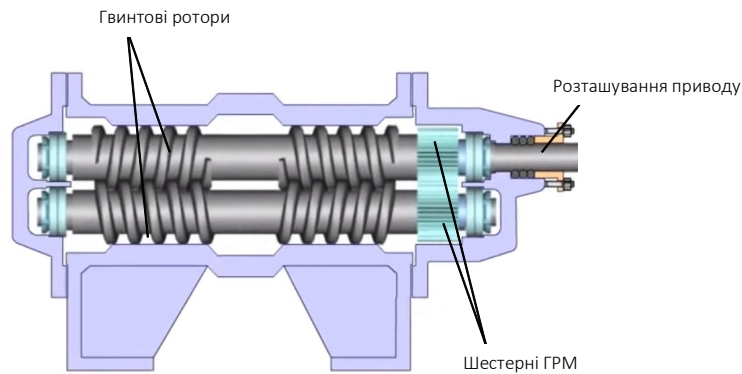


Рис. 29. Гвинтовий насос.

Створюють високий тиск. Тиск на виході із насоса 30 атм. Витрата до 800 м<sup>3</sup>/год.

[Вихрові насоси](#). Створюють великий тиск від 2 до 10 разів більше, ніж відцентрові, і застосовуються для перекачування освітлених і малов'язких рідин.

Основні характеристики насосу.

Основною характеристикою насоса є натиск:

$$H = H_r + ((P_2 - P_1) / \rho \cdot g) + ((v_n - v_b) / 2 \cdot g) + \Delta P,$$

де  $H$  - повний натиск;

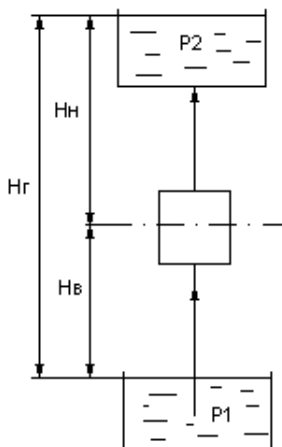
$(P_2 - P_1) / \rho \cdot g$  - втрати напору за рахунок різниці тисків у напірному та всмоктувальному резервуарі;

$((v_n - v_b) / 2 \cdot g)$  - втрати напору, які витрачаються на створення різниці швидкостей в напірному і всмоктувальному патрубку;

$\Delta P$  - натиск, що витрачається на подолання сил місцевих опорів. Залежить від режиму руху рідини, шорсткості труб, діаметра труб.

Корисна потужність насосу.

$$N_n = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H, \text{ (Вт, кінська сила і т.д.)}$$



## Тема 3.2. Машини для стискування та переміщення газу



### Поняття та його визначення

Компресори - машини, призначені для переміщення і стиску газів.



### Основні теоретичні положення

На підприємствах хімічної промисловості підлягають переробці значні кількості газів та їх сумішей. Багато хімічних процесів проводяться в газовій фазі під тиском, відмінним від атмосферного. Підвищення тиску приводить до збільшення швидкості процесів, що протікають, і зменшенню об'єму реакційної апаратури. Стиск газів використовують для переміщення їх по трубопроводах і апаратах, створення вакууму. Стиснені гази застосовують для перемішування, розпилення рідин і т.д. Діапазон тисків, застосовуваних у хімічних виробництвах, коливається в широких межах від  $10^{-9}$  до  $10^2$  МПа ( $10^{-8}$  –  $10^3$  атм).

Машини, призначені для переміщення і стиску газів, називають компресорними.

Відношення кінцевого тиску  $P_2$ , створюваного компресорною машиною, до початкового тиску  $P_1$ , при якому відбувається усмоктування газу, називається ступенем стиску.

Залежно від величини ступеня стиску розрізняють наступні типи компресорних машин:

- вентилятори ( $P_2/P_1 < 1,1$ ) – для переміщення великих кількостей газів;
- газодувки ( $1,1 < P_2/P_1 < 3,0$ ) – для переміщення газів при відносно високому опорі газопровідної мережі;
- компресори ( $P_2/P_1 > 3,0$ ) – для створення високих тисків;
- вакуум-насоси – для відсмоктування газів при тиску нижче атмосферного.

За принципом дії компресорні машини діляться на поршневі, ротаційні, відцентрові та осьові.

У поршневих машинах стиск газу відбувається в результаті зменшення об'єму, у якому знаходиться газ, при зворотно-поступальному русі поршня.

Стиск газу в ротаційних машинах обумовлений зменшенням об'єму, у якому знаходиться газ, при обертанні ексцентрично розташованого ротора.

У відцентрових машинах стиск газу відбувається під дією інерційних сил, що виникають при обертанні робочого колеса.

В осьових машинах газ стискується при русі його уздовж осі робочого колеса і напрямного апарата.

Вентилятори і газодувки великої продуктивності, що створюють розрідження, називаються експаустерами.

Вентилятори використовують для піддуву повітря печі, для створення руху повітря у сушарках, у циклонах. Для створення низького тиску від 6 - 100 мм.вод.ст., середнього тиску від 100-200, високого 200- 1000 мм.вод.ст. Осьовий вентилятор: кут нахилу  $10-30^\circ$ , із принципом дії можна ознайомитись [ТУ1](#). Чим більший кут нахилу, тим більша продуктивність. Залежно від створюваного тиску, коливаються також як і відцентрові. Продуктивність коливається в межах  $1000-1000000$  м<sup>3</sup>/год і залежить від частоти обертання валу, діаметра робочого колеса, ширини лопатей та їхнього кута нахилу до осі. На рис. 30 зображен відцентровий вентилятор та види робочого колеса. Із принципом дії відцентрового вентилятора можна ознайомитись за посиланнями [ТУ1](#), [ТУ1](#) та [ТУ1](#).

Повітродувки та газодувки використовуються переважно для перекачування повітря чи газу через апарати з високим гідравлічним опором. Створюють тиск у 1,5-3 рази більше, ніж вентилятори.

Основна відмінність: найкраще ущільнення валу та робочого колеса в корпусі апарата. Залежно від принципу дії поділяються на турбінні та ротаційні.

Ротаційні за конструкцією подібні до роторного насосу (рис. 28) із принципом дії можна ознайомитись за посиланням [ТУТ](#) або [ТУТ](#). Витрата приблизно на порядок нижча, ніж у вентилятора. Натиск до 180 атм. Продуктивність 50-5000 м<sup>3</sup>/год.



Рис. 30. Відцентровий вентилятор та робоче колесо вентилятора: 1 – вигнуте вперед; 2 – вигнуте назад; 3 – радіальне.

Турбінні вентилятори подібні до відцентрового вентилятора. Швидкість робочого колеса 300 м/с. Залежно від конструкції бувають:

- одноступінчасті (створюють напір 1,3-1,5 кгс/см<sup>2</sup>);
- багатоступінчасті (містять від 3-5 робочих коліс). Принцип збільшення напору, як багатоступінчастого насоса. Продуктивність від 50-100000 м<sup>3</sup>/год.

Компресори. Залежно від конструкції поділяють на кілька видів:

- поршневі;
- ротаційні;
- відцентрові (турбокомпресори).

Поршневі компресори, декілька їх видів, представлені на рис. 31.

Залежно від конструкції ділять на: одноступінчасті та багатоступінчасті.

Одноступінчасті компресори створюють тиск до 10 атм, бувають:

- простої дії;
- подвійної дії.

Багатоступінчасті поршневі компресори за конструкцією ділять на:

- із розташуванням циліндра в один бік;
- із розташуванням циліндра у різні боки;
- кутові.

Поршневі компресори одноступінчасті та багатоступінчасті з розташуванням циліндра в один бік є, як правило, тихохідними. Число обертів 70-300 об/хв. Через сильну неврвноваженість колінчастого валу їх постачають масивними моховиками. Компресори з розташуванням циліндра в різні боки називаються апозитними, а система, за якою вони виготовляються, називається компаут. Сумарне зусилля поршневе 10, 20, 30, 60 тонн. Кутові поршневі компресори вважаються найбільш врівноваженими. Поршневі зусилля до 40 тонн. Кут між осями становить 75-100°. Через сильну нерівномірність подачі газу, поршневі компресори забезпечуються ресиверами. Місткість ресиверу становить приблизно 10-20% від загальної продуктивності компресора.

Із принципом дії компресорів: з кривошипом односторонньої дії; із двома кривошипами; двоступеневим; трьохступеневим можна ознайомитись [ТУТ](#), із дією двоступеневого повітряно-газового компресор подвійної дії [ТУТ](#), спірального компресора [ТУТ](#).

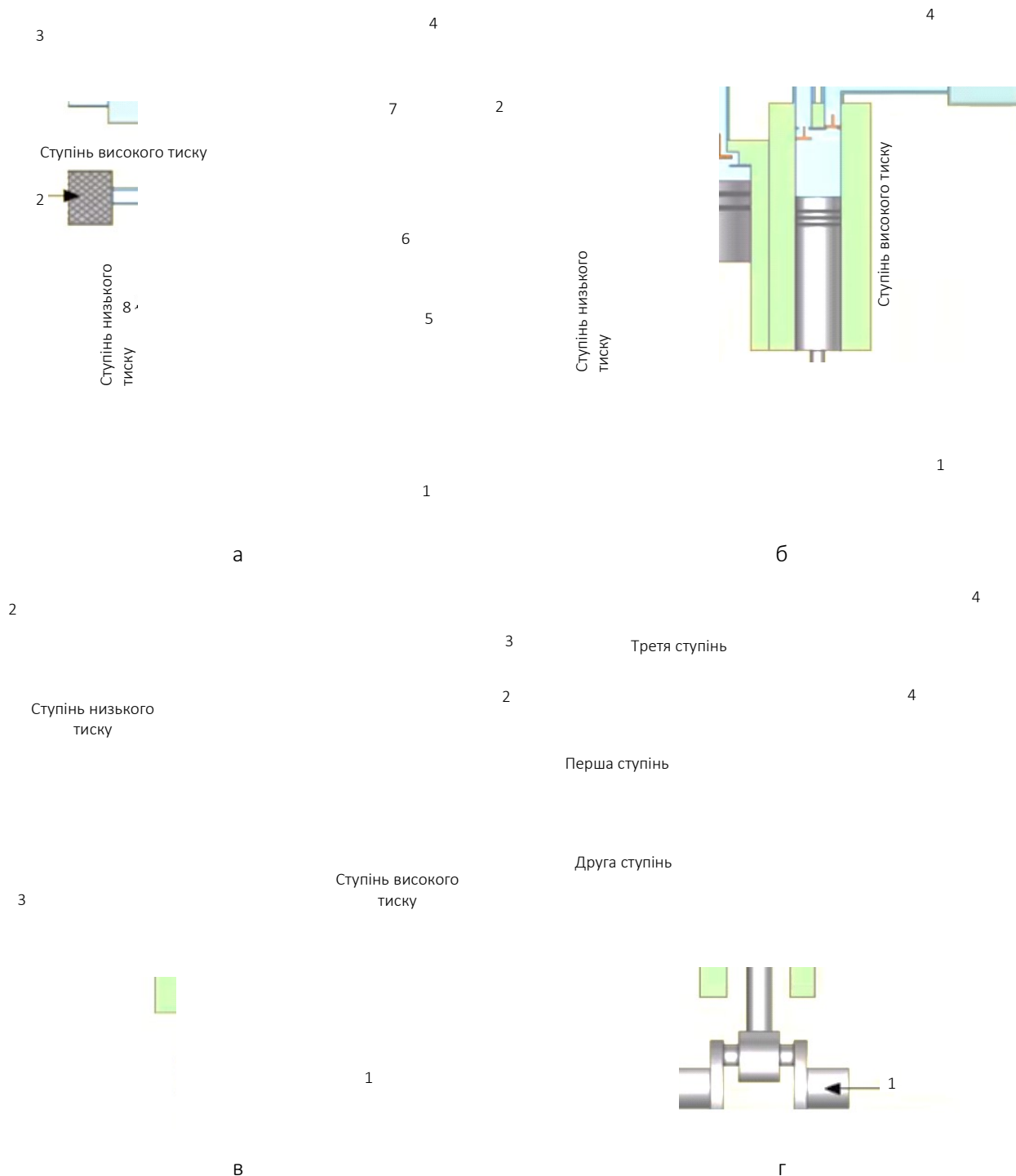


Рис. 31. Компресор: а – із кривошипом односторонньої дії; б – із двома кривошипами; в – двоступеневий; г – трьохступеневий. 1 – колінчастий вал; 2 – повітряний фільтр; 3 – зовнішній охолоджувач; 4 – проміжний охолоджувач; 5 – поршень; 6 – плунжер; 7 – клапан всмоктування; 8 – клапан нагнітання.

Пластинчасті газодувки характеризується безперервним обертанням робочого колеса. Висока рівномірність подачі. Продуктивність 120-4200 м<sup>3</sup>/год. Такі компресори випускаються одноступінчасті та

багатоступінчасті. Одна ступінь здатна дати  $P = 5 \text{ кгс/см}^2$ , дві ступені до  $15 \text{ кгс/см}^2$ . На рис. 32 зображена схема лопатевої газодувки із принципом дії можна ознайомитись [ТУТ](#)

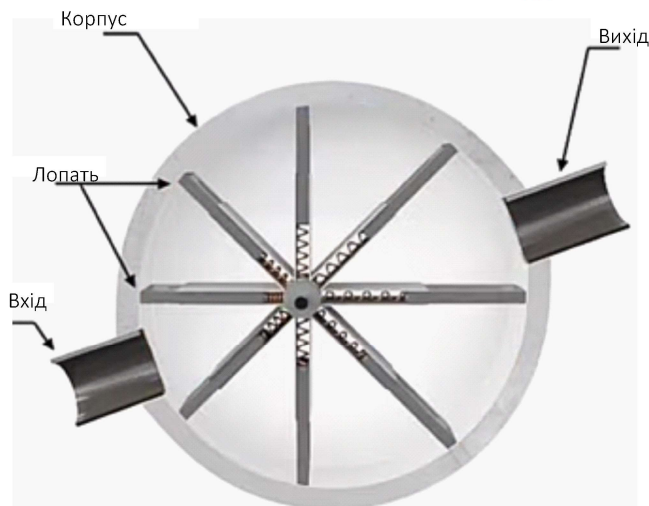


Рис. 32. Лопатева газодувка

Відцентрові компресори по конструкції аналогічні повітродувкам, але на відміну від них мають кілька робочих коліс, посаджених на один вал. Кожен наступний ступінь такого компресора має робоче колесо меншого діаметра, ніж попередній ступінь. Між сходами, як правило, встановлюють холодильник. Продуктивність відцентрових компресорів сягає  $40000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Число робочих коліс до 12.

Перестальтичні насоси характеризуються малою витратою і тиском, характеризується лише з якого матеріалу виготовлений шланг.

У якості вакуум-насосів можуть бути використані будь-які компресорні машини. На рис. 33 зображена схем

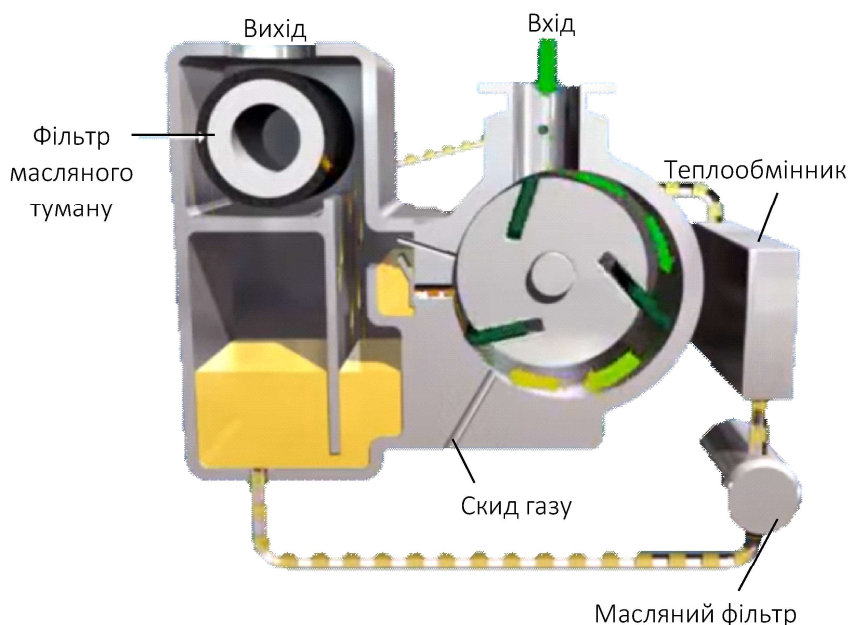


Рис. 33. Роторно-лопатевий вакуумний насос

Основна відмінність вакуум-насосів від компресорних машин інших типів полягає в тому, що всмоктування в них проводиться під тиском значно нижче атмосферного, а нагнітання – під тиском, що трохи перевищує атмосферний.

Тема 3.3. Апарати для очищення газу

✓ **Поняття та його визначення**

Гравітаційний апарат - осадження частинок здійснюється під впливом сил тяжіння.  
 Фільтрація - основна рушійна сила процесу є різниця тисків з різних сторін перегородки, що фільтрує.  
 Мокре пилоловлювання - засновано на контакті запиленого газового потоку з рідиною, осадженні частинок пилу на поверхню рідини (краплин або плівки) і винесенні їх з апарата у вигляді шламу.  
 Осадження частинок пилу на рідину проходить під дією сил інерції та броунівського руху  
 Електрофільтрація - очищення газів від пилу під дією електричних сил.

 **Основні теоретичні положення**

- Очищення газів від пилу.  
 За наявності зважених частинок у газовій фазі всі гази можна розділити на три основних типи:
- пилоповітряна суміш (діаметр завислих частинок 3-50 мкм);
  - дими (діаметр завислих частинок 0,01-1 мкм);
  - туман (це рідинні зважені частинки, діаметр яких приблизно такий же як у перших двох).
- Класифікація апаратів для очищення газів від завислих частинок.
- Гравітаційний апарат: осадження частинок здійснюється під впливом сил тяжіння.
  - Апарати мокрої очистки: відцентрові, пінні, статичні.
  - Фільтри. Залежно від конструкції мають кілька типів: тканинні, пластинчасті, електричні.
  - Апарати електричного очищення: трубчасті, пластинчасті.
  - Гіперочищення чи гіперфільтри (дуже тонке очищення).

Гравітаційне очищення газів

С  
Г

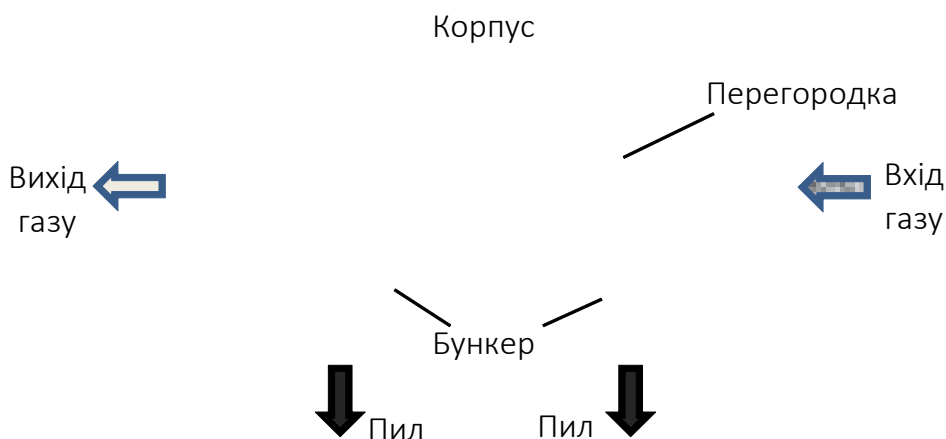


Рис. 34. Гратчаста пилоосаджувальна камера.

Швидкість осадження частинок визначається:

$$V = v(F_t/S_r \cdot \rho_r \cdot \zeta_r)$$

де  $F_t$  – сила тяжкості частинок,  $S_r$  – площа поперечного перерізу частинок,  $r$  - сила опору середовища осадження частинок, залежить від режиму руху газу та від форми частинок,  $\rho_r$  – щільність частинок.

Із принципом дії циклонів, рис. 35, можна ознайомитись [ТУТ](#), батарейний циклон наведений на рис. 36.

У послідовно працюючих циклонах збільшується ступінь очищення. У паралельно працюючих при тій же мірі очищення збільшується пропускна здатність за газом.

Діаметр циклону визначається за формулою:

$$Vr = d_c^2 * (\rho_c - \rho_r) * V_{окр} / (18 * \mu_r * r_c)$$

де  $r_c$  – радіус циклону,  $d_c$  – діаметр частинок,  $V_{окр}$  – окружна швидкість обертання газу у циклоні, залежить від лінійної швидкості газу і діаметра циклону,  $\mu$  – в'язкість, 18 – вказує на те, що режим руху газу в циклоні ламінарний.

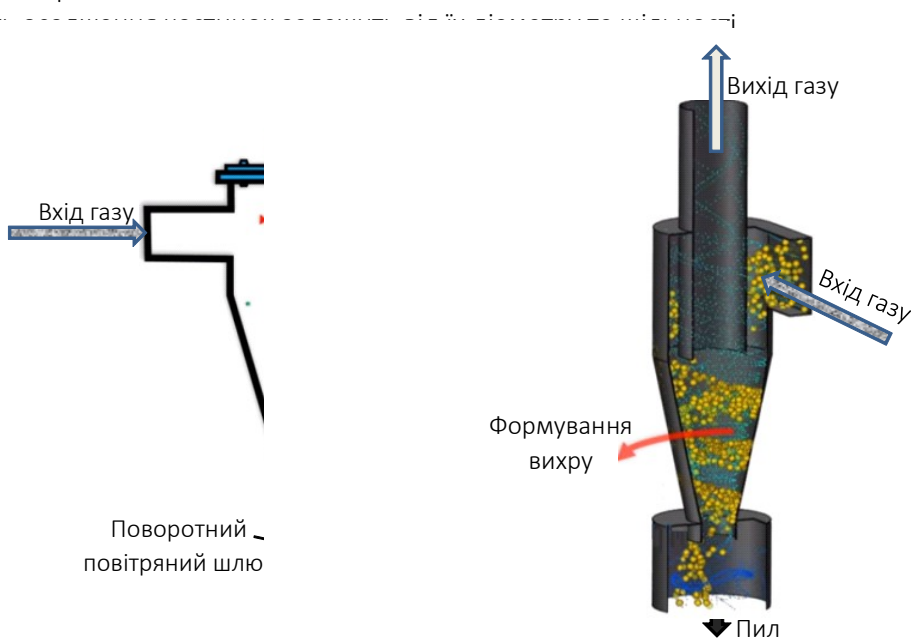


Рис. 35. Циклонний апарат для очищення газів.

Труба  
циклонну

Бункер

Для фільтрації використовують еластичні та жорсткі фільтрувальні.

Найчастіше використовуються еластичні перегородки тканинні, поліпропіленові тощо. З них виготовляють рукавні фільтри, Рис. 37, де рукав – це фільтруючий елемент (перегородка), через яку проходить запилений газ. Якщо діаметр частинок маленький, газ вводиться зверху, якщо великий – знизу.

Основною рушійною силою процесу фільтрації є різниця тисків з різних сторін перегородки, що фільтрує. Ефективність фільтрації визначається діаметром волокон фільтра, відстанню між волокнами та товщиною фільтрувальної перегородки. Розрахунок зводиться до визначення площі фільтрації.

Рис. 36. Батарейний циклон

Із принципом дії тканинного рукавного фільтру можна ознайомитись [ТУ1](#), із дією циклоного рукавного фільтру [ТУ1](#).

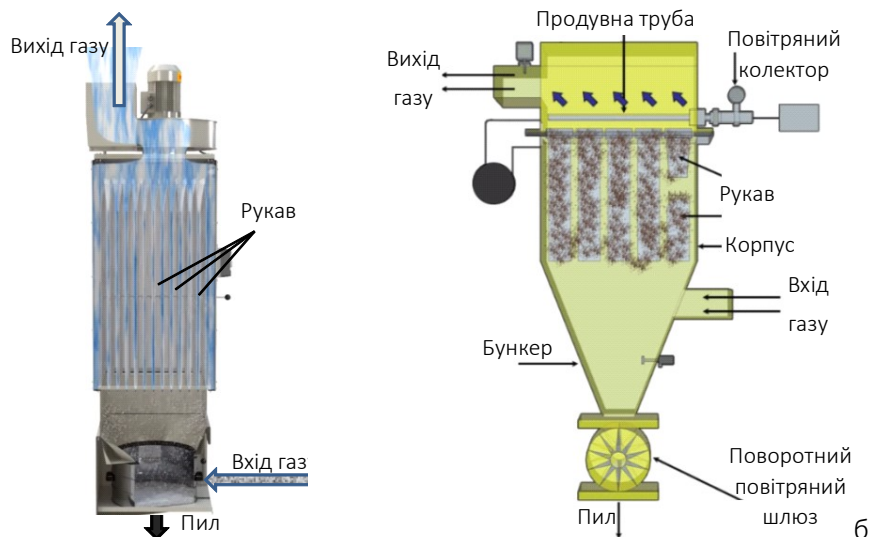


Рис. 37. Руквний фільтр: а – із механічним струшуванням пилу; б – з продуванням.

Очищення газів за участю рідкої фази. Мокре очищення газів застосовується в багатьох хімічних виробництвах. У промисловості використовують різноманітні конструкції газоочисних мокрих апаратів: скрубери (порожні, насадкові, відцентрові), циклони, фільтри (барботажні, пінні, турбулентні або швидкісні), механічні і ударно-інерційні промивачі. На рис. 38 представлені пінні газопромивачі із різними типами тарілок. Ступінь очищення в таких апаратах складає 95-99%. Із принципом дії скрубера можна ознайомитись [ТУТ](#). Конструкція подібна до апаратів представлених на рис. 38, розпорощення рідини відбувається в газовому середовищі, відсутні пилоутворювачі – тарілки. Ступінь очищення в

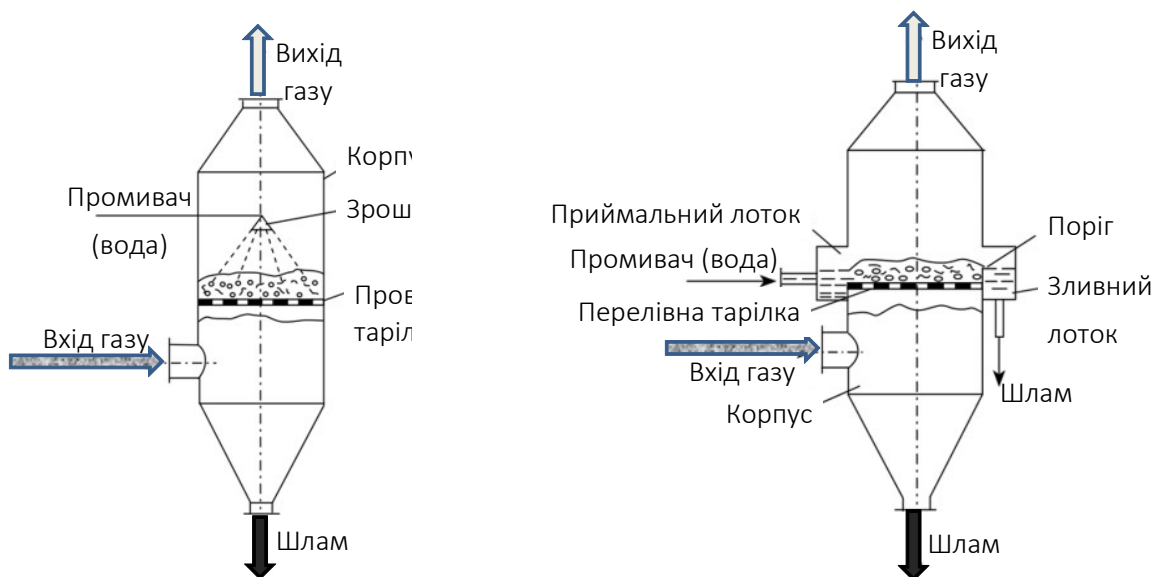


Рис. 38. Пилоловлювач мокрого типу: а – пінний пилоловлювач із провальною тарілкою; б – пінний пилоловлювач із перелівною тарілкою.

Електрофільтрація. Принципова схема електровільтру представлена на рис. 39. Із принципом та дією електростатичного осаджування можна ознайомитись [ТУТ](#).

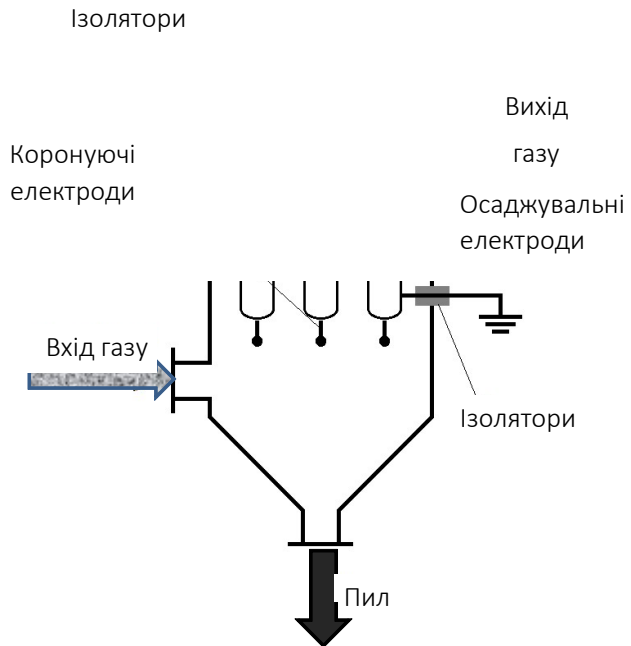


Рис. 39. Електрофільтр

Умовно апарати можна поділити за конструкцією:

- фільтрування у трубах;
- фільтрування на поличках;
- фільтрування на стрижнях.

Якщо частинка заряджається негативно, це фільтрація на стрижнях, якщо позитивно – то на трубах.

Ефективність фільтрації залежить від:

- електростатичних властивостей частинок;
- швидкості руху заряджених частинок;
- довжини ділянки фільтрування та площі поперечного перетину.

Ефективність фільтрування:

$$\alpha = 1 - e^{-w \cdot f}$$

де  $w$  – швидкість руху заряджених частинок на ділянці фільтрування,  $f$  – величина залежить від типу фільтрації.

Для трубчастої фільтрації:

$$f = 2 \cdot l / (z \cdot v)$$

Для пластинчастої фільтрації:

$$f = l / (n \cdot w)$$

де  $l$  – довжина фільтруючої ділянки;  $n$  - число пластин;  $z$  – ефективний діаметр фільтруючої зони;  $v$  – швидкість руху газового потоку;  $w$  – середня швидкість руху газового потоку між пластинами.

Порівняльна характеристика апаратів для очищення газів представлена в таблиці 15.

Таблиця 15

Порівняльна характеристика та вибір типу фільтрації

Апарат	Максимальний вміст пилу в газі, кг/м <sup>3</sup>	Розмір частинок, що відокремлюються, мкм	Ступінь очищення, %	Гідравлічний опір, н/м <sup>2</sup>
Пилоосаджувальна камера	не обмежено	більше 100	не більше 50	близьке до 0
Жалюзійні пиловловлювачі	0,02	2,5	60	500-600
Циклони	0,4	більше 10	від 75 до 90	400-700
Батарейний циклон	0,1	більше 10	85-95	500-800
Рукавні фільтри	0,02	більше 1	95-99	500-2500
Мокрий скрублер	0,05	більше 2	до 95	400-800
Пінні пиловловлювачі	0,3	більше 0,5	практично повне	300-900
Електрофільтри	0,01-0,05	більше 0,005	майже 100	100-200

Тема 3.4. Апарати для для поділу систем рідина-тверде

✓ **Поняття та його визначення**

Відстійник - вибір проводиться з урахуванням швидкості осадження зважених частинок за законом Стокса.

Центрифугування – процес поділу суспензій під впливом відцентрових сил.



**Основні теоретичні положення**

Для поділу систем рідина-тверде використовують відстійники (згущувачі), фільтри і центрифуги.

Відстійники застосовують для виділення домішок (шламів) з води або розчинів, осадження дрібнодисперсних кристалічних солей і згущення суспензій перед фільтрацією. Відстійники (згущувачі) одноярусні випускаються з периферійним приводом діаметром 4-100 м і центральним приводом діаметром 18-100 м. Відстійники діаметром до 30 м виготовляють у вигляді металевого чану, встановлюють у закритих приміщеннях. Апарати більших діаметрів виготовляють із залізобетону.

За принципом роботи відстійники діляться на горизонтальні (рис. 40), радіальні (рис. 41) і вертикальні (рис. 42). У вертикальних відстійниках суспензія вводиться по центральній трубі в нижню частину відстійника і повільно піднімається нагору усередині корпусу відстійника. Осадження зважених частинок відбувається в напрямку, протилежному руху рідини.

У горизонтальних і радіальних відстійниках напрямок руху рідини перпендикулярно руху твердих частинок речовини, що осаджується. У горизонтальних відстійниках рідина рухається уздовж осі циліндричного або коробчастого горизонтально розташованого корпусу; у радіальних відстійниках суспензія надходить по центральній трубі в середину верхньої частини відстійника і рухається до розташованого по периферії зливного жолобу (рис. 40).

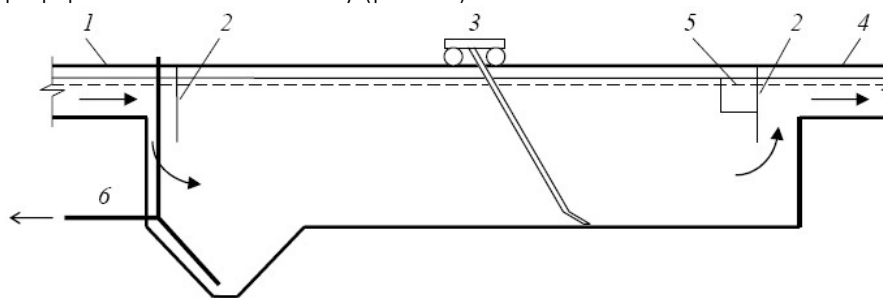


Рис. 40. Горизонтальний відстійник: 1 – підвідний лоток; 2 – напівпогружна перегородка; 3 – скребок; 4 - відвідний лоток; 5 – жирозбірний лоток; 6 – видалення осаду.

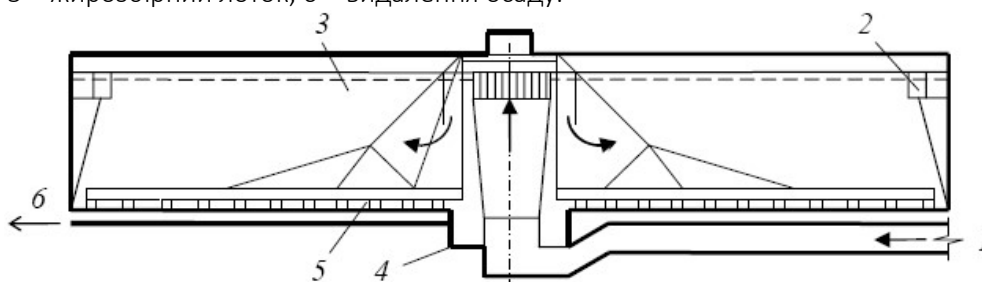


Рис. 41. Радіальний відстійник: 1 – вхід стічної води; 2 – збірний лоток; 3 – відстійна зона; 4 – муловий лоток; 5 – скребок; 6 - видалення осаду.

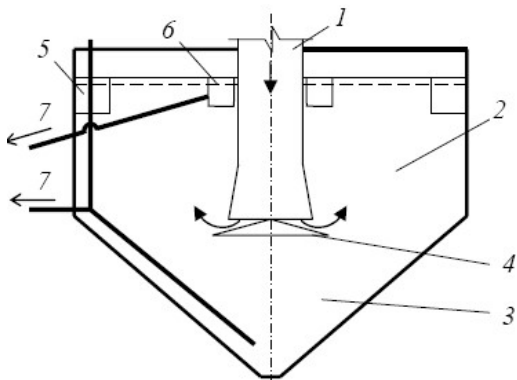


Рис. 42. Вертикальний відстійник із центральним впуском стічної води: 1 – центральна труба; 2 – зона відстоювання; 3 – зона осадження; 4 – відбиваюча частина; 5 – збірний лоток переферійний; 6 – кільцевий лоток; 7 – видалення осаду.

Вибір відстійника проводиться з урахуванням швидкості осадження зважених частинок за законом Стокса. Гранична швидкість падіння ( $V_{гр}$ ) кулястої частинки з радіусом  $r$  у рідині з в'язкістю  $\mu$  визначається з рівняння:

$$V_{гр} = \frac{2r^2 \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_p)}{9\mu}$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння ( $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>);  $\rho_T$  і  $\rho_p$  – густина зваженої речовини і рідини, відповідно, кг/м<sup>3</sup>.

Основне завдання при виборі відстійника – вибір його робочого перетину і часу перебування в ньому рідини.

При виборі вертикальних відстійників припустима швидкість рідини приймається не більш  $0,5V_{гр}$ , зазвичай не більш 0,25 м/с.

Перетин відстійника ( $F$ ) визначається по формулі:

$$F = \frac{2Vc}{0,5 \cdot V_{гр}}$$

де  $Vc$  – секундний об'єм подаємої суспензії, м<sup>3</sup>/с.

Висота відстійника приймається конструктивно, виходячи з необхідності розмістити зливальний жолоб по периметру відстійника і збірник мулу в циліндричній частині. Між зливальним жолобом і верхнім перетином циліндричної частини приймається висота, що виключає можливість попадання мулистих шламів у зливальний жолоб при припустимих коливаннях швидкості потоку суспензії.

При виборі горизонтальних відстійників коробчастої форми визначається добуток довжини ( $l$ ) на ширину ( $b$ ) відстійника:

$$l \cdot b = \frac{2Vc}{V_{гр}}$$

Співвідношення довжини й ширини приймається залежно від типу розподільного пристрою, що забезпечує рівномірність розподілу рідини по ширині відстійника і компонування устаткування.

Для радіальних відстійників:

$$R - R_0 = \sqrt{\frac{Vc}{0,5\pi \cdot V_{гр}}}$$

де  $R$  – радіус відстійника, м;  $R_0$  – радіус центральної труби, м.

Фільтри призначені для поділу рідких суспензій шляхом їхнього фільтрування. Фільтрування є гідродинамічним процесом, швидкість якого прямо пропорційна різниці тисків, створеної по обидва боки фільтрувальної перегородки (рушійна сила процесу  $\Delta P$ ), і обернено пропорційна опорі, який зазнається рідиною при її русі через пори перегородки і шар осаду, що утворився.

Фільтри для рідин відрізняються різноманіттям конструкцій. Існують наступні класифікації фільтрів:

- за способом створення різниці тисків і величині рушійної сили процесу –  $\Delta P$ : гідростатичним тиском шару суспензії, що поділяється ( $\Delta P$  до 5 Па); дією вакуум-насосів ( $\Delta P = 5-9$  Па); дією компресорів ( $\Delta P = 5-30$  Па); дією насосів (30-50 Па);
- за взаємним напрямком дії сили тяжіння і руху фільтрату: протилежні; одно направленні; перпендикулярні.

Промислові фільтри поділяються за режимом роботи на фільтри періодичної і безперервної дії, а за величиною робочого тиску – на вакуум-фільтри і фільтри, що працюють під тиском.

Крім того, при класифікації фільтрів іноді враховують їхні конструктивні особливості: форму і розташування фільтрувальної перегородки, а також зон для розміщення суспензій, осаду та фільтрату; спосіб видалення осаду; наявність або відсутність обладнання для промивання, зневоднювання і сушіння осаду.

При виборі фільтрів необхідно вирішувати наступні завдання: вибір матеріалу фільтруючої перегородки, типу фільтра, визначення поверхні фільтруючої перегородки. Вибір матеріалу засновано на необхідності використовувати фільтруючу перегородку, що володіє корозійною стійкістю в даному середовищі і необхідною фільтруючою здатністю в даній суспензії. Для фільтрування корозійних середовищ використовуються наступні гнучкі матеріали: азбестові тканини, скляне волокно, нітровані бавовняні тканини, тканини із синтетичних матеріалів (полівінілхлоридні, перхлорвінілові, нітронів, поліамідні, лавсанові, поліпропіленові). Для відносно мало корозійних середовищ використовують паперові матеріали, вовняні матеріали (сукно, байку, повсть), бавовняні матеріали (бязь, міткаль) тощо. У якості негнучких фільтруючих перегородок використовують перегородки з пористої кераміки, вугільні, діатомітові, пінопластові тощо.

Центрифугування – це процес поділу суспензій під впливом відцентрових сил. Коефіцієнт поділу (при масі тіла, що обертається, рівній одиниці) обчислюється за формулою:

$$K_n = w^2 \cdot r / g \quad \text{або} \quad K_n = r \cdot n^2 / 900,$$

де  $w$  – кутова швидкість обертання,  $r$  – радіус обертання,  $n$  - число обертів за хвилину.

Основні конструкції центрифуг:

- за конструктивними ознаками: вертикальне та горизонтальне розташування;
- за способом вивантаження: автоматично або вивантаження вручну.

Усі центрифуги за величиною коефіцієнта поділу ( $K_n$ ) ділять:

- нормальна центрифуга -  $K_n < 3500$ ;
- надцентрифуга -  $K_n > 3500$ ;
- ультрацентрифуга -  $K_n \sim 7000$ .

Види центрифуг.

З конічним барабаном застосовується для поділу грубих суспензій, належать до розряду тихохідних центрифуг. Швидкість обертання ротора приблизно 4000 об/хв.

Центрифуги з горизонтальним розташуванням ротора. Ступінь фільтрації більший за попередні. Недолік: встановлюється сітчастий барабан і через це в освітленій рідині буде більше завислих частинок і вологість осаду буде ще більшою.

Шнекова центрифуга. Належить до типу осаджувальних. Тип вивантаження – шнек. Застосовується для поділу суспензій з високим вмістом завислих частинок. Використовується як попередня стадія для подальшого очищення через низький коефіцієнт поділу. Продуктивність велика. Велика витрата енергії для переміщення осаду.

Ультрацентрифуги. Застосовуються у фармацевтичній промисловості. Швидкість обертання валу досягає 45000 об/хв. Характеризуються малим діаметром ротора.

На рис. 43 представлена відстійна центрифуга.

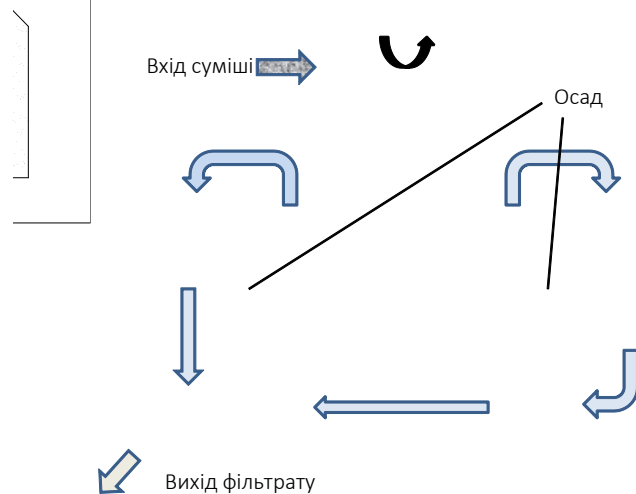


Рис. 43. Відсепарування суміші.

На рис.

можна ознайомитись [ТУТ](#).

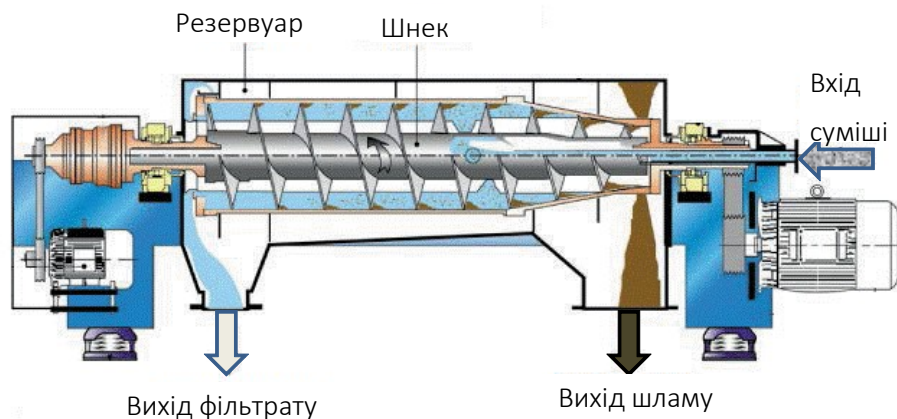


Рис. 44. Декантерна центрифуга

На рис. 45 представлений сепаратор тарілчастого типу, із принципом роботи можна ознайомитись [ТУТ](#) та [ТУТ](#).

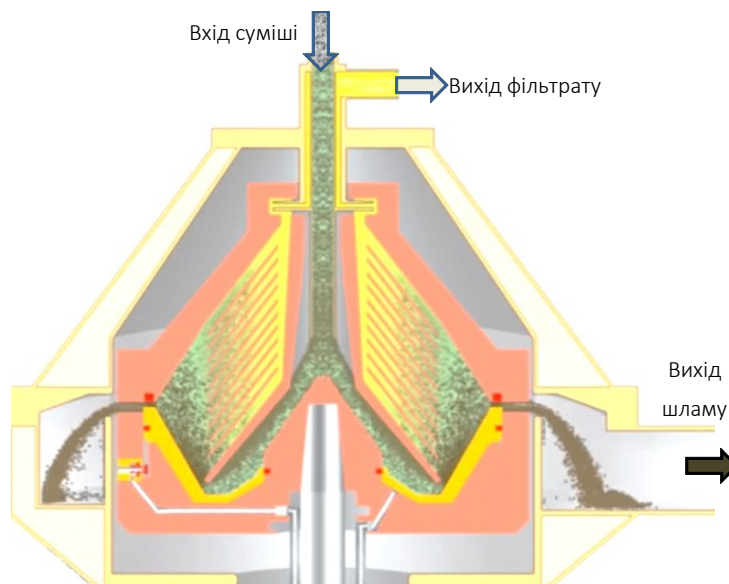


Рис. 45. Центрифугування. Сепаратор тарілчастого типу.



## Приклади

Приклад 1.

Визначити діаметр і висоту апарата безперервної дії, якщо продуктивність за реакційною масою становить 600 м<sup>3</sup>/годину, час реакції 153 с, швидкість течії середовища 0,083 м/с.

Рішення:

Площу перетину апарату безперервної дії знаходять за формулою:

$$S = V_{\tau} / \omega$$

$$S = \frac{600}{3600 \cdot 0,083} = 2 \text{ м}^2$$

Діаметр апарата циліндричної форми знаходять за формулою:

$$D = 1,13 \sqrt{S} \qquad D = 1,13 \sqrt{2} = 1,6 \text{ м}$$

Висота (довжина) реакційної зони апарата (м):  $H = 0,083 \cdot 153 = 12,7 \text{ м}$ .

Приклад 2.

Визначити габарити екстракторів, якщо технологічною схемою передбачається установка 2 паралельно працюючих апаратів. Кількість одержуваної пульпи при екстракції фосфорної кислоти з апатитового концентрату становить 285,6 т/годину; щільність пульпи 1,48 т/м<sup>3</sup>, а час перебування пульпи в екстракторі дорівнює 5 годин.

Рішення:

Необхідний корисний об'єм екстракторів визначаємо за формулою:

$$V = G_n \cdot \tau / \rho = 285,6 \cdot 5 / 1,48 = 965 \text{ м}^3,$$

де  $G_n$  – масовий вихід пульпи, т/год;  $\rho$  – щільність пульпи, т/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – час перебування пульпи в екстракторі, год.

Корисний об'єм кожного екстрактора складе:  $V_{\text{кор}} = 965 / 2 = 482,5 \text{ м}^3$

З урахуванням коефіцієнта заповнення екстрактора  $\phi = 0,8$ , повний об'єм кожного екстрактора складе:  $V_{\text{пов}} = 482,5 / 0,82 = 603 \text{ м}^3$

Приймаємо діаметр апарата 16000 мм, тоді його висота дорівнює:

$$H = V_{\text{пов}} / (0,785 D^2) = 603 / (0,785 \cdot 16^2) = 3,0 \text{ м}.$$

Приклад 3.

Об'єм газу на вході в апарат 0,3 м<sup>3</sup>/с, швидкість подачі газу в перетині штуцера 12 м/с. Визначити діаметр штуцера.

Рішення:

Площа поперечного перерізу штуцера визначається за рівнянням:

$$S = \frac{V}{\omega} = \frac{0,3}{12} = 0,025 \text{ м}^2, \text{ де } V \text{ – об'ємна витрата газу, м}^3/\text{с}; \omega \text{ – лінійна швидкість газу, м/с,}$$

Площа поперечного перерізу штуцера виражається рівнянням:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,025}{3,14}} = 0,178 \text{ м}$$

Обираємо стандартизований штуцер:  $D_y$  – 200 мм;  $D_n$  – 219 мм;  $l$  – 250 мм.

#### Приклад 4.

Визначити товщину стінки звареної циліндричної обичайки вертикального апарата, що працює під внутрішнім тиском, за наступними даними: матеріал обичайки Ст.3.; проникненість матеріалу обичайки в середовищі 0,06 мм/рік ( $C_k=1$  мм,  $C_s=0$ ); середовище – рідина-газ з  $\rho_p=1200$  кг/м<sup>3</sup>; робочий надлишковий тиск середовища  $p_c=1,0$  МПа; температура  $t_c=20^\circ\text{C}$ ; внутрішній діаметр апарата  $D_b=2,0$  м; висота  $H=5,0$  м; обичайка без отворів; поздовжній зварений шов ручний стиковий двосторонній.

Рішення:

Розрахунковий тиск у нижній частині обичайки з урахуванням гідростатичного тиску стовпа рідини визначаємо за формулою

$$p = 1,0 + 9,8 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 1,058 \text{ МПа}$$

Номінальну дозволена напругу для сталі марки Ст.3:  $[\delta^*]=140$  МПа

Дозволена напругу визначаємо за формулою:  $[\delta]=1 \cdot 140=140$  МПа

Визначимо відношення визначальних параметрів  $[\delta]$  і  $p$  з урахуванням міцності звареного шву  $\phi$ :

$$\frac{[\delta]}{p} \phi = \frac{140}{1,058} \cdot 0,95 = 126 > 25$$

Номінальну розрахункову товщину стінки обичайки для даного відношення згідно табл. 2.6 визначаємо за формулою:

$$S^1 = \frac{D_b p}{2[\delta] \phi} = \frac{2,0 \cdot 1,058}{2 \cdot 140 \cdot 0,95} = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,95 \text{ мм}$$

Вибираємо додаткове збільшення на округлення товщини стінки (до найближчого більшого розміру за сортаментом)  $C_0=1,05$  мм.

Загальне збільшення до номінальної розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою

$$C = C_k + C_e + C_d + C_0 = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}$$

Товщину стінки обичайки з урахуванням збільшень визначаємо за формулою

$$S = S^1 + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ мм},$$

Дозволений тиск в обичайці визначаємо за формулою

$$p_p = \frac{2 \cdot [\delta] \phi (S - C_k)}{D + (S - C_k)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,95 (10 - 1)}{2 + (10 - 1)} = 1,19 \text{ МПа}$$

#### Приклад 5.

Визначити товщину стінки верхнього стандартного відбортаного еліптичного днища для обичайки вертикального апарата, розрахованої в прикладі 4, за наступним даними: матеріал днища – сталь марки Ст.3;  $D_b=2,0$  м;  $h_b=0,5$  м; у днищі є центрально розташований неукріплений отвір  $d=0,2$  м; днище зварене із двох частин, зварений шов ручний електродуговий двосторонній.

Рішення:

Визначимо коефіцієнт ослаблення днища отвором за формулою

$$\phi_0 = \frac{D_b - d}{D_b} = \frac{2 - 0,2}{2} = 0,9$$

Оскільки коефіцієнт ослаблення днища отвором  $\phi_0$  менше коефіцієнта звареного шову  $\phi$ , надалі за розрахункове значення коефіцієнта міцності приймаємо  $\phi = \phi_0$ .

Товщину стінки еліптичного днища визначаємо за формулою, у якій  $R=D$ , тому що висота днища дорівнює  $0,5$  м, тобто  $H=0,25D$

$$S = \frac{1 \cdot 2}{2 \cdot 0,9 \cdot 140 - 0,5 \cdot 1} \cdot 1000 = 7,95 \text{ мм}$$

Вибираємо додаткове збільшення на округлення товщини днища (до найближчого більшого розміру за сортаментом)  $C_0=1,05$  мм.

Загальне збільшення до номінальної розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою

$$C = C_k + C_e + C_d + C_0 = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}.$$

Товщину стінки днища з урахуванням збільшень визначаємо за формулою

$$S = S^1 + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ мм},$$

тобто така ж товщина, як і циліндричної обичайки, що з'єднується із днищем.

Перевіримо умову:

$$(S-C_k)/D = (10-1)/2000 = 0,0045$$

$0,002 < 0,0045 < 0,1$ ;  $H/D = 0,5/2 = 0,25$ ;  $0,2 < 0,25 < 0,5$  тобто умова виконана.

Дозволений тиск для днища визначаємо за формулою:

$$p_p = \frac{2 \cdot [\delta] \phi (S-C_k)}{D + (S-C_k)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 (0,01 - 0,001)}{2 + (0,01 - 0,001)} = 1,13 \text{ МПа}$$

Приклад 6.

По трубопроводу подається метан у кількості 1 кг/сек зі швидкістю 40 м/сек. Визначити необхідний діаметр трубопроводу, якщо тиск у каналі  $1,0 \cdot 10^5$  Па, температура  $27^\circ\text{C}$ . Втратами тиску на тертя знехтувати.

Рішення:

При рішенні завдання використовуємо рівняння стану ідеального газу:

$$pV = mRT$$

де  $m$  – масова витрата, кг/з;  $M$  – молекулярна маса газу, кг/кмоль;  $P$  – абсолютний тиск, Па;  $T$  – температура, К;  $R$  – універсальна газова постійна, Дж/(моль · К);  $V$  – об'ємна витрата газу, м<sup>3</sup>/сек

$$V = S \cdot \omega$$

для труб круглого перетину:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \omega \text{ – середня швидкість потоку в розглянутому перетині, м/с,}$$

Отже, діаметр трубопроводу буде дорівнювати:

$$D = \sqrt{\frac{4mRT}{\pi \omega MP}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 8314 \cdot 300}{3,14 \cdot 40 \cdot 16 \cdot 10^5}} = 0,223 \text{ м}$$

Обираємо стандартний трубопровід зовнішнім діаметром 245 мм, товщина стінки 7 мм, матеріал – вуглецева сталь.

Приклад 7.

Підібрати оптимальний діаметр трубопроводу, розрахованого на подачу 20 т/г перегрітої пари з тиском 12 атм і температурою  $220^\circ\text{C}$ .

Рішення:

Внутрішній діаметр трубопроводу круглого перетину може бути розрахований по формулі:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \omega}}$$

де  $V$  – об'ємна витрата середовища, що перекачується, м<sup>3</sup>/сек;  $\omega$  – середня швидкість потоку в розглянутому перетині, м/сек.

Приймаємо лінійну швидкість пари 30 м/с.

Об'ємну витрату пари визначимо з рівняння стану ідеального газу:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

де  $n$  – кількість газу, кмоль;  $P$  – абсолютний тиск, Па;  $T$  – температура, К;  $R$  – універсальна газова постійна, Дж/(моль · К);

$$V = \frac{20000 \cdot 10^3 \cdot 8,31 \cdot 493}{18 \cdot 12 \cdot 10^5 \cdot 3600} = 1,05 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр паропроводу складе:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,05}{3,14 \cdot 30}} = 0,21 \text{ м}$$

Обираємо зовнішній діаметр паропроводу 219 мм, товщина стінки – 6 мм, матеріал – вуглецева сталь.



## Практичне завдання

Задача 1.

Визначити діаметр і висоту апарата безперервної дії, якщо продуктивність за реакційною масою становить  $500 \text{ м}^3/\text{годину}$ , час реакції  $111 \text{ с}$ , швидкість течії середовища  $0,063 \text{ м/с}$ .

Задача 2.

Визначити габарити екстракторів, якщо технологічною схемою передбачається установка 2 паралельно працюючих апаратів. Кількість одержуваної пульпи при екстракції фосфорної кислоти з апатитового концентрату становить  $250 \text{ т/годину}$ ; щільність пульпи  $1,20 \text{ т/м}^3$ , а час перебування пульпи в екстракторі дорівнює  $3,5$  години.

Задача 3.

Об'єм газу на вході в апарат  $0,32 \text{ м}^3/\text{с}$ , швидкість подачі газу в перетині штуцера  $11 \text{ м/с}$ . Визначити діаметр штуцера.

Задача 4.

Визначити товщину стінки звареної циліндричної обичайки вертикального апарата, що працює під внутрішнім тиском, за наступними даними: матеріал обичайки Ст.3.; проникненість матеріалу обичайки в середовищі  $0,055 \text{ мм/рік}$  ( $C_k=1 \text{ мм}$ ,  $C_s=0$ ); середовище – рідина-газ з  $\rho_p=1150 \text{ кг/м}^3$ ; робочий надлишковий тиск середовища  $p_c=1,0 \text{ МПа}$ ; температура  $t_c=20^\circ\text{C}$ ; внутрішній діаметр апарата  $D_v=2,0 \text{ м}$ ; висота  $H=3,0 \text{ м}$ ; обичайка без отворів; поздовжній зварений шов ручний стиковий двосторонній.

Задача 5.

Визначити діаметр і висоту апарата безперервної дії, якщо продуктивність за реакційною масою становить  $550 \text{ м}^3/\text{годину}$ , час реакції  $90 \text{ с}$ , швидкість течії середовища  $0,060 \text{ м/с}$ .

Задача 6.

Визначити товщину стінки верхнього стандартного відбортованого еліптичного днища для обичайки вертикального апарата, за наступним даними: матеріал днища – сталь марки Ст.3;  $D_b=2,0 \text{ м}$ ;  $h_b=0,35 \text{ м}$ ; у днищі є центральне розташований неукріплений отвір  $d=0,15 \text{ м}$ ; днище зварене із двох частин, зварений шов ручний електродуговий двосторонній.

Задача 7.

Визначити діаметр і висоту апарата безперервної дії, якщо продуктивність за реакційною масою становить  $500 \text{ м}^3/\text{годину}$ , час реакції  $125 \text{ с}$ , швидкість течії середовища  $0,055 \text{ м/с}$ .

Задача 8.

По трубопроводу подається метан у кількості  $0,9 \text{ кг/сек}$  зі швидкістю  $35 \text{ м/сек}$ . Визначити необхідний діаметр трубопроводу, якщо тиск у каналі  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , температура  $25^\circ\text{C}$ . Втратами тиску на тертя знехтувати.

Задача 9.

Підібрати оптимальний діаметр трубопроводу, розрахованого на подачу  $15 \text{ т/г}$  перегрітої пари з тиском  $11 \text{ атм}$  і температурою  $200^\circ\text{C}$ .



## Питання для самоконтролю

1. Поршневі та плунжерний насоси, характеристика, недоліки.
2. Характеристика відцентрових насосів, переваги, недоліки.
3. Осьові насоси, переваги, недоліки.
4. Роторні та вихрові насоси. Основні характеристики насосів.
5. Типи компресорних машин.
6. Поршневі компресори, поділ за конструкцією.
7. Класифікація апаратів для очищення газів від завислих частинок.
8. Гравітаційне очищення газів: пилоосаджувальна камера, циклонний апарат.

9. Фільтрувальні апарати, рушійна сила процесу фільтрації. Порівняльна характеристика та вибір типу фільтрації.
10. Очищення газів за участю рідкої фази. Електрофільтрація.
11. Апарати для поділу систем рідина-тверде.
12. Центрифугування, види центрифуг.

## ! Тест

1. Залежно від числа рівнів компресори бувають:
  - а) лише одноступінчаті;
  - б) одноступінчаті і багатоступінчаті;
  - в) лише багатоступінчаті.
2. При витратах стічних вод більше 20000 м<sup>3</sup>/добу для очищення використовують:
  - а) лише горизонтальні і радіальні відстійники;
  - б) лише вертикальні відстійники;
  - в) лише тонкошарові відстійники.
3. Пилоосаджувальні камери призначені для уловлювання твердих частинок з розмірами:
  - а) менше 1 мкм;
  - б) 1-50 мкм;
  - в) більше 50 мкм.
4. Насоси – це
  - а) машини для переміщення рідин;
  - б) машини для переміщення газів;
  - в) машини для нагнітання тиску.
5. Залежно від конструкції і принципу дії промислові вентилятори діляться на:
  - а) відцентрові і осьові;
  - б) відцентрові, осьові і роторні;
  - в) з металевим і неметалевим корпусом.
6. Фільтрація – це процес:
  - а) утворення шару осаду під впливом гравітаційних сил;
  - б) утворення шару осаду на перегородці, що фільтрує, за рахунок перепаду тиску над і під перегородкою, що фільтрує;
  - в) утворення шару осаду за рахунок випару рідкої частини суспензії.
7. Для розміру зважених твердих частинок 15-20 мкм найбільш ефективний пилоочисний апарат є:
  - а) пилоосаджувальна камера;
  - б) циклон;
  - в) жалюзійний пиловловлювач.
8. Гідравлічна висота підйому рідини в насосі:
  - а) дорівнює висоті нагнітання;
  - б) дорівнює сумі висот всмоктування і нагнітання;
  - в) тиску стовпа рідини в напірному трубопроводі.
9. Універсальна характеристика відцентрового вентилятора - це:
  - а) залежність повного ККД від тиску, що розвивається, при різних продуктивності і числах обороту робочого колеса;
  - б) залежність продуктивності від гідравлічної висоти підйому рідини при різних ККД і щільності перекачуваної рідини;
  - в) залежність натиску, що розвивається, від продуктивності при різних ККД і числах звороту робочого колеса.

10. Фільтри для розділення рідких неоднорідних систем за принципом дії діляться на:
- а) періодичні і безперервні;
  - б) нутч- фільтри і друк- фільтри;
  - в) стрічкові, барабанні, дискові, рамні, каркасно-засипні.
11. За принципом роботи скрубери форсунок відносяться до групи апаратів мокрого очищення:
- а) порожнисті і насадочні;
  - б) барботажні і пінні;
  - в) динамічні газопромивачі.
12. До основних технічних характеристик насоса відносять:
- а) продуктивність, тиск, корисна потужність, повний ККД;
  - б) тиск, споживана потужність, висота нагнітання, габаритні розміри;
  - в) висота всмоктування, продуктивність, об'ємний ККД, маса насоса.
13. Газодувки (повітродувки) призначені для переміщення газів і створення тиску:
- а) до 0,1 МПа;
  - б) від 1,1 до 4 кг-с/см<sup>2</sup>;
  - в) більше 4 кг-с/см<sup>2</sup>.
14. Ефективність очищення стічних вод від механічних домішок вище в:
- а) одношарових фільтрах;
  - б) багатшарових фільтрах;
  - в) ефективність однакова.
15. Для рукавних тканинних фільтрів робоча поверхня фільтрації:
- а) прямо пропорційна питомому газовому навантаженню [м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сек)] і зворотно-пропорційна об'ємній витраті газів, що очищаються [м<sup>3</sup>/сек];
  - б) прямо пропорційна об'ємній витраті газів [м<sup>3</sup>/сек], що очищаються, і зворотно пропорційна питомому газовому навантаженню [м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сек)];
  - в) не залежить, і від об'ємної витрати газів [м<sup>3</sup>/сек], що очищаються, і від питомого газового навантаження [м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сек)].
16. За принципом дії промислові насоси діляться на:
- а) промислові, побутові і лабораторні поршневі;
  - б) одноступінчаті, багатоступінчасті і кутові;
  - в) поршневі, відцентрові, осьові, ротаційні і вихрові.
17. Вентилятори призначені для переміщення газів і створення тиску:
- а) до 1,1 кг-с/см<sup>2</sup>;
  - б) від 1,1 до 4 кг-с/см<sup>2</sup>;
  - в) більше 4 кг-с/см<sup>2</sup>.
18. Відкриті гідроциклони застосовують для виділення домішок з гідравлічним розміром:
- а) менше 10 мм/сек;
  - б) 10-20 мм/сек;
  - в) більше 20 мм/сек.
19. У розімкнених установках для очищення абсорбції газів:
- а) абсорбент не регенерується;
  - б) абсорбент регенерується повністю;
  - в) абсорбент регенерується на 40-60%.
20. Залежно від створюваного натиску поршневі насоси діляться на:
- а) низького тиску (Н≤15м), середнього тиску (Н=15-40 м) і високого тиску (Н≥40 м);
  - б) низького тиску (Н≤5м), середнього тиску (Н=5-10 м), високого тиску та більше (Н≥30 м);
  - в) промислові, побутові і лабораторні.

## Частина 4. Принципи та методика проєктування хімічних виробництв



### Поняття та його визначення

Нове будівництво – спорудження основних або допоміжних будівель та споруд із заданими техніко-економічними показниками і призначенням, які будують за єдиним проєктом у першу та наступні черги на визначених для цього об'єктах, на нових або звільнених від існуючих будівель майданчиках.

Розширення – будівництво додаткових до існуючих приміщень, будівель, споруд у межах єдиного комплексу за окремими проєктами, що дає змогу збільшити потужність об'єкта і (або) покращити його техніко-економічні показники.

Реконструкція – комплекс робіт, пов'язаних зі зміною техніко-економічних показників або використанням об'єкта за новим призначенням у межах існуючих будівельних габаритів.

Капітальний ремонт – комплекс робіт, пов'язаних з відновленням або покращенням експлуатаційних показників, заміною або відновленням конструкцій та технологічного обладнання без зміни будівельних габаритів об'єкта і його техніко-економічних показників.

Технічне завдання – документ, який встановлює основне призначення, технічні характеристики, показники якості та техніко-економічні вимоги, які ставлять до проєктованого виробництва (апарата), а також необхідні стадії розробки і спеціальні вимоги до нього.

Технічний проєкт - сукупність конструкторської документації, що містить остаточне технічне рішення, яке надає повне уявлення про проєктоване виробництво чи апарат, розробляють на підставі технічного завдання.

Матеріальний баланс - рівняння, які описують зв'язки між матеріальними потоками та є лінійними співвідношеннями між кількістю речовин у вхідних і вихідних потоках або речовин, що прореагували і речовин, які утворилися внаслідок хімічних реакцій.

Тепловий баланс - складається з метою розрахунку кількості теплоти, яку необхідно підвести чи відвести для забезпечення в апараті заданого температурного режиму.



### Основні теоретичні положення

Рівень розвитку хімічної промисловості поряд з металургією, енергетикою, машино- і приладобудуванням визначає економічний потенціал держави. Саме тому всі розвинені країни велику увагу приділяють [26, 29-32]:

- удосконаленню хімічних технологій;
- розробці принципово нових технологічних процесів;
- розвитку хімічного машинобудування;
- удосконаленню наукових досліджень;
- створенню нових каталізаторів.

Удосконалення хімічних технологій направлено на підвищення продуктивності праці, поліпшення якості готової продукції, зниження собівартості продукту. Це може бути реалізовано таким чином (головні напрямки проєктування виробництв):

- Збільшення потужності ХТС та окремих апаратів шляхом збільшення їх розмірів (створення апаратів великої одиничної потужності).
- Інтенсифікація роботи апаратів – підвищення їх продуктивності без збільшення розмірів за рахунок поліпшення режиму роботи. Досягається це двома шляхами: поліпшенням конструкції апарату; вдосконаленням технологічних процесів у апаратах даного виду.
- Механізація – підвищує продуктивність праці, скорочує штат обслуговуючого персоналу.

- Комплексна автоматизація – найбільш ефективне в хімічній промисловості застосування автоматизованих систем управління технологічними процесами на базі ЕОМ.
- Заміна періодичних процесів безперервними (де це доцільно).
- Зниження енерговитрат, максимальне використання теплоти реакцій.
- Зменшення числа стадій виробництва (зниження витрат на капітальне будівництво, отже зменшення собівартості) і перехід до замкнених циклічних систем.
- Створення безвідходних виробництв (вирішення екологічних проблем).  
До розробки принципово нових технологічних процесів відносять:
- Застосування атомної енергії, що дозволяє отримувати недосяжні раніше температури в сотні тисяч градусів.
- Використання плазмохімічних процесів дає можливість здійснювати ендотермічні перетворення, рівновага яких зміщена у бік цільових продуктів лише при дуже низькій температурі ( $10^{-3}$ - $10^{-4}$ )°С. Наприклад, прямий синтез NO; отримання ацетилену з метану і бензину; отримання ціаністого водню з азоту та вуглеводнів; синтези різноманітних сполук фтору.
- Лазерна техніка дозволяє синтезувати тверді тіла із заданою кристалічною структурою і заданими властивостями, у тому числі каталізатори, провідники, адсорбенти, молекулярні сита і т.д.
- Використання фотохімічних реакцій.
- Використання радіаційно-хімічних реакцій, що відбуваються під впливом іонізуючих випромінювань високої енергії, і дозволяє поліпшити структуру одержуваних матеріалів: пластичних мас, біополімерних структур.

Проектно-кошторисною документацією називають затверджені текстові та графічні матеріали, якими визначаються технологічні, технічні, конструктивні, об'ємно-планувальні, архітектурні рішення та кошториси об'єктів будівництва.

На стадії проектування приймаються основні технологічні та будівельно-монтажні рішення, які визначають вартість і терміни будівництва, ефективність створюваного виробництва.

Проектування та будівництво здійснюються за участю замовника, генерального проектувальника, субпідрядних і будівельно-монтажних організацій.

Замовником проектно-кошторисної документації є фізична чи юридична особа з правом капітальних вкладень у створення нових підприємств на земельній ділянці, відведеній державним актом, або у реконструкцію тих, що працюють.

Генеральним проектувальником, як правило, є галузевий проектний інститут, який, переважно, є виконавцем проекту (підрядником).

Субпідрядні організації – це проектні організації, які спеціалізуються на вирішенні окремих питань проектування (сигналізація, вентиляція тощо).

Будівельно-монтажні організації здійснюють будівництво і монтаж обладнання. Існують також спеціальні організації, які беруть участь у пуску та налагодженні обладнання.

Розрізняють нове будівництво, розширення і реконструкцію діючого підприємства.

Нове будівництво – спорудження основних або допоміжних будівель та споруд із заданими техніко-економічними показниками і призначенням, які будують за єдиним проектом у першу та наступні черги на визначених для цього об'єктах, на нових або звільнених від існуючих будівель майданчиках.

Розширення – будівництво додаткових до існуючих приміщень, будівель, споруд у межах єдиного комплексу за окремими проектами, що дає змогу збільшити потужність об'єкта і (або) покращити його техніко-економічні показники.

Реконструкція – комплекс робіт, пов'язаних зі зміною техніко-економічних показників або використанням об'єкта за новим призначенням у межах існуючих будівельних габаритів. Реконструкція полягає в повному або частковому переобладнанні виробництва з використанням нової техніки і технології. Одним з видів реконструкції об'єкта є його капітальний ремонт.

Капітальний ремонт – комплекс робіт, пов'язаних з відновленням або покращенням експлуатаційних показників, заміною або відновленням конструкцій та технологічного обладнання без зміни будівельних габаритів об'єкта і його техніко-економічних показників.

Передпроектна розробка

Вибір району розташування проектного підприємства здійснюється відповідно до планів розвитку промисловості. Для цього необхідно обґрунтувати місце розташування проектного виробництва; його виробничу потужність і номенклатуру продукції; забезпечення сировиною, напівпродуктами, паливом, електроенергією та водою; основні будівельні та технологічні рішення й найважливіші техніко-економічні показники.

Для обґрунтування необхідності спорудження проектного підприємства треба зробити техніко-економічне порівняння можливих варіантів його розташування з врахуванням:

- умов забезпечення сировиною, паливом, електроенергією, водою;
- можливості скидання промислових стоків;
- можливості комбінювання і кооперування виробництва з іншими підприємствами;
- наявності в районі будівництва трудових ресурсів, культурно-побутових і житлових об'єктів;
- наявності зовнішнього транспорту та потужностей будівельних організацій;
- максимального забезпечення найважливіших економічних показників – загальної ефективності капітальних вкладень, питомих капітальних вкладень, продуктивності праці, фондівіддачі та інших чинників, від яких залежить собівартість продукції.

Остаточний вибір району будівництва здійснюється на підставі техніко-економічного обґрунтування об'єкта будівництва і попередніх досліджень. Замовник і проектна організація до початку розробки проекту зобов'язані погодити з землекористувачами й органами, які здійснюють контроль за використанням земель, місце розташування проектного об'єкта і розміри майданчика будівництва.

Для вибору будівельного майданчика замовник створює комісію, до складу якої, як правило входять, представники замовника проекту, генеральної проектно-організації та спеціалізованих проектних і дослідницьких організацій, представники будівельної організації, місцевого виконавчого органу і місцевих організацій, які відповідають за експлуатацію транспортних комунікацій, мереж електро-, тепло- і водопостачання, каналізації, зв'язку і пожежного нагляду, місцевих органів санітарно-епідеміологічної служби.

Вибраний майданчик будівництва повинен задовольняти такі вимоги:

- забезпечувати дотримання санітарних норм для граничних концентрацій шкідливих викидів у довкілля під час експлуатації проектного виробництва;
- мати хорошу інфраструктуру, надійне водо-, енергопостачання;
- забезпечувати прийнятний для галузі промисловості коефіцієнт забудови.

Під час вибору майданчика будівництва проектна організація повинна виконати економічні розрахунки й інженерне обстеження, техніко-економічне порівняння варіантів розташування споруд на різних майданчиках і визначення оптимального варіанта; внести проектні пропозиції з необхідними схемами Генерального плану, а також узгодити з відповідними органами проектні рішення (виробничого чи господарського кооперування, використання трудових і матеріальних ресурсів, джерел і мереж електро-, тепло- та газопостачання, зв'язку, водопроводу, місця зливань стічних вод).

Технічне завдання (ТЗ) на проектування складається замовником проекту за участю проектно-організації. ТЗ – документ, який встановлює основне призначення, технічні характеристики, показники якості та техніко-економічні вимоги, які ставлять до проектного виробництва (апарата), а також необхідні стадії розробки і спеціальні вимоги до нього.

Додатково до завдання на проектування замовник видає проектній організації архітектурно-планувальне завдання та будівельний паспорт ділянки, який містить основні технічні дані відведеного майданчика, технічні умови на приєднання до інженерних мереж тощо. Замовник також надає проектній організації дані про паливо, обладнання, технічні характеристики продукції, про підземні і надземні комунікації на ділянці будівництва, звіти про виконані науково-дослідні роботи.

Перед проектна розробка закінчується формуванням вихідних даних на проектування, які містять:

- затверджені схеми розвитку та розташування підприємств галузі та підприємств району;
- затверджене технічне завдання на проектування;
- звіти з науково-дослідних робіт, пов'язаних з розробкою проектованих технологічних процесів;
- дані про стан атмосфери, водоймищ і ґрунтів у районі будівництва;
- технічні умови на приєднання проектованого підприємства до джерел енерго- та водопостачання, транспортних та інженерних комунікацій;
- звіт про інженерні дослідження, проведені на майданчику будівництва;
- каталоги на обладнання;
- каталоги на будматеріали, конструкції, деталі;
- інформацію про вартість будівельних робіт;
- відомості про генеральну підрядну будівельну організацію.

Для проектування нового і розширення діючого підприємства додатково необхідні:

- документація й акт про вибір майданчика будівництва;
- акт про відведення земельної ділянки під будівництво.

Для реконструкції та технічного переобладнання додатково необхідні:

- опис діючого виробництва або проектна документація, за якою його спорудили;
- креслення наявних будівель і споруд;
- висновок про технічний стан обладнання, будівель, споруд, комунікацій.

Проектно-кошторисна документація

Проектування нових, технологічно нескладних об'єктів, на яких використовуються типові проекти і реконструкція діючих підприємств, здійснюються в одну стадію.

Проектування нових складних об'єктів здійснюється в дві стадії, які передбачають розробку:

- технічного проекту;
- робочих креслень.

Технічний проект (сукупність конструкторської документації, що містить остаточне технічне рішення, яке надає повне уявлення про проектоване виробництво чи апарат) розробляють на підставі технічного завдання. Проект повинен розкрити переваги вибраної технології, у ньому повинні бути наведені техніко-економічні показники проектованого об'єкта і вирішені питання забезпечення виробництва сировиною, допоміжними матеріалами, енергією, водою та іншими ресурсами, будівельними конструкціями і матеріалами, визначення параметрів технологічних процесів, організації та керування виробництвом, потреби в кадрах, розробки принципів і послідовності організації будівництва.

Технічний проект складається з таких частин:

- загальна пояснювальна записка;
- техніко-економічна частина;
- технологічна частина;
- автоматизація технологічних процесів;
- генеральний план (документація, яка визначає принципові рішення розвитку, планування, забудови та іншого використання території підприємства) і транспорт;
- енергопостачання;
- архітектурно-будівельна частина;
- водопостачання та каналізація;
- організація праці та система управління виробництвом;
- організація будівництва;
- кошторисна частина;
- графічна частина.

Загальна пояснювальна записка містить коротке викладення змісту проекту. У ній порівнюються варіанти, за якими приймаються проектні рішення, наводяться короткі дані по всіх розділах проекту, основні технічні рішення й найважливіші техніко-економічні показники проекту, дані про відповідність проекту діючим нормам і правилам.

Техніко-економічна частина містить вихідні дані для техніко-економічних розрахунків: інформацію про джерела і способи забезпечення виробництва сировиною та допоміжними матеріалами, виробничі зв'язки, потребу в технічному персоналі для підприємства, а також аналіз капітальних вкладень і основних фондів підприємства.

Розділ “Генеральний план і транспорт” містить обґрунтування планувальних рішень, транспортних потоків і вибір видів транспорту, вирішення питання благоустрою території, інженерних мереж і комунікацій та організації охорони підприємства.

Технологічна частина містить технологічну схему виробництва, дані про асортимент і обсяг продукції, режим роботи підприємства, вибір основного обладнання та транспортних засобів, дані про потребу в сировині і допоміжних матеріалах. У ній наводиться планування відділень з розташуванням у них основного обладнання, обґрунтування прийнятих площ складських приміщень, відомості про теплоізоляцію обладнання, використання відходів виробництва. Технологічна частина проекту повинна містити специфікації на основне і допоміжне обладнання, арматуру та інші вироби, завдання та технічні вимоги на розробку нестандартного обладнання.

Розділ “Автоматизація технологічних процесів” містить обґрунтування прийнятих проектних рішень, які стосуються автоматизації виробничих процесів, контролю, керування та сигналізації.

У розділі “Енергопостачання” розглядаються характеристики споживачів електроенергії, їхня споживана потужність та обґрунтовується вибір джерел електропостачання підприємства.

Архітектурно-будівельна частина містить дані про площі й об'єми будівель і споруд, перелік типових та індивідуальних проектів основних будівель і споруд. Наводиться коротка характеристика й обґрунтування вибору будівельних конструкцій, погоджених з генеральною підрядною будівельною організацією, даються вказівки щодо антикорозійного захисту обладнання та конструкцій, протипожежних заходів.

Розділ “Водопостачання та каналізація” містить розрахунки загальної витрати води на виробничі, господарські, протипожежні потреби підприємства. Наводиться балансова схема водоспоживання й утворення стічних вод, обґрунтовується вибір джерела водопостачання підприємства, схеми водопостачання та каналізації, способів обробки й очищення стічних вод.

У розділі “Організація праці та система управління виробництвом” розроблені заходи, які забезпечують найсприятливіші умови праці, а також заходи щодо охорони праці та техніки безпеки; наводяться структура і розрахунок кількості управлінського персоналу.

У розділі “Організація будівництва” описані обсяги основних видів будівельно-монтажних робіт по окремих спорудах. Поданий короткий опис методів виконання робіт, вказується потреба в будівельних матеріалах, індустріальних конструкціях і деталях, транспорті, електроенергії, будівельній техніці, паливі, парі, воді.

Кошторисна частина складається зі зведеного кошторису, складеного за кошторисами об'єктів і кошторисами на окремі види робіт і витрат.

Графічна частина технічного проекту складається з:

- ситуаційного плану розташування підприємства із зовнішніми комунікаціями, виконаного в масштабі 1:5000, 1:10000 чи 1:25000;
- генерального плану (горизонтальне та вертикальне планування) у масштабі 1:500;
- плану інженерних мереж;
- принципової технологічної схеми процесу;
- схеми міжцехових технологічних трубопроводів;

- планів основних виробничих будівель з розташуванням технологічного обладнання, транспортних засобів, вентиляційних камер, трансформаторних підстанцій, виконаних у масштабі 1:100; 1:200 або 1:400.

Робочі креслення підприємств розробляють відповідно до затвердженого технічного проекту. Для цього замовник видає проектній організації вихідні дані на розробку нестандартного обладнання.

Під час розробки робочих креслень забороняється вносити зміни, які зумовлюють зниження потужності, збільшення кошторисної вартості підприємства. Забороняється також розробка робочих креслень вузлів, деталей, конструкцій, на які є стандарти. Робочі креслення створюються відповідно до вимог щодо їхнього оформлення. Робочі креслення головного вигляду підписують виконавець, начальник відділу і головний інженер проекту, а деталізовані креслення – виконавець і начальник відділу.

Створення та оцінка надійності технологічної схеми.

Робота над проектом починається зі складання технологічної схеми на підставі звіту з науково-дослідних робіт і виконується в такій послідовності:

- написання хімічних реакцій перетворень сировини, що надає уявлення про цільові, проміжні та побічні продукти і відходи виробництва;
- складання схеми матеріальних потоків, на якій зображають усі технологічні операції, пов'язані з хімічною чи фізико-механічною переробкою сировини;
- складання матеріального балансу технологічного процесу, за яким визначаються зв'язки проектного виробництва з загальнозаводським господарством;
- власне, створення технологічної схеми процесу.

Матеріальним балансом називають рівняння, які описують зв'язки між матеріальними потоками та є лінійними співвідношеннями між кількістю речовин у вхідних і вихідних потоках або речовин, що прореагували і речовин, які утворилися внаслідок хімічних реакцій.

Необхідно розрізняти матеріальний баланс хімічного процесу (реакції) та технологічної операції (фільтрації, ректифікації, абсорбції). У першому випадку змінюється хімічний склад потоків, у другому – баланс зводиться до встановлення втрат проміжних і цільових продуктів.

Мета складання матеріального балансу – визначення витрати сировини та допоміжних матеріалів для забезпечення заданої продуктивності за цільовим продуктом, а в окремих випадках – визначення виходу цільового і побічних продуктів за витратою сировини. Для складання матеріального балансу необхідно:

- розглянути існуючі способи отримання продукту та вибрати найефективніший з економічного погляду (на даному рівні розвитку хімічної промисловості);
- детально розглянути теоретичні основи вибраного способу, проаналізувати вплив різних технологічних чинників на термодинаміку та кінетику хімічного процесу (температури, тиску, співвідношення вихідних речовин, об'ємної витрати, властивостей і стану каталізатора, часу перебування реагентів в апараті), вибрати оптимальні умови процесу;
- зібрати дані про основні фізико-хімічні характеристики сировини, допоміжних матеріалів і продуктів та вимоги стандартів і технічних умов до їхньої якості;
- розробити технологічну схему процесу;
- встановити оптимальний режим роботи апаратів, для яких складається матеріальний баланс;
- скласти схему матеріальних та енергетичних потоків виробництва, встановити якісний склад потоків та співвідношення між їхніми компонентами.

Для хімічного процесу можна скласти теоретичний і практичний матеріальний баланс.

Теоретичний матеріальний баланс складається за стехіометричним рівнянням цільової реакції з врахуванням молекулярних мас реагентів.

Практичний матеріальний баланс враховує склад сировини і продуктів, співвідношення компонентів, втрати сировини і продуктів на всіх стадіях виробництва, витратні коефіцієнти, ступінь

перетворення (конверсію) реагентів, вихід цільового продукту і селективність процесу. Він складається, як правило, за даними аналогічних діючих установок.

Матеріальний баланс складається в розрахунку на одиницю часу для безперервних процесів (кг/с чи кг/год) чи на операцію або на 1 т продукту для періодичних процесів (кг/операцію чи кг/т).

Тепловий баланс складається з метою розрахунку кількості теплоти, яку необхідно підвести чи відвести для забезпечення в апараті заданого температурного режиму, зокрема для розв'язання двох задач:

- визначення витрати теплоносія, який подається у теплообмінний пристрій апарата. Якщо апарат працює в адіабатичному режимі, то розв'язання цієї задачі полягає в розрахунку температури реакційної суміші на виході з нього;
- визначення площі поверхні теплообміну.

Вихідними даними для розрахунку теплового балансу є таблиці матеріального балансу, питомі теплоємності та ентальпії утворення компонентів потоків, а також характер руху потоків та умови теплообміну між ними.

Розрахунок теплового балансу дає змогу вирішити завдання:

- економного використання теплоти і холоду в технологічному процесі за допомогою їхньої рекуперації;
- визначення витрати енергії на нагрівання чи охолодження середовищ як в окремих апаратах, так і в процесі загалом;
- визначення витрати теплоносія, холодоагенту або палива;
- визначення можливості використання повітряного охолодження.

Для підведення чи відведення теплоти використовуються теплоносії та холодоагенти, відповідно. Під час використання теплоносія як компонента матеріального потоку (гостра пара, охолодження впорскуванням рідини, холодний байпас) тепловий розрахунок виконують сумісно з розрахунком матеріального балансу.

Кожний апарат на технологічній схемі зображується у вигляді ескізу, який надає уявлення про принципову будову й основні конструкційні особливості апарата.

Якщо частина апаратів технологічної схеми працює в періодичному режимі (наприклад, реакційний вузол), а інша частина – безперервно (ректифікаційні апарати), то необхідно передбачити встановлення проміжної ємності між цими частинами для забезпечення безперебійної роботи обладнання, що працює у безперервному режимі.

На технологічній схемі зображуються усі апарати і допоміжне обладнання, необхідні для проведення процесу. Кожний апарат, зображений на схемі, повинен мати свій номер, який залишається незмінним у всіх розділах проекту. Це запобігає виникненню помилок, можливих у разі різної нумерації обладнання. Апарати на схемі нумеруються послідовно зліва направо за напрямком руху матеріальних потоків. Трубопроводи, які з'єднують апарати, зображуються у вигляді суцільних ліній, на яких стрілками вказуються напрямки потоків. Для кожного апарата на схемі показують підведення та відведення основних і допоміжних потоків.

Необхідним додатком до технологічної схеми є переліки апаратів, обладнання, трубопроводів. Вони містять відомості про основні технічні характеристики апаратів, номери стандартів і технічні умови, а для нестандартного обладнання – основні розміри і номери креслень, за якими його виготовляють.

Вихідні дані для проектування технологічної схеми умовно класифікують за бальною системою:

5 балів – дані отримані на діючому виробництві, яке працює за такою самою схемою і на такому ж обладнанні, що й проектуване. Діюче виробництво вивчене проектувальниками (визначені коефіцієнти теплопередачі, з'ясований гідродинамічний режим процесу, встановлена тривалість міжремонтного пробігу обладнання). Коефіцієнт масштабування повинен становити від 1 до 5 (за відсутності способів перерахунку розмірів обладнання та показників процесу при збільшенні масштабу виробництва);

4 бали – те саме, при коефіцієнті масштабування, не більшому, ніж 10. За наявності методу перерахування коефіцієнт масштабування визначається межами використання рівняння для перерахунку, перевіреного для умов проектного процесу;

3 бали – дані, отримані на дослідно-промисловій установці, розробленій з коефіцієнтом масштабування, не меншим, ніж 10;

2 бали – те саме, при коефіцієнті масштабування, меншому, ніж 10 (пілотна чи укрупнена лабораторна установка, виготовлена з того самого матеріалу, що й промислове обладнання);

1 бал – дані, отримані в лабораторії (установка, виготовлена зі скла), конструкційні матеріали випробовували їхнім зануренням у реакційну масу;

0 балів – прямі експериментальні дані відсутні, фізико-хімічні константи речовин взяті з довідкової та періодичної літератури.

Надійність окремих апаратів технологічної схеми також оцінюють за бальною шкалою:

5 балів – повна відтворюваність усіх проектних показників під час пуску, здійснюваного досвідченим персоналом («пуск після натискання кнопки»);

4 бали – те саме, у межах нормативного пускового періоду, протягом якого можна внести деякі зміни в конструкцію устаткування, замінити незначну частку арматури, приладів і трубопроводів. Усі ці зміни вносять працівники заводу і монтажної організації з використанням запасних деталей, передбачених проектом;

3 бали – те саме, з можливим перевищенням нормативних термінів освоєння. Під час пуску доводиться замінювати частину типового устаткування, яке може бути в короткий термін замовлене й отримане від комплектуючих організацій;

2 бали – відтворюваність основних проектних показників, які регламентують продуктивність, витрату сировини та усіх видів енергії. Проектної продуктивності не можна досягнути без реконструкції встановленого устаткування чи монтажу нового обладнання такого ж типу;

1 бал – відтворюваність основних проектних показників неможлива без заміни частини устаткування, передбаченого проектом, новим обладнанням іншого типу;

0 балів – за запроєктованою схемою не можна відтворити проектні показники.

Технологічну схему з автоматизацією процесу обговорюють на науково-технічній раді проектною організацією з залученням представників науково-дослідних інститутів, інших проектних організацій і діючих підприємств. Технологічна схема затверджується керівництвом проектного інституту та є основним документом для подальшої роботи.

Зокрема за нею вибирають тип обладнання, а за матеріальними і тепловими балансами розраховують геометричні розміри апаратів і за каталогами вибирають і замовляють типові обладнання та готують завдання на розробку нестандартного обладнання.

Компонування обладнання.

Затверджена технологічна схема є також підставою для об'ємно-планувальних рішень, які визначають просторове розташування обладнання в закритих приміщеннях і на відкритих майданчиках. Під час компонування необхідно забезпечити технологічну послідовність процесу, можливість зручної експлуатації обладнання, його монтажу і демонтажу, виконання ремонтних робіт.

Насамперед виділяють апарати, які треба встановити в опалюваному приміщенні (компресори, фільтри, центрифуги), а потім – обладнання, що встановлюється під навісами (насоси), на фундаментах та етажерках. Такий поділ дає змогу визначити габарити будівель, навісів, етажерок, фундаментів. Габарити будівель визначають з урахуванням допоміжних приміщень – вентиляційних камер, електрощитових та операторних залів.

Компонування обладнання підприємства повинне забезпечувати максимальну прямолінійність виробничих потоків, мінімальні довжину комунікацій і кількість пристроїв для транспортування. Паралельно з компонуванням обладнання здійснюють трасування технологічних, електротехнічних, вентиляційних та інших комунікацій з загальнозаводським господарством, визначають місце

розташування електродвигунів, світильників, точок відкачування пилу і шкідливих газів, місця введення водопровідних та інших мереж, скидання стоків.

Під час компонування обладнання встановлюють конфігурацію будівель, їхню поверховість, навантаження на міжповерхові перекриття, кількість і розташування сходів. Під час компонування виробничого корпусу варто уникати надмірного подрібнення його на окремі приміщення – обслуговування великих відділень і цехів потребує меншої кількості персоналу і менших капітальних витрат. На першому поверсі, як правило, планують розміщення ємностей для сировини і продукції, апаратів для підготовки сировини. Таке розташування обладнання дає змогу легко зв'язувати його комунікаціями зі складами. На верхніх поверхах встановлюють реакційне обладнання. Люки апаратів, крани, вентилі повинні знаходитися в доступних для обслуговування місцях.

Обладнання, що встановлюється на відкритих майданчиках, групують у технологічні блоки за функціональним призначенням (наприклад, печі, відстійники, ємності), за висотною та іншими ознаками. Для транспортування обладнання в будівлю, його демонтажу чи ремонту передбачають монтажні отвори.

На плани наносять усе обладнання, яке встановлюється в проектованому приміщенні. Плани кожного поверху або майданчика викреслюють окремо. Будь-який апарат на плані зображають у вигляді його зовнішнього контуру з прив'язкою до стін будинку.

Компонування обладнання часто виконують за допомогою макетного способу проектування. На плані цеху або технологічної установки в масштабах 1:100, 1:50 або 1:25 розташовують макети будівель, споруд, обладнання, трубопроводних естакад, монтажних і протипожежних проїздів згідно з нормами і правилами для забезпечення протипожежних відстаней. Макети виготовляються з дерева, пластмаси та інших матеріалів. Макетне проектування є наочним способом під час виконання монтажних робіт, який дає змогу оптимально розташувати обладнання, надійно трасувати трубопроводи і мережі без їхнього перетинання. На макеті можна перевірити різні варіанти демонтажу обладнання під час капітального ремонту цеху або установки.

Інколи виконують макети генеральних планів підприємств, що, як правило, мають демонстраційний характер. Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки та програмного забезпечення дає змогу створювати віртуальні макети, 3D моделі та ефективно реалізувати об'ємно-планувальні рішення проектованого виробництва.

Погодження та затвердження проекту, авторський нагляд. Замовник погоджує з генеральною підрядною будівельною організацією проект організації будівництва, зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва, конструктивні рішення будівель і споруд. За необхідності проектна організація за дорученням замовника вносить зміни в проектну документацію з врахуванням прийнятих зауважень.

Проект проходить експертизу, на яку виносять:

- загальну пояснювальну записку;
- техніко-економічну частину;
- генеральний план і транспорт;
- рішення з технології виробництва;
- архітектурно-будівельну і кошторисну частини проекту.

Результати експертизи оформляють у вигляді документа, в якому викладають основні положення проекту та зауваження до нього. Генеральний проектувальник враховує вказані зауваження. Після внесення змін проект затверджується замовником.

Авторський нагляд виконують представники генерального проектувальника протягом усього періоду будівництва згідно з договором з замовником. На підставі проекту організації будівництва розробляється графік, за яким встановлюють терміни роботи проектувальників різних спеціальностей на об'єкті. На ранніх етапах планують виїзд проектувальників будівельних відділів і монтажно-технологічного відділу, а після цього – відділу контрольно-вимірювальних приладів і автоматизації та ін.

Роботу всіх груп авторського нагляду координує головний інженер проекту. Якщо роботи виконуються з порушенням проекту чи нормативних документів, то генеральна проектна організація має

право давати вказівку про їхнє припинення, обов'язкову для виконання субпідрядними і будівельно-монтажними організаціями.

Усі зауваження, виявлені під час авторського нагляду, записують у спеціальний журнал, який зберігається в представників генерального підрядника. Всі помилки, виявлені під час будівництва і монтажу обладнання, повинні бути виправлені. Пуск виробництва є остаточною перевіркою якості проекту. Представник монтажно-технологічного відділу повинен брати участь у пуску виробництва і виведенні його на проектну потужність.

Технологічний регламент. Технологічний регламент використовується на стадії експлуатації виробництва та поділяється на постійний, тимчасовий, разовий і лабораторний.

Постійний, тимчасовий чи разовий регламенти містять розділи:

- Загальна характеристика виробництва і його техніко-економічний рівень.
- Характеристика продукції, яку виробляють.
- Характеристика сировини, матеріалів і напівпродуктів (фізико-хімічні константи і властивості всіх реагентів, продуктів і напівпродуктів).
- Опис (графічне і текстове зображення) технологічного процесу і схеми (а також фізико-хімічні основи всіх стадій процесу).
- Матеріальний баланс усіх стадій процесу разом з таблицями.
- Тепловий баланс усіх стадій процесу.
- Норми витрати основних видів сировини, матеріалів і енергоресурсів.
- Норми утворення відходів виробництва.
- Контроль виробництва і норми технологічного режиму.
- Охорона довкілля.
- Основні правила безпечної експлуатації виробництва.
- Формуляр на патентну чистоту процесу.
- Перелік обов'язкових посадових інструкцій.
- Креслення технологічної схеми виробництва.
- Специфікації основного технологічного обладнання (а також розрахунок апаратів і вибір типового обладнання).

Для разового технологічного регламенту допускається зміна і виключення окремих розділів за узгодженням з установою, в якій затверджують регламент.

Лабораторний регламент містить розділи:

- Призначення установки.
- Коротка характеристика сировини, напівпродуктів, продукції, відходів, стоків і викидів (з даними про їхні токсичні, пожежо- і вибухонебезпечні властивості);
- Опис технологічної схеми і розташування обладнання.
- Норми технологічного режиму.
- Опис схеми електропостачання.
- Опис схеми автоматизації, блокувань і запобіжних пристроїв.
- Вимоги з безпечної експлуатації установки.
- Креслення технологічної схеми й апаратів.

Додатково ознайомитись з матеріалом за частину 4 можна ознайомитись за посиланням: [ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ ДБН А.2.2-3-2004 Склад порядок розроблення погодження та затвердження проектної документації для будівництва.](#)



## Практичне завдання: індивідуальне розрахунково-дослідницьке

Практичне завдання складається з конструкційно-розрахункової частини, наступного змісту:

У реакторі проводять процес хімічного розчинення твердої речовини "А" у розчиннику "В", узятому в надлишку  $\alpha$  (%) від стехіометрично необхідної кількості. Ступінь розчинення речовини "А" складає  $X$  (%). Час хімічного перетворення  $\tau_{x.p.}$  (година), час завантаження і вивантаження  $\tau_{доп.}$  (година). Потужність по речовині "А"  $P$  (т/рік).

Скласти:

- рівняння реакції;
- матеріальний і тепловий баланс для розчинення 1 т речовини "А";
- розрахувати геометричні розміри реактора і вибрати матеріал;
- підібрати типовий реактор;
- розрахувати товщину обичайки, днища.

Із варіантами завдань та прикладами виконання можна ознайомитись за посиланням:

<http://moodle2.snu.edu.ua/course/view.php?id=6197>



## Питання для самоконтролю

1. Головні напрямки проектування хімічних виробництв.
2. Нове будівництво, розширення, реконструкція діючого підприємства, капітальний ремонт.
3. Передпроектна розробка.
4. Вимоги до майданчика будівництва.
5. Склад технічного завдання на проектування.
6. Проектно-кошторисна документація.
7. Склад технічного проекту.
8. Створення та оцінка надійності технологічної схеми
9. Теоретичний і практичний матеріальний баланс, мета складання.
10. Тепловий баланс.
11. Класифікація вихідних даних для проектування технологічної схеми. Шкала оцінювання надійності окремих апаратів.
12. Постійний, тимчасовий, разовий і лабораторний технологічний регламенти.



## Тест

1. Інтенсифікація роботи апаратів це:
  - а) підвищення їх продуктивності без збільшення розмірів за рахунок поліпшення режиму роботи;
  - б) підвищення їх продуктивності за рахунок збільшення їх розмірів або кількості;
  - в) підвищення продуктивність праці.
2. основні технологічні та будівельно-монтажні рішення приймаються на стадії:
  - а) проектування;
  - б) налагодження;
  - в) пуску.
3. Проектні організації, які спеціалізуються на вирішенні окремих питань проектування це:
  - а) будівельно-монтажні організації;
  - б) субпідрядні організації;
  - в) генеральний проектувальник.
4. Спорудження основних або допоміжних будівель та споруд із заданими техніко-економічними показниками і призначенням, які будують за єдиним проектом у першу та наступні черги на визначених для цього об'єктах, на нових або звільнених від існуючих будівель майданчиках це:
  - а) розширення;
  - б) нове будівництво;

в) реконструкція.

5. Будівництво додаткових до існуючих приміщень, будівель, споруд у межах єдиного комплексу за окремими проектами, що дає змогу збільшити потужність об'єкта і (або) покращити його техніко-економічні показники це:

- а) розширення;
- б) нове будівництво;
- в) реконструкція.

6. Комплекс робіт, пов'язаних зі зміною техніко-економічних показників або використанням об'єкта за новим призначенням у межах існуючих будівельних габаритів це:

- а) розширення;
- б) капітальний ремонт;
- в) реконструкція.

7. Комплекс робіт, пов'язаних з відновленням або покращенням експлуатаційних показників, заміною або відновленням конструкцій та технологічного обладнання без зміни будівельних габаритів об'єкта і його техніко-економічних показників це:

- а) розширення;
- б) капітальний ремонт;
- в) реконструкція.

8. Складання технологічної схеми процесу на підставі звіту з науково-дослідної роботи виконується в такій послідовності:

а) Складання схеми матеріальних потоків → написання хімічних реакцій → складання матеріального балансу технологічного процесу.

б) Написання хімічних реакцій → складання схеми матеріальних потоків → складання матеріального балансу технологічного процесу.

в) Написання хімічних реакцій → складання матеріального балансу технологічного процесу → складання схеми матеріальних потоків.

9. Рівняння, які описують зв'язки між матеріальними потоками та є лінійними співвідношеннями між кількістю речовин у вхідних і вихідних потоках або прореагованих речовин і речовин, які утворилися внаслідок хімічних реакцій називають:

- а) енергетичним балансом;
- б) матеріальним балансом;
- в) тепловим балансом.

10. У випадку розрахунку матеріального балансу хімічного процесу:

- а) встановлюються зміни хімічного складу потоків.
- б) встановлюються втрати проміжних і цільових продуктів.
- в) встановлюються зміни енергетичного складу потоків.

11. У випадку розрахунку матеріального балансу технологічної операції:

- а) встановлюються зміни хімічного складу потоків.
- б) встановлюються втрати проміжних і цільових продуктів.
- в) встановлюються зміни енергетичного складу потоків.

12. Матеріальний баланс, що складається за стехіометричним рівнянням цільової реакції з врахуванням молекулярних мас реагентів називається:

- а) теоретичний;
- б) практичний;
- в) квазістаціонарний.

13. Матеріальний баланс, що враховує склад сировини і продуктів, співвідношення компонентів, втрати сировини і продуктів на всіх стадіях виробництва, витратні коефіцієнти, ступінь перетворення (конверсію) реагентів, вихід цільового продукту і селективність процесу називається:

- а) теоретичний;

- б) практичний;
- в) квазістаціонарний.

14. Вихідні дані для проектування технологічної схеми умовно класифікують за бальною системою, найбільшою оцінкою в 5 балів характеризують:

а) Дані, отримані на дослідно-промисловій установці, розробленій з коефіцієнтом масштабування, не меншим, ніж 10.

б) Дані отримані на діючому виробництві, яке працює за такою самою схемою і на такому ж обладнанні, що й проектуване. Діюче виробництво вивчене проектувальниками. Коефіцієнт масштабування повинен становити від 1 до 5.

в) Дані, отримані в лабораторії (установка, виготовлена зі скла), конструкційні матеріали випробовували їхнім зануренням у реакційну масу.

15. Вихідні дані для проектування технологічної схеми умовно класифікують за бальною системою, найменшою оцінкою в 5 балів характеризують:

а) Дані, отримані на дослідно-промисловій установці, розробленій з коефіцієнтом масштабування, не меншим, ніж 10.

б) Прямі експериментальні дані відсутні, фізико-хімічні константи речовин взяті з довідникової та періодичної літератури.

в) Дані, отримані в лабораторії (установка, виготовлена зі скла), конструкційні матеріали випробовували їхнім зануренням у реакційну масу.

16. Надійність окремих апаратів технологічної схеми також оцінюють за бальною шкалою:

- а) 3;
- б) 5%
- в) 7.

17. На першому поверсі, як правило, планують розміщення:

- а) ємностей для сировини і продукції, апаратів для підготовки сировини;
- б) реакційного обладнання;
- в) теплообмінного обладнання.

18. На верхніх поверхах, як правило, планують розміщення:

- а) ємностей для сировини і продукції, апаратів для підготовки сировини;
- б) реакційного обладнання;
- в) апаратів для підготовки сировини.

19. Технологічний регламент використовується на стадії експлуатації виробництва та поділяється на:

- а) постійний і лабораторний;
- б) постійний, тимчасовий і разовий;
- в) постійний, тимчасовий, разовий і лабораторний.

20. Характер і послідовність сполучення окремих апаратів у технологічній схем називається:

- а) технологічною топологією системи;
- б) практичним балансом процесу;
- в) енергоефективністю системи.

## Частина 5. Засади створення маловідходних виробництв на стадії проектування. Основи проектування з використанням ВІМ-моделі

### Тема 5.1. Хіміко-технологічні системи



#### Поняття та його визначення

Енергоефективність – використання вторинних енергетичних ресурсів.

Безвідходність – утилізація чи переробка відходів і побічних продуктів, що утворюються у виробництвах хімічних речовин.

Поліваріативність хімічних процесів – можливість вибору процесу, який дає змогу повніше використовувати сировину для отримання цільових продуктів.

Багатомаршрутність – можливість існування декількох варіантів однієї технологічної схеми завдяки великій кількості та різноманітності процесів і апаратів, що застосовуються у хімічній технології.

Безвідходна технологія – практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб у межах потреб людини забезпечити раціональне використання природних ресурсів та енергії й захистити довкілля.

Маловідходна технологія - такий спосіб виробництва, за якого кількість відходів, утворених у технологічному процесі, менша, ніж їхні допустимі концентрації в довкіллі.



#### Основні теоретичні положення

Сучасне хімічне підприємство – складна хіміко-технологічна система (ХТС), яка складається з великої кількості апаратів і зв'язків між ними.

Мета розробки ХТС полягає в створенні вискоефективного хімічного виробництва продукції необхідної якості в заданому обсязі та найбільш економічно доцільним шляхом. ХТС створюється з врахуванням сучасних напрямків розвитку хімічної технології, а саме: раціонального використання сировини та енергії, створення енерготехнологічних схем, збільшення одиничної потужності апаратів тощо.

Під час розробки ХТС вирішують такі завдання:

- встановлення технологічної топології системи - характеру і послідовності сполучення окремих апаратів у технологічній схемі;
- встановлення значень вхідних змінних (фізичні параметри потоків сировини, параметри фізико-хімічних впливів довкілля на процес функціонування ХТС);
- встановлення значень технологічних параметрів ХТС (ступеня перетворення сировини, селективностей утворення, виходів, ступеня розділення продуктів тощо);
- визначення конструкційних параметрів ХТС (геометричних характеристик обладнання – об'єму і площі поперечного перетину апарата, висоти насадки тощо);
- вибір параметрів технологічного режиму в елементах ХТС (температури, тиску, умов гідродинамічного руху потоків тощо);
- вибір параметрів технологічних потоків, які забезпечують роботу системи в заданому режимі (масової витрати, температури, тиску, концентрації речовин у потоці тощо);
- принципи автоматичного керування окремими технологічними процесами і виробництвом загалом;
- вибір конструкційних матеріалів;
- розробка методів аналітичного контролю;
- вирішення питань охорони довкілля та екологічної безпеки нового виробництва.

Ефективність роботи системи оцінюють за показником ефективності функціонування ХТС, а саме: за технологічними і економічними характеристиками хімічного виробництва. Показник ефективності повинен враховувати всі особливості та властивості системи, умови її роботи і взаємодію з середовищем.

Сучасні хімічні виробництва характеризуються вказаними нижче показниками.

Енергоефективність – використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), зокрема:

- великої кількості теплоти, що виділяється в екзотермічних процесах, яку необхідно відводити з метою підтримання оптимальної температури в реакторі, а отже, досягнення оптимальних конверсії сировини, виходу цільових продуктів і продуктивності системи, а також створення безпечних умов процесу;
- теплоти гарячих реакційних потоків на стадіях розділення продуктів реакції, яке відбувається при температурах, нижчих, ніж температура ендотермічного процесу;
- побічних продуктів виробництва як палива.

Використання ВЕР не лише знижує витрату енергії в кожному виробництві, але й запобігає викиду теплоти в довкілля.

Безвідходність – утилізація чи переробка відходів і побічних продуктів, що утворюються у виробництвах хімічних речовин:

- у межах основних технологічних процесів;
- на окремих установках в межах основного виробництва (регенерація каталізаторів, адсорбентів). Вони можуть використовуватися:
  - як сировина в інших виробництвах;
  - як паливо (у виняткових випадках, якщо відсутні інші способи їхнього використання чи регенерації).

Заходи, спрямовані на утилізацію та переробку відходів хімічних виробництв, є одним з найважливіших напрямків розвитку цих виробництв. Вартість споруд для охорони довкілля становить у розвинених країнах світу 10-15% капіталовкладень у хімічну промисловість.

Безперервність – більшість хімічних виробництв працює за безперервними схемами, що дає змогу:

- збільшити продуктивність за рахунок повноти використання обладнання;
- отримувати одноріднішу за якістю продукцію;
- полегшити регулювання та керування, підтримання стабільності й точності всіх параметрів роботи апаратів;
- легко автоматизувати процес;
- забезпечити високу продуктивність праці;
- усунути періодичне завантаження сировини і вивантаження продуктів реакції, значно зменшити забруднення довкілля та покращити умови праці персоналу;
- підвищити безпеку виробничого процесу.

Суміщення процесів дає змогу підвищити конверсію реагентів і вихід цільових продуктів при менших витратах енергії.

Суміщають процеси:

- реакційні – реакції з протилежними тепловими ефектами (екзотермічну й ендотермічну). Режим процесу в цьому випадку буде адіабатичним. Дуже зручно суміщати реакції, якщо продуктивність за кожною з них можна регулювати. Це дає змогу не лише зменшити енергетичні витрати, але й підвищити конверсію реагентів. Суміщення реакцій поряд з перевагами має недоліки. Зокрема дуже важко підібрати умови, які були б оптимальними для всіх реакцій, тому процес відбувається за умов, оптимальних для лімітуючої реакції. Доцільність суміщення хімічних процесів визначається, з одного боку, ефективністю роботи всього виробництва, а з іншого – безпекою виробничого процесу, його екологічністю тощо;

- масообмінні – при організації екстрактивної, автоекстрактивної та азеотропно-екстрактивної ректифікації;
  - реакційно-масообмінні – з метою поліпшення показників не лише реакційних, але й масообмінних процесів, наприклад, за рахунок перебігу реакцій усуваються обмеження, зумовлені особливостями діаграми фазової рівноваги системи. Ці процеси поділяються на: реакційно-сорбційні (зокрема: реакційно-абсорбційні, реакційно-адсорбційні, реакційно-десорбційні); реакційно-ректифікаційні; реакційно-дистиляційні; реакційно-кристалізаційні; реакційно-осмотичні; реакційно-хроматографічні; реакційно-екстракційні тощо.
- Суміщення процесів має деякі переваги, а саме:
- досягнення за один прохід реагентів через реакційний вузол виходу продуктів, що перевищує рівноважний;
  - вища селективність за цільовими продуктами;
  - вища рушійна сила процесу за рахунок організації природного протитоку реагентів і високих концентрацій реагентів у зоні реакцій;
  - м'які умови підведення та відведення теплоти в об'ємі;
  - можливість максимального використання теплоти хімічних реакцій;
  - простота організації;
  - компактність технологічних схем тощо;
  - поліваріативність видів сировини:
  - продукт можна одержати з різних видів сировини;
  - один вид сировини можна використати для отримання різних продуктів;
  - заміна дорожчих чи шкідливих видів сировини на дешевші й безпечніші.

Внаслідок цього розширюється сировинна база, з'являється можливість вибору найвигіднішої з економічного погляду сировини.

Поліваріативність хімічних процесів – можливість вибору процесу, який дає змогу повніше використовувати сировину для отримання цільових продуктів.

Багатотоннажність – виробництво більшості продуктів хімічного синтезу здійснюється у великих масштабах. Річний обсяг виробництва багатьох продуктів вимірюється мільйонами тонн.

Цього досягають використанням апаратів великої одиничної потужності та забезпеченням безперервності виробництва. Зокрема одинична потужність колон синтезу метанолу досягає 300 тис. т/рік, а в перспективі можлива поява установок потужністю 500 і 1000 тис. т/рік. Збільшення потужностей одиничних апаратів дає змогу зменшити питомі капітальні витрати, знизити енерговитрати і витрату води та підвищити продуктивність праці.

Багатомаршрутність – можливість існування декількох варіантів однієї технологічної схеми завдяки великій кількості та різноманітності процесів і апаратів, що застосовуються у хімічній технології (можуть відрізнятися каталізатором, реактором, способом вловлювання частинок каталізатора, способом конденсації газоподібних продуктів і ін.).

Кооперування та комбінування різних процесів, установок, виробництв, пов'язаних єдиною технологією, яке дає змогу повніше використовувати сировину, утилізувати відходи виробництва, об'єднувати послідовні стадії переробки.

Високий ступінь автоматизації за рахунок безперервності процесів.

## Тема 5.2. Принципи створення безвідходних і маловідходних виробництв



### Основні теоретичні положення

Утилізація чи переробка, своєчасне видалення і знешкодження твердих, рідких і газоподібних відходів хімічних виробництв мають велике значення, сприяють не лише підвищенню ступеня використання сировини, але і поліпшенню стану довкілля [4, 30, 33].

Враховуючи, що в хімічній галузі одержують великий асортимент речовин, здатних забруднювати біосферу, необхідно проектувати виробництва, в яких шкідливі речовини скидалися б у довкілля лише в допустимих кількостях та в найменш небезпечних формах. Також необхідно так організувати виробництво, щоб утилізувалися не лише побічні продукти, але й теплота потоків чи процесів, що виділяється на різних етапах виробництва.

У деяких виробництвах у біосферу викидається значна кількість шкідливих хімічних речовин (оксиди сірки, оксиди карбону, нітрогену тощо), які можна успішно використовувати як сировину для інших процесів. Для цього необхідно розробити технологію вловлювання цих сполук і нову високоєфективну технологію їхнього використання.

Основні завдання хімічної промисловості такі:

- розробка безвідходних чи маловідходних технологій, які дозволили б збільшувати випуск продукції без порушення екологічних вимог;
- створення нових виробництв, які використовують як сировину власні відходи і викиди, а також відходи і викиди виробництв інших галузей промисловості;
- створення виробництв із низьким рівнем споживання енергії та води.

Відомо, що 80% економії матеріальних ресурсів пов'язано з впровадженням ресурсозберігаючих технологій і лише 20% з іншими заходами. Понад 50% економії паливно-енергетичних ресурсів у хімічній промисловості можна забезпечити за рахунок вдосконалення технологічних процесів, приблизно 20% – шляхом повнішого використання вторинних енергетичних ресурсів і близько 25% – за рахунок організаційно-технічних заходів. Основою підвищення енергетичної ефективності хімічної промисловості вважають не лише впровадження нових типів технологічних установок, але й підвищення рівня регенерації теплоти потоків нагрітих продуктів і використання енерготехнологічних схем.

Під час створення безвідходних і маловідходних виробництв також необхідно:

- вважати відходами лише ті речовини, які відразу не можна отримати як побічні продукти поряд з цільовими;
- використовувати відходи як сировину;
- розробляти технологічні установки для переробки відходів на вторинну сировину, дешевшу, ніж природна.

Безвідходна технологія – практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб у межах потреб людини забезпечити раціональне використання природних ресурсів та енергії й захистити довкілля.

Маловідходною технологією називають такий спосіб виробництва, за якого кількість відходів, утворених у технологічному процесі, менша, ніж їхні допустимі концентрації в довкіллі. Ця технологія є замкнутою, у ній реалізується принцип максимальної ізолюваності виробництва від довкілля. За умови зростання масштабів виробництва і високих екологічних вимог можна визначити два принципово відмінні напрямки одержання продуктів хімічного синтезу.

Перший передбачає реконструкцію наявних виробництв і вдосконалення технології з подальшим очищенням газових викидів, рідких і твердих відходів від шкідливих речовин встановленням очисних споруд. Цей шлях на сьогодні є основним, але вимушеним і малоефективним, оскільки не дає змогу кардинально вирішити проблему і має недоліки:

- не вдається цілком звільнити викиди від шкідливих речовин, а отже, запобігти їхньому потраплянню в біосферу;
- очисні споруди є дорогими, тому що вони займають великі площі, споживають велику кількість матеріалів та енергії;
- постає нова проблема знищення твердих викидів.

Другий напрямок, в якому безвідходні та маловідходні технологічні процеси максимально імітують природні явища (зокрема кругообіг у природі), є перспективнішим. Він поки що не набув поширення, тому що настільки реконструювати існуючі виробництва практично неможливо.

Для найефективнішого використання багатокомпонентної сировини в безвідходному виробництві потрібно дотримуватися принципу її комплексної переробки. Підвищення рівня комплексного використання багатокомпонентної сировини значною мірою сприятиме скасуванню розподілу продукції на основну (цільову) і побічну (нецільову), який необґрунтовано призвів до того, що за основною продукцією плануються обсяги виробництва, витрати, прибуток, а за побічною продукцією ці показники не встановлюються. Це зумовлює те, що вона прирівнюється до відходів виробництва і часто викидається в біосферу чи знищується.

### 5.2.1. Методологічні принципи створення безвідходних технологій

Безвідходні виробництва потрібно створювати за такими методологічними принципами:

- повне використання сировини за умови максимальної економії енергії, допоміжних матеріалів і, насамперед, води;
- використання побічних продуктів і відходів одного виробництва як сировини для іншого; створення на цій основі підприємств з послідовним поглибленням переробки сировини;
- територіальне та функціональне об'єднання в систему комплексного виробництва різнотипних підприємств, які переробляють різні хімічні речовини;
- доповнення виробничих комплексів підприємствами, на яких здійснюється завершальна переробка відходів на сировину для інших виробничих комплексів або компоненти біосфери;
- розширення виробничих зв'язків між різними безвідходними підприємствами і підвищення ступеня замкнутості загальної виробничої системи як з господарського, так і з біогеохімічного погляду;
- ліквідація допущених раніше порушень рівноваги в природі;
- підвищення надійності роботи всіх установок і виробництва загалом.

Інші, конкретніші принципи, спрямовані на повне використання сировини й енергетичних ресурсів та на охорону довкілля, можна поділити на три групи: 1) хімічні; 2) технологічні; 3) організаційно-управлінські.

### 5.2.2. Хімічні принципи створення безвідходних технологій

Хімічні принципи відображають загальну тенденцію створення нових виробництв і вдосконалення наявних. Усі вони реалізуються у вигляді конкретних хімічних прийомів і методів, які дозволяють наблизити виробництво до безвідходного і ресурсозберігаючого.

- Створення мало стадійних або одно стадійних хімічних процесів.

Чим менше технологічних стадій необхідно для одержання цільових продуктів, тим менше, як правило, утворюється побічних продуктів. Водночас не лише скорочується витрата енергії, але й зменшується кількість потоків, які необхідно переробляти, й енергію яких необхідно утилізувати. У таких технологічних процесах здебільшого зменшується кількість газових потоків і води, які містять шкідливі

домішки. У підсумку, собівартість продукту, отриманого способом з меншою кількістю стадій, як правило, нижча.

- Розробка методів одержання продуктів з доступної та дешевої сировини.

Як правило усі нові способи одержання хімічних продуктів спрямовані на заміну існуючої сировини дешевшою.

- Розробка селективних процесів.

Одним з основних принципів, який дає змогу повніше використовувати сировину для одержання цільових продуктів, є підвищення селективності процесів. Селективність залежить від природи каталізатора, умов процесу тощо, тому для забезпечення її максимального значення необхідно встановити оптимальні параметри виробництва.

- Одержання декількох цільових продуктів в одному технологічному процесі.

Важливе значення мають процеси, в яких одержують декілька цільових продуктів одночасно. Цей підхід доцільний при одержанні декількох цільових продуктів не лише з традиційної сировини, але й під час використання як сировини речовин, які не набули значного застосування.

- Розробка технології, що дає змогу досягати високого ступеня перетворення сировини.

Досягнення високої конверсії реагентів за один прохід через реакційний вузол має велике значення під час створення безвідходних виробництв, тому що це дає змогу зменшити об'ємні витрати рециркуляційних потоків, а отже, й знизити енергетичні та капітальні витрати та втрати сировини. Водночас не завжди можна збільшити конверсію сировини, бо деякі параметри, які забезпечують її підвищення, зумовлюють зниження селективності.

- Суміщення декількох реакцій, спрямованих на одержання цільового продукту.

Під час одержання багатотоннажних продуктів потрібно, як правило, забезпечувати інтенсивний теплообмін. Водночас в одному апараті можна реалізувати, принаймні, дві реакції з протилежними тепловими ефектами. Як правило, за такої організації виробництва вдається значно знизити температуру сумарного процесу і витратити мінімум енергії для його проведення. Цей принцип дає змогу повніше використовувати сировину для одержання цільового продукту і заощаджувати енергію.

### 5.2.3. Технологічні принципи створення безвідходних технологій

Технологічні принципи відрізняються від хімічних тим, що їхня реалізація пов'язана з технологічними прийомами і методами, такими як організація потоків, використання суміщених процесів тощо. До них належать:

- використання рециркуляції реагентів.

Рециркуляція дає можливість комплексно використовувати не лише сировину, але й енергію за рахунок повнішого використання теплової енергії потоків, які виходять з кожного хіміко-технологічного елемента, що економить паливо і зменшує викиди речовин й теплоти у довкілля. Цей підхід одночасно підвищує й економічність виробництва.

- повнота виділення продуктів з реакційної суміші.

У багатотоннажних виробництвах навіть при незначному вмісті домішок у сировині вони будуть нагромаджуватися в значних кількостях (іноді десятки тисяч тонн на рік) у побічних продуктах і відходах. Виділені з них домішки можуть бути сировиною для інших процесів чи виробництв, що дозволить знизити собівартість цільового продукту.

- Застосування суміщених процесів.
- Розробка процесів з низьким енергоспоживанням.

Безвідходна технологія повинна забезпечувати одержання цільових продуктів з мінімальними витратами енергетичних засобів, що спрощує задачу регенерації теплоти. Основним напрямком підвищення енергетичної ефективності виробництва є зниження його енергоємності, зокрема за рахунок використання ВЕР.

- Повнота використання енергії системи.

Використання ВЕР не лише знижує витрату енергії у виробництві, але і запобігає скиданню теплоти в довкілля. Резервом економії теплоти у хімічних процесах є: підвищення ефективності використання ВЕР; підвищення рівня регенерації теплоти охолоджуваних продуктів; впровадження сучасних енерготехнологічних систем. Джерелами ВЕР (насамперед, теплових) є фізична теплота контактних і димових газів, нагрітих продуктових потоків, теплота парового конденсату тощо. Доцільність використання ВЕР залежить від їхньої кількості, енергетичного потенціалу, можливості використання отриманої енергії. Для утилізації ВЕР використовуються підігрівачі повітря різних конструкцій і розмірів, котли-утилізатори, теплообмінники, газові холодильники. Ефективним методом використання ВЕР є одержання холоду в абсорбційних холодильних машинах, в яких як теплоносії застосовують вторинну пару, перегрітий конденсат, гарячу воду або паливний газ. Найефективнішим способом зниження втрат теплоти на підприємствах є максимальна заміна пари гарячою водою.

- Розробка технології з мінімальною витратою води і використанням її кругообігу.

Хімічні підприємства споживають значну кількість води: один завод – у середньому 50–100 тис. т/рік води.

Одним з основних принципів створення безвідходних виробництв є зменшення споживання свіжої води і перехід на замкнуті системи промислового водопостачання з повторним використанням у цих системах відпрацьованих стічних вод. Цього досягають: розділенням систем каналізації за видами стоків, які підлягають обов'язковому очищенню; поверненням у систему промислового водопостачання умовно чистих стоків; будівництвом нових, розширенням і реконструкцією існуючих установок для знешкодження висококонцентрованих специфічних стічних вод і осадів, що утворюються під час очищення виробничих стічних вод і відходів, з обов'язковою утилізацією теплоти і концентрованої мінералізованої ропи; створенням системи оборотного водопостачання з охолодженням оборотної води.

Застосовуються такі системи оборотного водопостачання: з охолодженням води; з очищенням води; з очищенням і охолодженням води. Охолодження води здійснюється в системах оборотного водопостачання: замкнута – охолодження технологічних потоків здійснюється оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода охолоджується повітрям у закритому оребреному теплообміннику; напівзамкнута – технологічні потоки охолоджуються в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або у холодильниках зрошування; комбінованих – знесолена чи зм'якшена вода охолоджується оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або в холодильниках зрошування.

Водночас застосування повітряних холодильників, градирень, повітряно-конденсаційних установок не вирішує проблеми утилізації теплоти і теплового забруднення атмосфери.

Тому необхідно: створювати технологію з мінімальним використанням води; розробляти способи утилізації теплоти води з низьким тепловим потенціалом.

Економічні показники систем водоочищення значно покращуються при кооперуванні цих систем з основним виробництвом. У цьому випадку значну частину воду можна використати в системі замкнутого технічного водопостачання. Внаслідок цього: немає необхідності очищати воду відповідно до санітарних вимог, що суттєво знижує витрати на її очищення; використання цієї води значно покращує роботу теплообмінної апаратури, оскільки через відсутність солей та інших домішок сповільнюється утворення накипу, корозія обладнання й біологічне обростання поверхонь теплообміну; підприємство припиняє чи значно скорочує забір свіжої води.

- Повнота використання газових потоків і очищення газових викидів.

У хімічних виробництвах утворюється велика кількість газових викидів, які містять продукти реакцій, а також розчинники та інші допоміжні речовини. Очищення цих викидів від названих речовин дає змогу одночасно розв'язувати дві задачі: екологічну – зменшення викидів шкідливих речовин у довкілля; економічну – використання вловлених продуктів як сировини чи допоміжних речовин у інших виробництвах.

Для очищення значних об'ємів газових потоків необхідно вибирати способи з мінімальною витратою енергії.

- Застосування апаратів і технологічних ліній великої одиничної потужності.

Інтенсивним напрямком розвитку хімічної промисловості є безперервне нарощування потужності окремих апаратів і установок, а екстенсивним – використання декількох паралельно працюючих апаратів чи технологічних ліній з меншою потужністю.

Впровадження потужніших апаратів має переваги і особливості: при подвоєнні потужності питомі капітальні витрати зменшуються на 15-20%; енергетичні витрати зростають пропорційно співвідношенню потужностей  $(P2/P1) \cdot 0,5$ ; сумарна вартість обладнання зростає пропорційно до  $(P2/P1) \cdot z$ ,  $z = 0,6-1$ ; собівартість продукції зменшується пропорційно до  $(P2/P1) \cdot n$ ,  $n = 0,2-0,3$ , зокрема, при подвоєнні потужності вона зменшується на 13-15%.

Водночас є обмеження щодо збільшення одиничної потужності технологічного обладнання, а саме: потреба промисловості в певній продукції та розподіл її за регіонами; витрати на доставку сировини і продукції, які, як правило, зростають при збільшенні потужності виробництва; експлуатаційна надійність – зупинення високопродуктивних апаратів не лише призводить до недоодержання продукції, але й у деяких випадках до зупинення суміжних апаратів.

Проблема обґрунтування потужності апаратів і технологічних ліній об'єднує не лише безпосереднє зіставлення техніко-економічних показників установок різної потужності, але й розгляд впливу безлічі економічних, економіко-географічних і екологічних умов.

- Застосування безперервних процесів.

Одним з найважливіших принципів створення безвідходних технологій є застосування безперервних багатотоннажних процесів, які мають переваги, вказані вище.

- Повнота використання рідких і твердих відходів.
- Високий ступінь автоматизації.

Розробка технології безвідходних виробництв неодмінно пов'язана з їхньою автоматизацією, що дає змогу значно підвищити надійність і ефективність роботи як окремих апаратів, так і системи загалом. Найлегше автоматизуються безперервні процеси, тому що значення їхніх регульованих параметрів зазвичай змінюються незначно. Найбільшої ефективності автоматизованих систем керування досягають при використанні комп'ютерної техніки.

- Забезпечення високої надійності та стабільності роботи виробництва.

Підвищення надійності виробництва є проблемою, без вирішення якої неможливе подальше збільшення одиничної потужності технологічного обладнання. Застосування апаратів великої одиничної потужності також вимагає високої надійності всіх апаратів технологічної схеми.

#### 5.2.4. Організаційні принципи створення безвідходних технологій

Організаційні принципи мають велике значення під час створення безвідходних (маловідходних) виробництв. Серед них найважливіші:

Кооперування і комбінування різних виробництв за рахунок проектування:

- підприємств різного типу, на яких створюються виробництва, різні за технологією та продукцією, з метою комплексної переробки сировини;
  - спеціалізованих підприємств, на яких виробляється однорідна за технологією виробництва чи використання продукція.
- Концентрування хімічних виробництв розвивається в таких напрямках:
- міжгалузеве комбінування виробництв шляхом створення багатонаменклатурних і багатогалузевих підприємств;
  - галузева спеціалізація промислових об'єктів;
  - створення виробничих і науково-виробничих об'єднань.

Найперспективнішою формою організації є науково-виробничі об'єднання, до яких входять промислові підприємства, науково-дослідні та проектні інститути, що створює найсприятливіші умови для розробки і впровадження нової технології.

Під час створення виробничих чи науково-виробничих об'єднань враховують:

- близькість технологій одержання продукції;
- можливість кооперування виробництв, сукупність яких забезпечує випуск кінцевої підгалузевої чи галузевої продукції;
- можливість послідовної чи комплексної переробки сировини;
- можливість централізації допоміжних та обслуговуючих виробництв і служб;
- можливість раціонального територіального розміщення кооперованих виробництв;
- можливість зарахування до складу об'єднань науково-дослідних, проектних інститутів і конструкторських бюро відповідного профілю.

Створення безвідходних територіально-промислових комплексів полягає у кооперуванні виробництв різних галузей промисловості, що знаходяться в одному регіоні. Ці комплекси об'єднують хімічні виробництва й інших галузей промисловості (наприклад, будівельної), енергетичні об'єкти (електростанції) і навіть міські комунікації, які дають побутові відходи.

Створення технології переробки відходів виробництв. Створення безвідходних технологій передбачає утилізацію та переробку відходів виробництва їхнім перетворенням на цінні для промисловості продукти або сировину для інших виробництв. Лише за відсутності способу переробки відходи знищуються, але обов'язково використовується їхня внутрішня енергія (зокрема спалюванням).

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 5.2 можна ознайомитись за посиланням: [Кравченко І. В., Соколенко Н. М. Утилізація та знешкодження промислових та побутових відходів стор. 37-45.](#)

### Тема 5.3. Основи проектування з використанням ВІМ-моделі



#### Поняття та його визначення

Головний реєстр документів - показує в будь-який час список і поточну редакцію всіх документів проекту.

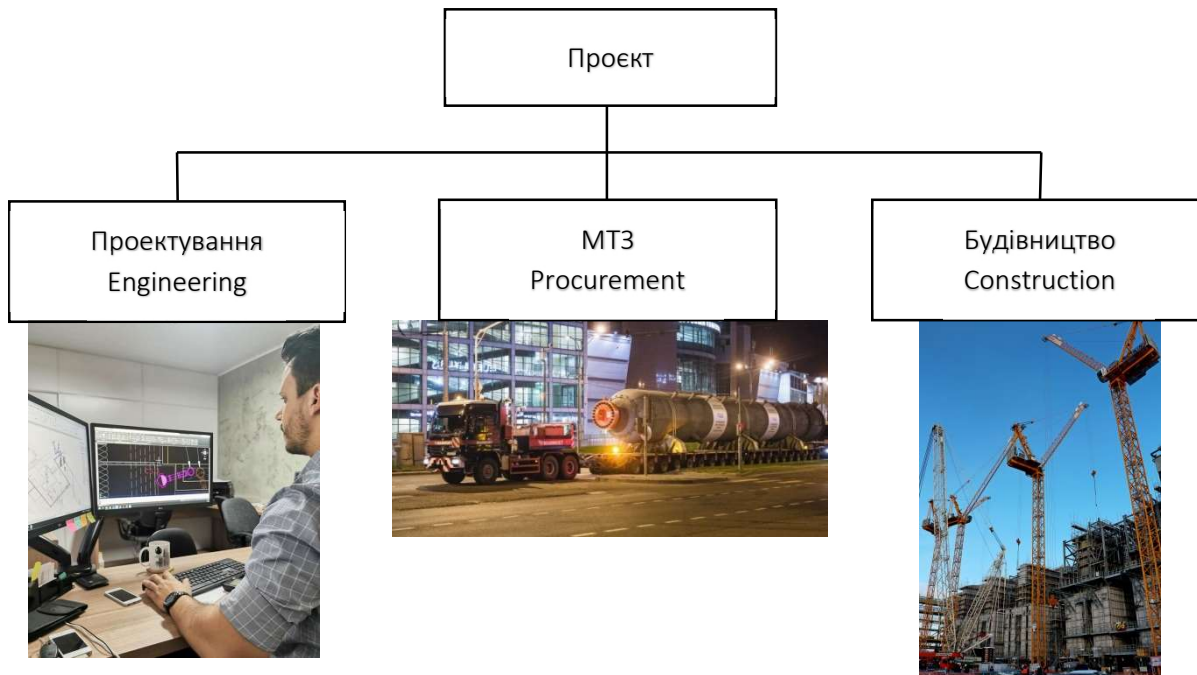
Компонування - взаємне розташування технологічної апаратури на виробничому майданчику.

Колізія – перетин, конфлікт, між дисциплінарними рішеннями в зонах технологічної установки.



#### Основні теоретичні положення

Реалізація проекту промислового об'єкта складається з трьох основних видів діяльності: проектування, матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) та будівництва, за якими слідують пусконаладжувальні роботи і введення в експлуатацію.



Проектування включає діяльність з розробки проекту заводів/установок, випуск всіх специфікацій на обладнання та матеріали, а також випуск всіх креслень, необхідних для будівництва об'єкта.

Матеріально-технічне забезпечення (МТЗ) включає закупівельну діяльність всього обладнання і матеріалів на підставі специфікацій і опитувальних листів, підготовлених під час проектування.

Будівництво передбачає виконання будівельно-монтажних робіт, тобто цей вид діяльності включає монтаж всього обладнання і всіх матеріалів, закуплених матеріально-технічним забезпеченням, відповідно до креслень і у відповідності зі специфікаціями, розробленими під час проектування.

Проектування – це перша і найважливіша частина виконання проекту, оскільки рішення, розроблені під час проектування, в подальшому будуть відтворені всіма учасниками проекту: МТЗ не закуповує нічого, крім того, що визначив і вказав в специфікації проектувальник, а будівельник зводить об'єкт відповідно до проектних креслень, розроблених проектувальником.

Проектування - це завдання для перетворення набору функціональних вимог у повний комплект креслень і специфікацій, що відображають кожну деталь промислового об'єкта проектування.

Проектування включає в себе безліч дисциплін (технологію, безпеку, промислове будівництво, електричні системи, системи КВП, системи опалення та вентиляції) і вирішує різні завдання, починаючи від концептуальних завдань високого рівня і закінчуючи створенням дуже детальних креслень для будівництва.

Проект виробничого об'єкта зазвичай розробляється в 4 етапи:

- фаза бізнес-планування;
- концептуальний дизайн, який також називають етапом базового проектування;
- етап Front End Engineering Design (FEED);
- детальне проектування і будівництво об'єкта.

Базове проектування зазвичай виконується в рамках контракту з надання проектних послуг, у той час як детальне проектування зазвичай є частиною контракту проектування, закупівлю і будівництво об'єкта (EPC), який також називають контрактом «під ключ».

Деталізація і рівень опрацювання «Базового проекту» (Basic Engineering) і «Проекту» (FEED) обумовлені точністю в оцінці планованих капітальних витрат: для стадії «Базовий проект» відхилення в оцінках кошторисної вартості становить +/- 30%; стадія FEED, як правило, забезпечує достатню точність оцінки капітальних витрат для інвестування в межах відхилень кошторисної вартості +/- 10%.

Фаза бізнес-планування:

- Мета: визначити комерційну можливість для бізнесу.
- Зміст: технічна експертиза, укрупнений графік етапів робіт, орієнтовний діапазон вартості проекту.
- Результати: функціональні вимоги, економічна оцінка.
- Виконує: інвестор (наприклад, власник заводу).  
Базовий проект (концептуальний дизайн):
- Мета: підтвердити можливість виконання, вибрати технологію, уточнити кошторисну вартість, виявити ризики.
- Зміст: оцінка альтернатив, підтвердження можливості виконання.
- Результати: кошторисна вартість проекту з точністю +/- 30%, попередній графік, план розміщення обладнання, обрана технологія процесу.
- Виконує: інжинірингова компанія.  
FEED:
- Мета: уточнити кошторисну вартість, забезпечити виконання наступних фаз (підготовка EPC).
- Зміст: оцінка альтернатив, підтвердження можливості виконання, комплект проектно-технологічної документації.
- Результати: кошторисна вартість проекту з точністю +/- 10%, розроблений комплект проектно-технологічної документації для EPC, заявки-потреби в матеріалах і обладнанні тривалого терміну виготовлення.
- Виконує: інжинірингова компанія.

Точність кошторисної вартості, передбачена на етапі FEED, вимагає наявності відомості потреби в матеріалах (сталевий прокат, бетон, труби, кабельна продукція та інші матеріали) для оцінки вартості придбання даних матеріалів і здійснення будівельно-монтажних робіт на об'єкті. Щоб підготувати відомості потреби матеріалів необхідно розробити креслення і на їх основі підготувати переліки з кількістю необхідних матеріалів.

Оцінка капітальних витрат, вироблена на етапі проектування Базовий проект, не вимагає відомості потреби в матеріалах, оскільки обсяги і кількість оцінюються з використанням відносних оцінок (наприклад, вага трубопроводів становить X% від ваги обладнання). Таким чином, BASIC Engineering зупиняється на специфікації обладнання, тоді як стадія FEED включає в себе набагато більший обсяг проектних робіт.

Економічна доцільність проекту оцінюється цими двома етапами - базовим проектом і FEED.

Завдання FEED полягає також у тому, щоб підготувати вичерпний набір документів, які чітко визначають всі технічні вимоги (обсяг робіт, креслення і специфікації) для детального проектування і будівництва установки, які, таким чином, можуть бути укладені в рамках контракту з фіксованою сумою.

На стадії FEED проектування ґрунтується на оцінчій інформації щодо обладнання (наприклад, габаритах обладнання, споживаної ним потужності і т. д.).

Основна відмінність FEED від робочого проекту полягає в тому, що на етапі FEED обладнання не закуповується. Під час робочого проектування, навпаки, обладнання закуповується у виробників. Це дозволяє отримувати від виробників уточнену інформацію щодо обладнання (габаритні розміри, споживання електроенергії та т. д.) й інтегрувати це обладнання в проект.

Детальний проект, включає в себе специфікацію всього обладнання установки, а також підготовку всіх креслень і специфікацій для здійснення будівництва. Рівень деталізації, з таких дисциплін як проектування будівельних з/б конструкцій, проектування металевих конструкцій, проектування технологічних трубопроводів, систем КВП, залежить від розподілу відповідальності, погодженого з будівельним підрядником. Наприклад, можливо, що труби діаметром менше DN 50 виключаються зі сфери компетенції при детальному проектуванні. Конфігурація трубопроводів для труб малого діаметра, відвантаження та закупівля супутніх матеріалів (зварювальні матеріали, трубопровідні опори і т.п.) знаходяться у веденні будівельного підрядника. План виконання робіт за проектом містить матрицю

розподілу відповідальності, яка визначає, хто і що робить, між підрядником з проектування і будівельним підрядником.

Загальний процес проектування можна представити нижче наведеною схемою (рис. 46).

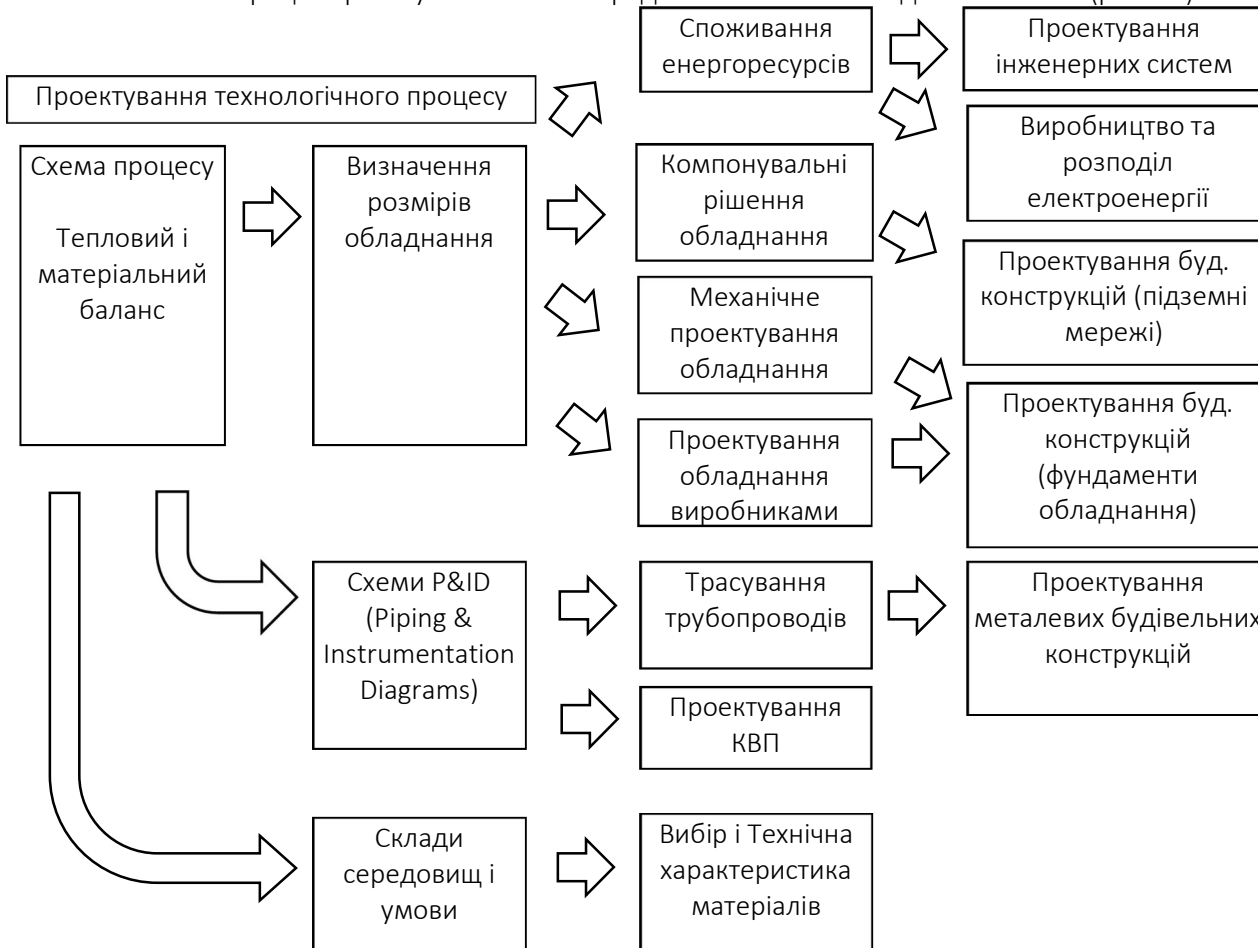


Рис. 46. Схема проектування технологічного процесу

Для технологічного процесу - розробляється технологічна схема, виконується моделювання, що дозволяє визначити розмір/режим роботи технологічного обладнання.

Далі слідує механічне проектування обладнання, яке надає розміри обладнання, на основі яких може бути визначено компонування установки. Також визначаються з даними щодо ваги/навантаження обладнання.

Проектування технологічного процесу триває, і визначаються всі трубопровідні лінії, прилади КВП, необхідні для роботи установки. Ця інформація використовується в якості обсягу робіт для дисциплін «Трубопроводи» і «КВП».

Трасування трубопроводів визначає необхідні трубопровідні естакади, місця майданчиків для обслуговування і зон для доступу до арматури і т.д.

Генерування електроенергії розраховується, виходячи зі споживання технологічним обладнанням. Розподіл електроенергії проектується, виходячи з розташування основних споживачів. Те ж саме відноситься і до інших інженерних систем, необхідних для обладнання установки, таких як охолоджують або нагрівають рідини, паливний газ тощо.

Матеріал конструкції кожної трубопровідної лінії і позиції обладнання вибирається залежно від умов експлуатації і середовища. Однак проектування не є лінійним процесом. Це ітераційний процес. Наприклад, компонувальний план установки може бути переглянутий за результатами наступних

проектних робіт, включаючи проектування обладнання постачальниками, прокладку і розрахунок трубопроводів, прокладку підземних мереж (систем каналізації).

Проектування розділене між дисциплінами. Звичайний поділ дисциплін показано нижче на схемі (рис. 47).

Розподіл за дисциплінами відповідає принципу розподілу обладнання/матеріалів установки за типами, наприклад, технологічне обладнання, трубопроводи, електричне обладнання, контрольно-вимірювальні прилади (КВП) і т.д.

Кожній дисципліні присвоюються певні категорії обладнання/матеріалів. Коректний вибір обладнання/матеріалів і підрахунок їхньої кількості дозволить в подальшому виконати закупівлю.

Технічна документація і креслення є результатами праці інженерів проектувальників.

За проектом випускаються тисячі проектних документів і креслень. Проте, є певний набір даних типів документів. Наприклад, за дисципліною «Трубопроводи» випускається безліч креслень, що охоплюють всю територію установки, всі вони одного типу: «План розташування трубопроводів».

Використовується система кодифікації документів, що дозволяє швидко ідентифікувати номер проекту, проектну дисципліну, тип документу або матеріалу, серійний номер і ревізію документа.

Головний реєстр документів (MDR) показує в будь-який час список і поточну редакцію всіх документів проекту.

Процес проектування є ітераційним (рис. 48). Документи редагуються під час розробки.

Документація зазвичай видається для розгляду Замовником (IFR), для проектування (IFD) і, нарешті, для будівництва (IFC).

Проектна документація включає:

- схеми, які відображають концепцію
- креслення, що відображають фізичну реальність (координати розміщення установки на території заводу), мають певний масштаб і напрями півночі,
- інформацію, яка показує розподіл території установок на кресленнях
- опитувальні листи
- записки до розрахунків і технічні вимоги.

Технічні вимоги включають в себе проектні специфікації, що містять проектні основи і критерії, специфікації поставки, які містять технічні вимоги до обладнання та матеріалів, і специфікації будівельних робіт, що встановлюють вимоги до будівництва.

До сторін, які беруть участь в проектуванні установки, входять Замовник (наприклад: власника заводу), який перевіряє проект, а також різні компанії-постачальники (наприклад: постачальник теплообмінного обладнання, постачальник запірної арматури, постачальник запобіжних клапанів, постачальник регулюючих клапанів).

Поставка включає обладнання та матеріали. Під обладнанням розуміється механічне обладнання, таке як судини під тиском, теплообмінники і т. д. Під поставкою матеріалів, розуміється поставка матеріалів розсипом, партіями (такі матеріали як труби), кабельна продукція і т. д.

Технологічні рішення (відомості про дисципліну проекту «Технологія»). Основним завданням проектувальника промислових об'єктів, є визначення технологічної схеми. При роботі над схемою проектувальник повинен забезпечити можливість вироблення необхідного асортименту продуктів потрібної якості при мінімальних капітальних витратах і експлуатаційних витратах, гарантувати безперебійну роботу виробництва, безпеку і надійність при експлуатації установки.

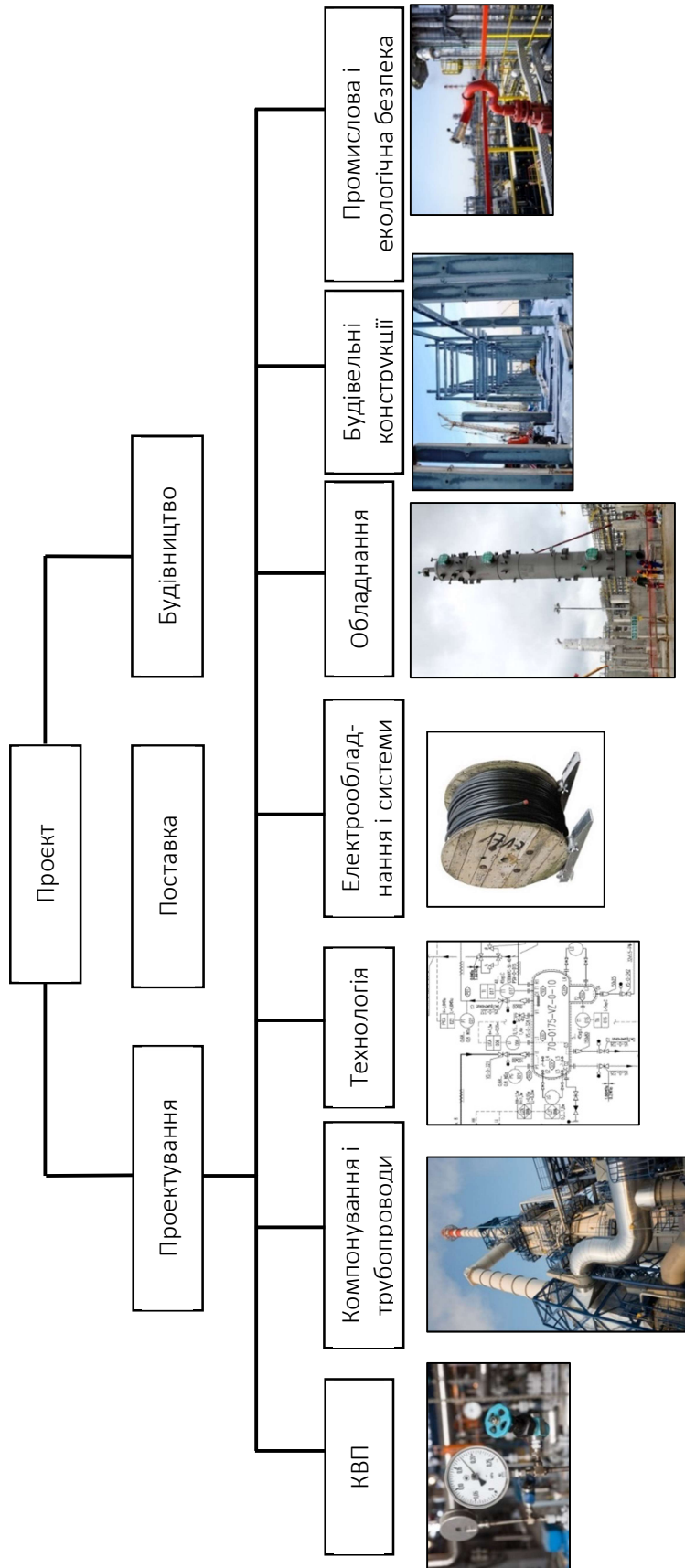


Рис. 47. Схема розподілу дисциплін проектування

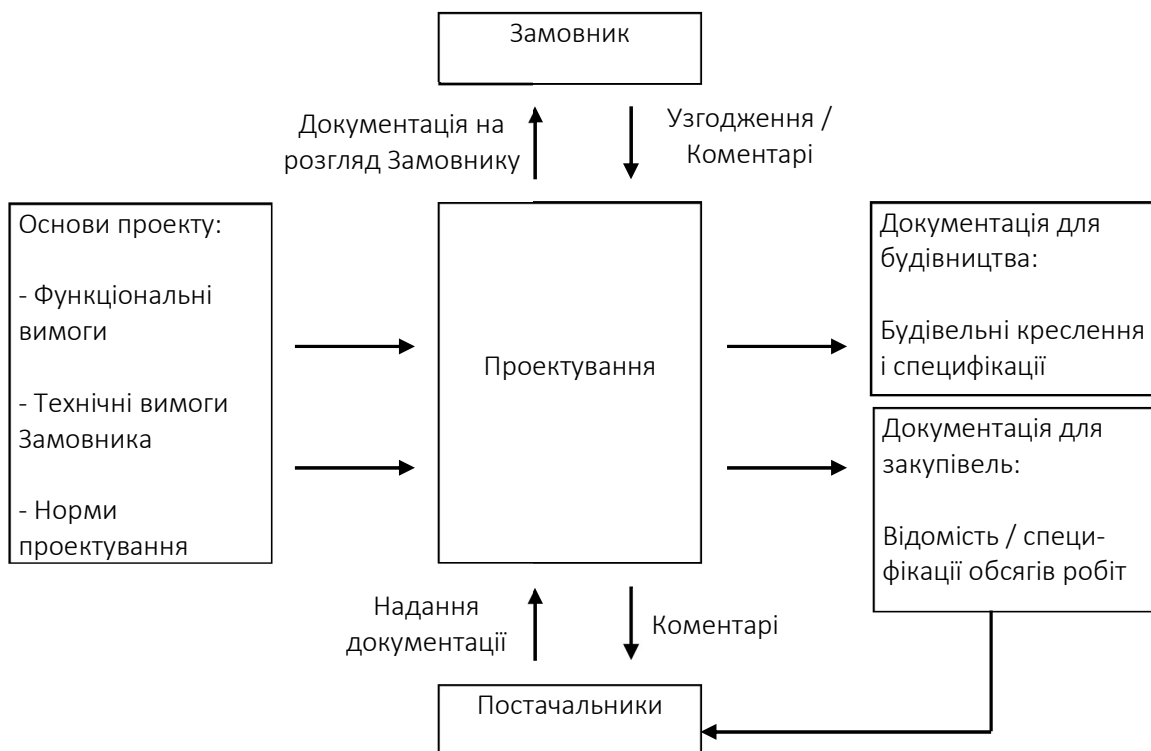


Рис. 48. Ітерації процесу проектування

Спочатку розробляється блок-схема основних технологічних операцій які необхідно здійснити з сир

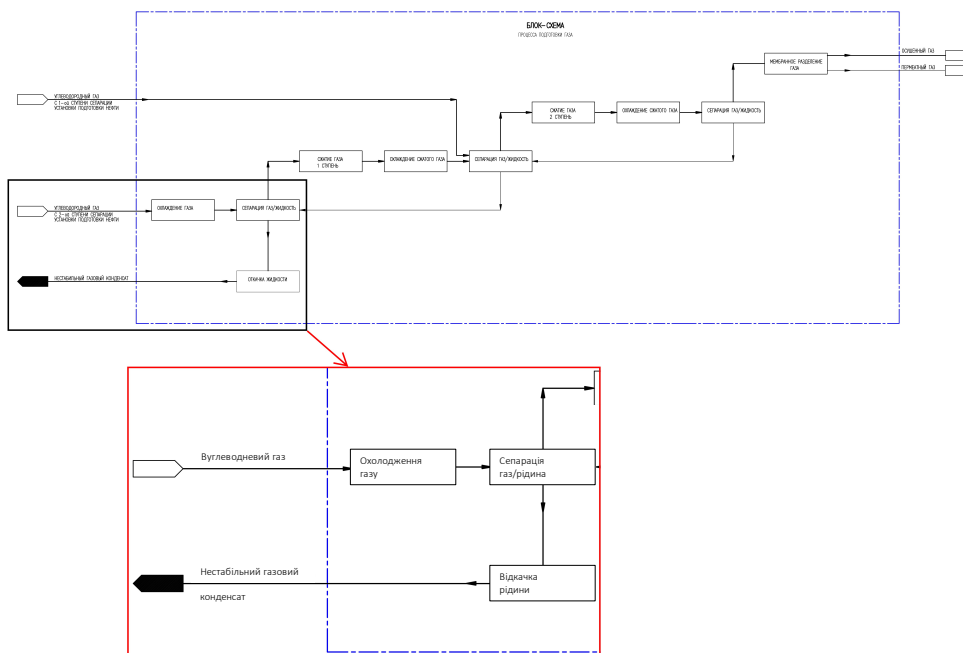


Рис. 49. Блок-схема підготовки газу

Як показано на рис. 49, схема процесу складається з набору послідовних і взаємопов'язаних технологічних операцій. Для багатьох технологічних установок використовуються загальновідомі технологічні процеси, проте існують технологічні установки, які використовують ліцензований процес. У

таких випадках робота з проектування технологічного процесу буде виконуватися не проектувальником, а ліцензіаром процесу.

Перше завдання проектувальника – змоделювати попередню схему процесу в комп'ютерній програмі термодинамічного моделювання. Цей клас комп'ютерних програм використовує термодинамічні моделі для моделювання поведінки середовищ при різних технологічних операціях: фазовий розподіл, стиснення газу, теплообмін і т.д. Розрахункова схема процесу в комп'ютерній програмі термодинамічного моделювання представлена на рис. 50.

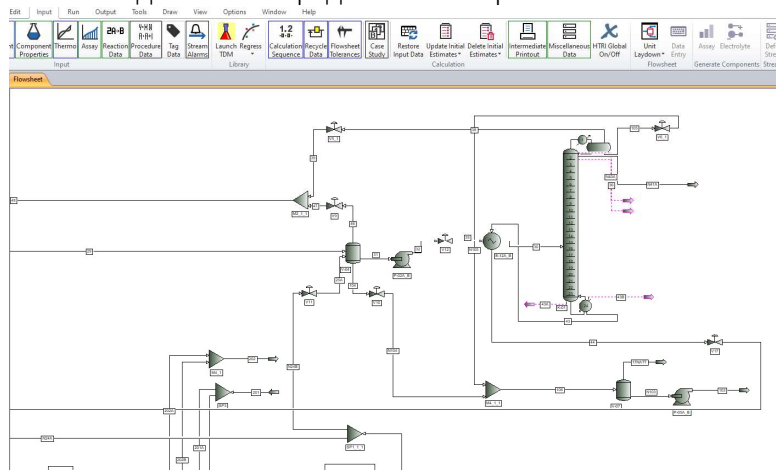


Рис. 50. Розрахункова схема процесу в комп'ютерній програмі термодинамічного моделювання

У програмі вбудовані термодинамічні властивості для більшості компонентів, що дозволяє розраховувати різні тепло-фізичні властивості і створювати адекватну розрахункову модель технологічного процесу.

109

Наприклад, за допомогою програмного забезпечення можна розрахувати теплове навантаження для теплообмінного обладнання, яке визначається як різниця між ентальпією вхідного і вихідного потоків (рис. 51).

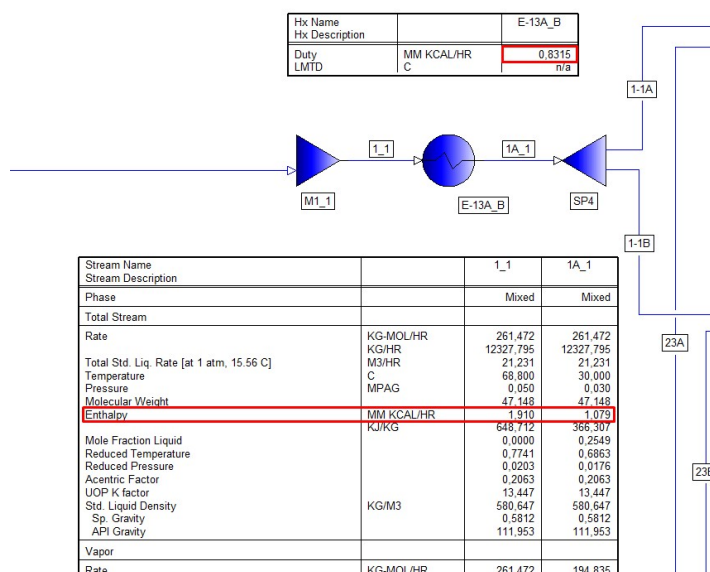


Рис. 51. Приклад розрахунку ентальпії обладнання

Проектувальниками опрацьовуються і розраховуються різні варіанти схеми технологічного процесу, щоб знайти оптимальний розрахунковий варіант роботи установки. При цьому повинні

виконуватися вимоги до одержуваної на установці продукції (тобто до якісних показників продукції, що виробляється, наприклад, вміст у продукті певного компонента має становити не менше 99% масових). Приклад розрахункової схеми з комп'ютерної програми представлений на рис. 52.

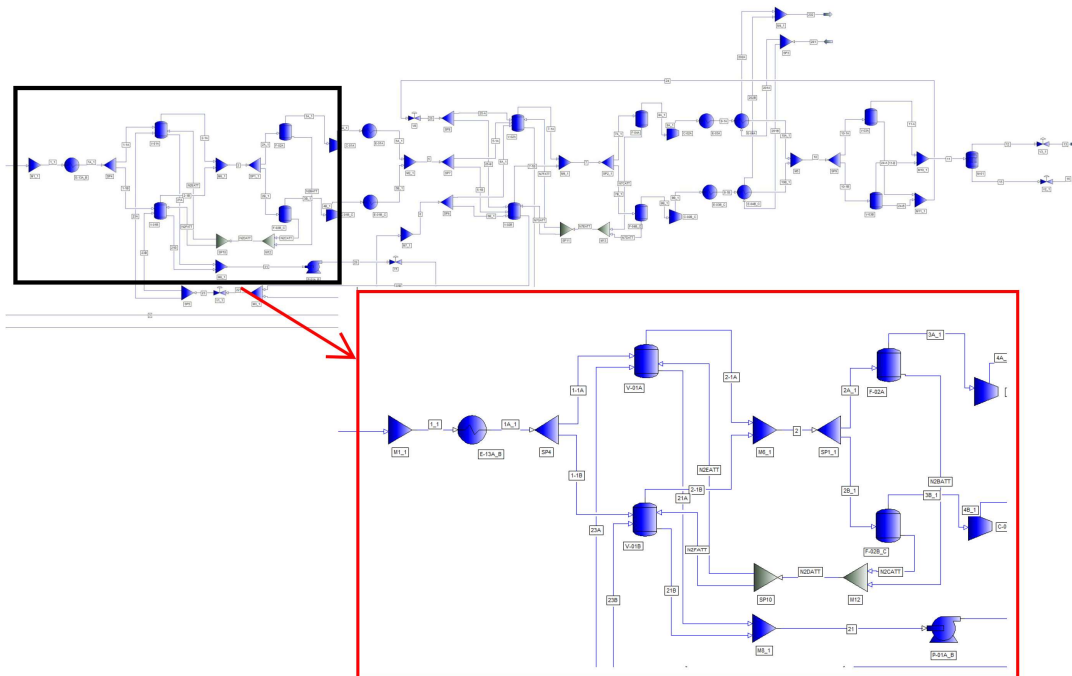


Рис. 52. Приклад розрахунку ентальпії обладнання

В результаті проектувальник готує принципову технологічну схему (Process Flow Diagrams PFD). На цій схемі відображено основне технологічне обладнання (наприклад, сепаратори, теплообмінники, насоси і т.д.) і основні технологічні потоки. Приклад принципової технологічної схеми представлений на рис. 53.

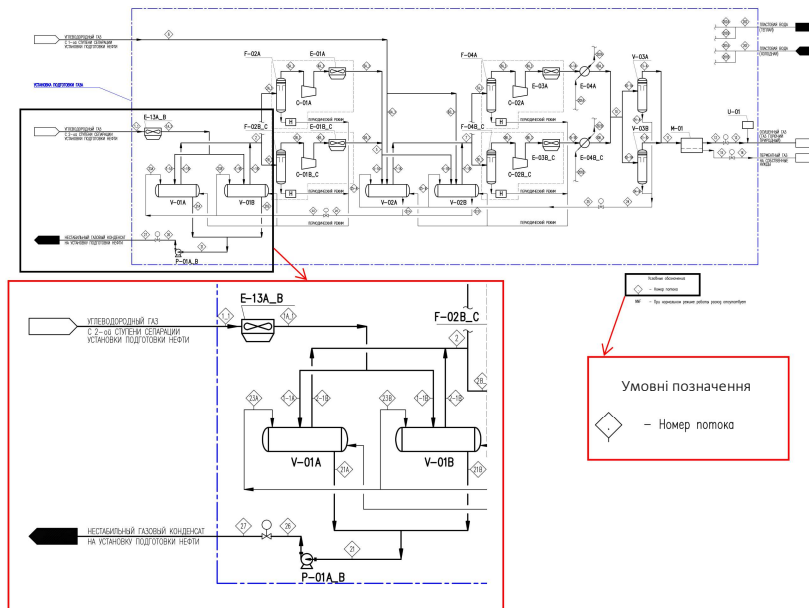


Рис. 53. Принципова технологічна схема

Також спільно з принциповою технологічною схемою проектувальники розробляють опис технологічного процесу.

У принциповій технологічній схемі виконується маркування потоків. Ці технологічні потоки, а також їхні властивості та компонентний склад, отримані за допомогою комп'ютерної програми термодинамічного моделювання, зводять в таблицю матеріального балансу. Матеріальний баланс відображає характеристики вхідних і вихідних потоків для кожної одиниці обладнання (компресора, теплообмінника, сепаратора і т. д.), ці дані є основою для вибору обладнання і визначення його габаритів, а також інших технічних параметрів апаратів.

Наступною важливою задачею проектувальника є підбір технологічного обладнання. Визначення основних вимог до будови і конструкції таких видів технологічної апаратури, як ємнісне обладнання (ємності, резервуари), фазороздільне обладнання (сепаратори, роздільники), масообмінне обладнання (колонні апарати), реакційне обладнання (реакційні апарати), як правило, виконується розробником технологічних рішень. Для даного типу обладнання проектувальник виконує технологічні розрахунки і визначає необхідні габарити. На підставі розрахунків готується опитувальний лист, в якому відображаються технічні вимоги, а також додається ескіз апарату. Приклад фрагмента опитувального листа наведено на рис. 54. Для машинного обладнання (насоси, компресори) також заповнюється опитувальний лист, але оскільки їх внутрішню конструкцію, як правило, розробляють безпосередньо виробники насосного або компресорного обладнання, то опитувальний лист для насосів/компресорів не містить ескізів. Для більшості теплообмінного обладнання, так само як і для основних видів технологічної апаратури, проектувальники виконують розрахунки і розробляють опитувальні листи з ескізами. Однак для специфічних типів теплообмінної апаратури або для пічного обладнання, в яких вибір конструкції виконується виключно виробником теплообмінного апарату, опитувальний лист розробляється також без ескізів.

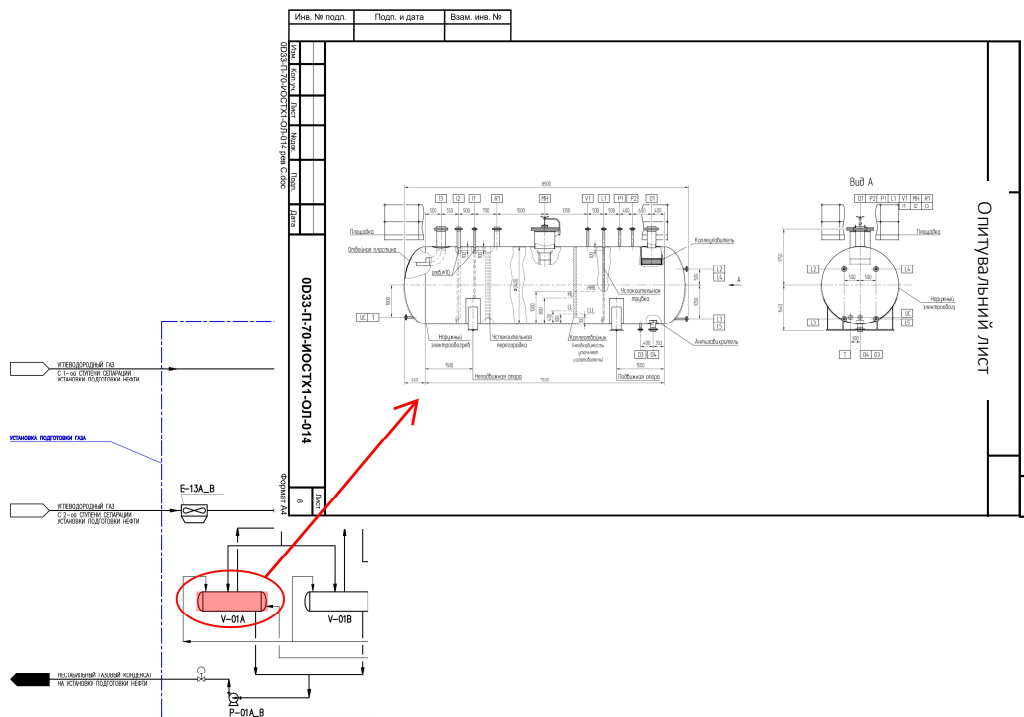
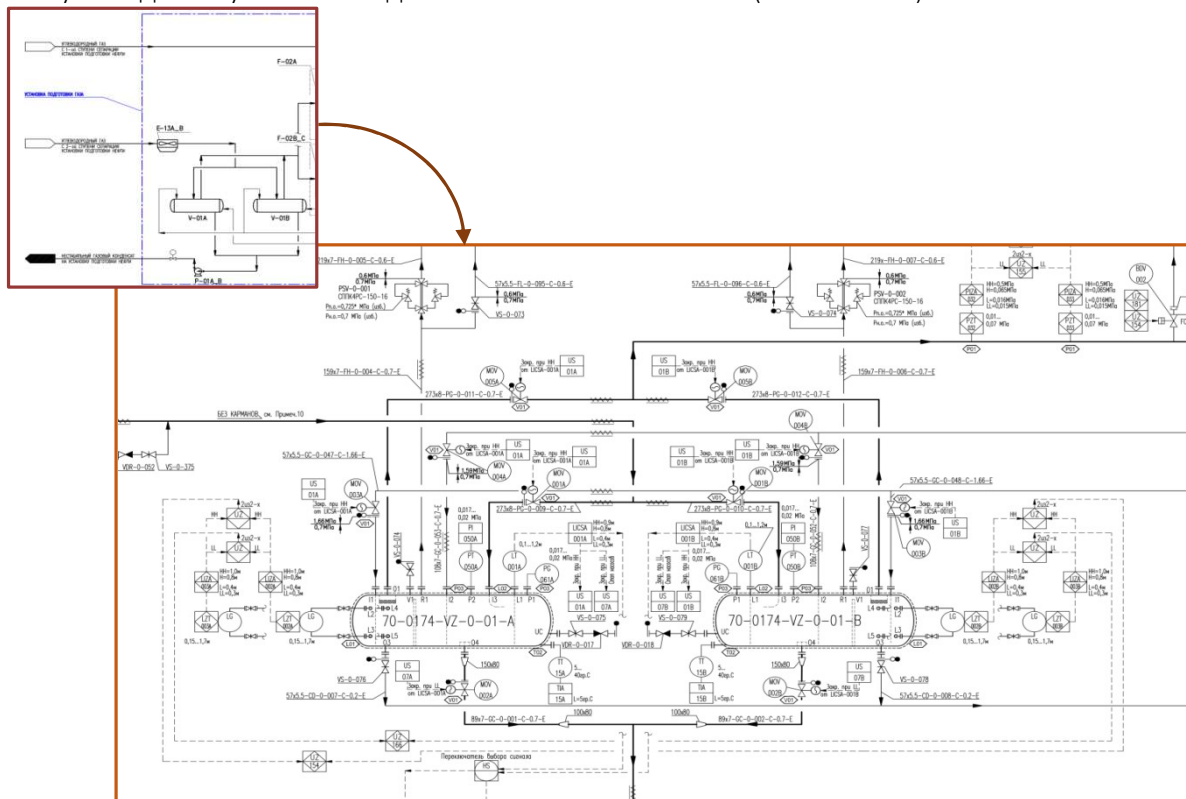


Рис. 54. Опитувальний лист

У практиці проектування також використовується так зване «блокове обладнання», яке представляє собою функціональний технологічний блок повної заводської готовності. Для такого виду обладнання, як правило, проектувальник вказує параметри на вході і на виході з блоку (на його кордоні), а проектування даного блоку виконує постачальник цього блокового обладнання.

Також проектувальники продовжують працювати з принциповою технологічною схемою, поступово деталізуючи її зміст до технологічної схеми з КВП (схеми Р & ID) Рис. 55.



112 Рис. 55. Технологічна схема з КВП (схеми Р & ID)

На схемах Р&ID детально показано обладнання, трубопроводи, клапани (ручні/приводні/запобіжні), контрольно-вимірювальні прилади, засоби управління технологічним процесом, аварійні сигнали процесу, пристрої технологічного та аварійного відключення, необхідні під час нормальної експлуатації, а також для пуску, технічного обслуговування та експлуатації установки в режимі низької продуктивності та ін.

У схемах Р&ID враховані численні вимоги до експлуатації, безпеки, технічного обслуговування, в тому числі:

- Моніторинг процесу: прилади для вимірювання температури, тиску і витрати, включаючи індикацію того, чи повинно виміряне значення бути доступним за місцем або відображатися в операторній.
- Елементи управління процесом, які показані на схемах Р&ID за допомогою пунктирної лінії між контрольованим параметром процесу (витрата, тиск, температура) і регулюючим клапаном.
- Автоматизація процесів.
- Дублювання обладнання та приладів КВП.
- Аварійне відключення технологічного процесу: датчики і відсічна арматура.
- Аварійне відключення і скидання тиску на установці: для обмеження поширення небезпечних речовин установка розділена на блоки, які можуть бути ізольовані в разі аварії за допомогою швидкодіючої відсічної арматури, а в самому блоці буде скидатися тиск в спеціальну систему.
- Філософія ізоляції, що дозволяє демонтувати для обслуговування: запірну і перепускную арматуру, передбачену для відключення обладнання та приладів КВП для проведення технічного обслуговування. Здування, дренажні лінії і лінії для подачі інертних середовищ передбачені для операцій скидання тиску, дренажування і продувки обладнання.

- Філософія дренажування: поділ і утилізація стоків, які утворюються.
- Система скидання тиску (запобіжні клапани на обладнанні, факельні лінії).
- Лінії під час пуску або зупинки для операцій продувки, розігріву і т.д.
- Теплова ізоляція/електрообігрів обладнання та трубопровідних ліній.

Умовні позначення для схем P&ID відображають значення графічних елементів і символів, які використовуються в P&ID. Для контрольно-вимірювальних приладів використовуються стандарти (наприклад: стандарт ISA - International Society of Automation Міжнародна Асоціація Автоматизації), що забезпечують засоби передачі вимог до контрольно-вимірювальних приладів, автоматизації зрозумілі всім учасникам проектування.

Численні вузли, що повторюються в P&ID такі як ізоляція обладнання, дренажі, повітряні клапани, блоки запобіжних клапанів, арматура для відключення і байпасування регулюючих клапанів, рамки проектування, вузли відборів проб повинні бути визначені на початку проекту, типізовані, показані як типовий вузол для схем P&ID. Потім у вигляді ідентифікатора застосовуються при оформленні схем P&ID.

Схеми P&ID є документами, за допомогою яких дисципліна «Технологія» взаємодіє з фахівцями з дисциплін «КВП» і «Трубопроводи». Схеми P&ID повинні включати:

- Усі позиції обладнання;
- Номер й опис кожної позиції обладнання з відповідними розрахунковими умовами;
- Відповідну внутрішню будову устаткування, наприклад, розподільники потоків, перегородки, тарілки і т.д.;
- Всі лінії (технологічні, допоміжні, необхідні для пуску і технічного обслуговування) із зазначенням діаметра, номінального ряду тиску, матеріалу, середовища, що транспортується, номери відрізка лінії, трубопровідного класу, показника про зміну трубопровідного класу, інформації про зовнішні захисні покриття (наприклад, ізоляція на випадки індивідуального захисту персоналу, обігрів за допомогою супутника);
- Інструкції щодо рамок проектування між сторонами, наприклад Підрядником і Постачальником;
- Уся арматура для експлуатації, пуску, технічного обслуговування, включаючи відсічну, зворотну арматуру і т.д. з ідентифікацією типу арматури;
- Всі прилади КВП з детальними контурами управління, наведеними відповідно до символів ISA, поміченими відповідно до єдиної системи нумерації проекту, приладами встановлюються за місцем або передають сигнали на локальну панель управління, контурами і блокуванням (з коротким описом, наприклад, запуск/зупинка, дозвіл на запуск і т.д.);
- Регулюючі клапани, двохпозиційні клапани;
- Запобіжні клапани (з заданим значенням налаштування відкриття клапана, діаметрами на вході / виході);
- Електричні елементи управління, такі як місцевий або дистанційний запуск / зупинка насоса, аварійне відключення;
- Сигнали управління і контролю для динамічного обладнання та електродвигунів;
- Інформація, що стосується трасування лінії або опор: пряма довжина, ухил, відсутність кишень, мінімальна відстань, симетричне розташування, вимога безпечного розташування здування, двофазний потік і т.д.

Схеми P&ID - це основні документи, які показують процес роботи установки, зокрема майбутнього оператора технологічної установки. Зустріч з розгляду P&ID між Проектувальником і Замовником проводиться на ранній стадії проекту, щоб зібрати всі вимоги Замовника. Потім P&ID переглядаються з урахуванням цих вимог і отримують схвалення Замовника. Це важливий крок у ході проекту. Після цього, P&ID зі статусом «випустити для проектування-IFD» передається для проектних дисциплін, зокрема «Трубопроводи» і «КВП» для розробки цих частин проекту.

Компонування і трубопроводи

Після того, як технологічне обладнання установки підібрано, завершена підготовка принципової технологічної схеми (PFD), виконано опис технологічного процесу та розроблено схеми P&ID, проектувальники дисципліни проекту «Компонування і трубопроводи» визначають топографічне планування об'єкта. Для цього спочатку визначається ділянка, на якій розміщуватиметься установка, а потім в межах даної ділянки виконується розробка компоновки установки.

Територія заводу зазвичай ділиться на кілька функціональних зон: виробнича, допоміжна, зона сировинних і товарних парків, підсобна.

У виробничій зоні розміщують технологічні установки, тобто установки, на яких із сировини отримують продукти.

У допоміжній зоні розміщують об'єкти, що забезпечують виробництво електроенергією, парою, охолоджуючої водою, стисненим повітрям, азотом та іншими енергоносіями. Також в цій зоні розміщують установки для очищення дощових стоків, очищення виробничих стоків, установки зі спалювання газових викидів.

У зоні сировинних і товарних парків розміщуються об'єкти зберігання продукції.

У підсобній зоні розміщуються заводські лабораторії, ремонтно-механічні цехи та інші об'єкти підсобно-допоміжного призначення.

Від розміру ділянки, де буде побудована установка, залежить компонування установки.

Під компонуванням установки розуміють взаємне розташування технологічної апаратури на виробничому майданчику.

Обмежений розмір земельної ділянки призведе до необхідності вертикального (багатоповерхового або багаторівневого) розташування обладнання на установці, а не до горизонтального (одноповерхового або однорівневого). Складний рельєф ділянки визначатиме терасне розташування об'єктів установки, що мінімізує земляні роботи. Геотехнічні властивості ґрунту на ділянці будівництва також впливають на розміщення об'єктів установки (наприклад, при розміщенні надважкого або відповідального обладнання).

Під час роботи над компонуванням установки враховують інфраструктурні чинники: розташування доріг, наявність поруч з ділянкою зовнішніх інженерних мереж (електромережі, мережі водопостачання, мережі каналізації та ін.). Відомості про інфраструктурні особливості території можна побачити на генеральному плані ділянки. Приклад генерального плану наведено на рис. 56.

Після визначення майданчика розміщення технологічної установки проектувальники приступають до опрацювання графічного плану розміщення в його межах технологічного обладнання. При розробці компоновки використовується актуальна інформація про обране технологічне обладнання (ескізи з опитувальних листів, креслення виробників обладнання, креслення з каталогів типового обладнання і т.п.) і дані про технологічний процес (принципова технологічна схема, опис технологічного процесу, схеми P&ID і т.п.). Фрагмент компонування обладнання показаний на рис. 57.

Розташування обладнання на установці визначається відповідно до низки принципів і, в першу чергу, пов'язаних з безпекою (наприклад, потенційно небезпечне обладнання не розміщують поруч з будівлями, в яких можуть знаходитися люди). Обладнання класифікується за ризиком виділення горючих матеріалів (витік) або їх займання (вибух, пожежа). Рівень ризику в основному залежить від робочих умов: чим вище тиск і температура, тим вище ризик. Мінімальна відстань між апаратами встановлюється нормативними документами, як правило, в області протипожежного проектування, промислової безпеки та технологічного проектування.

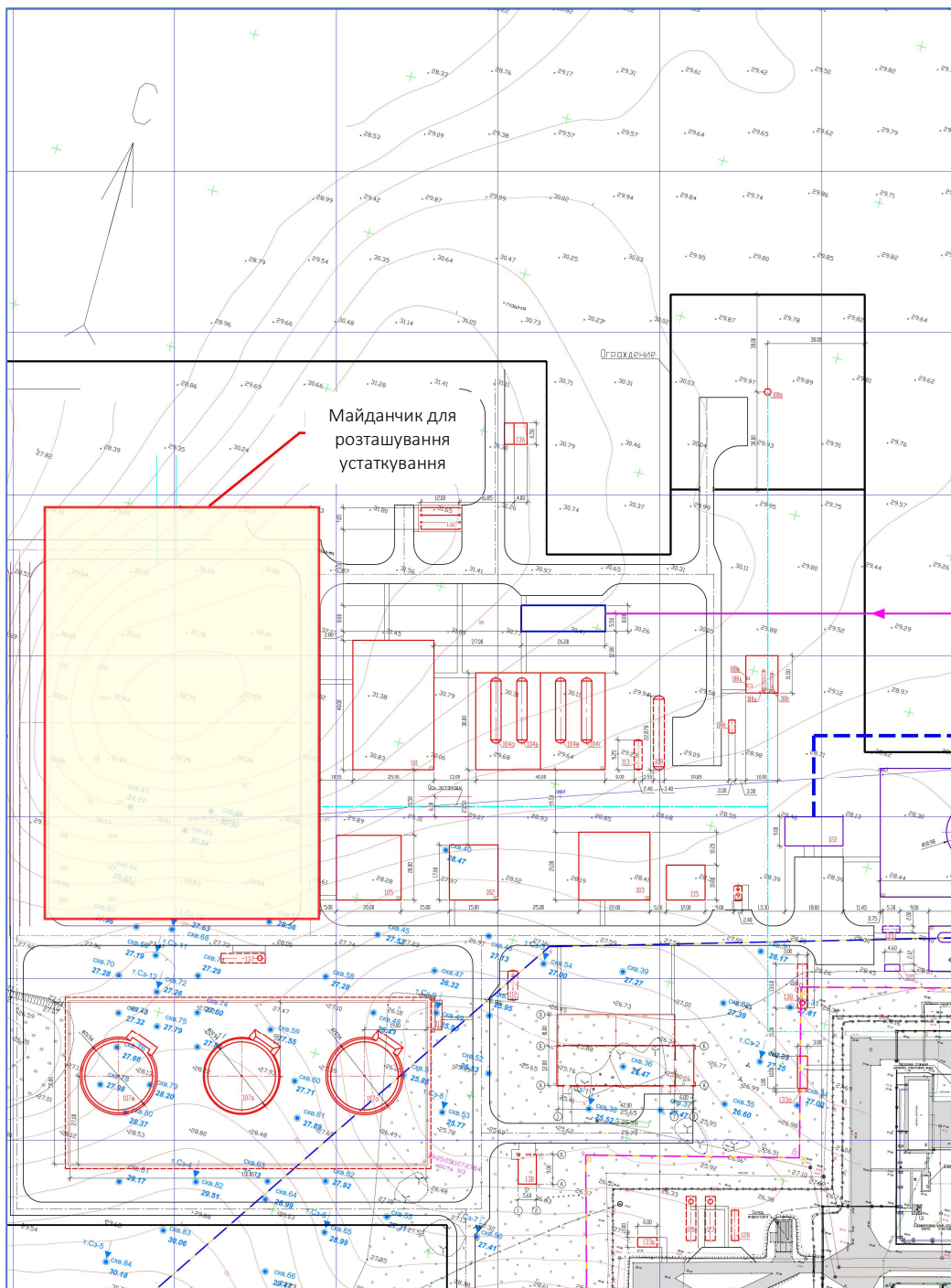
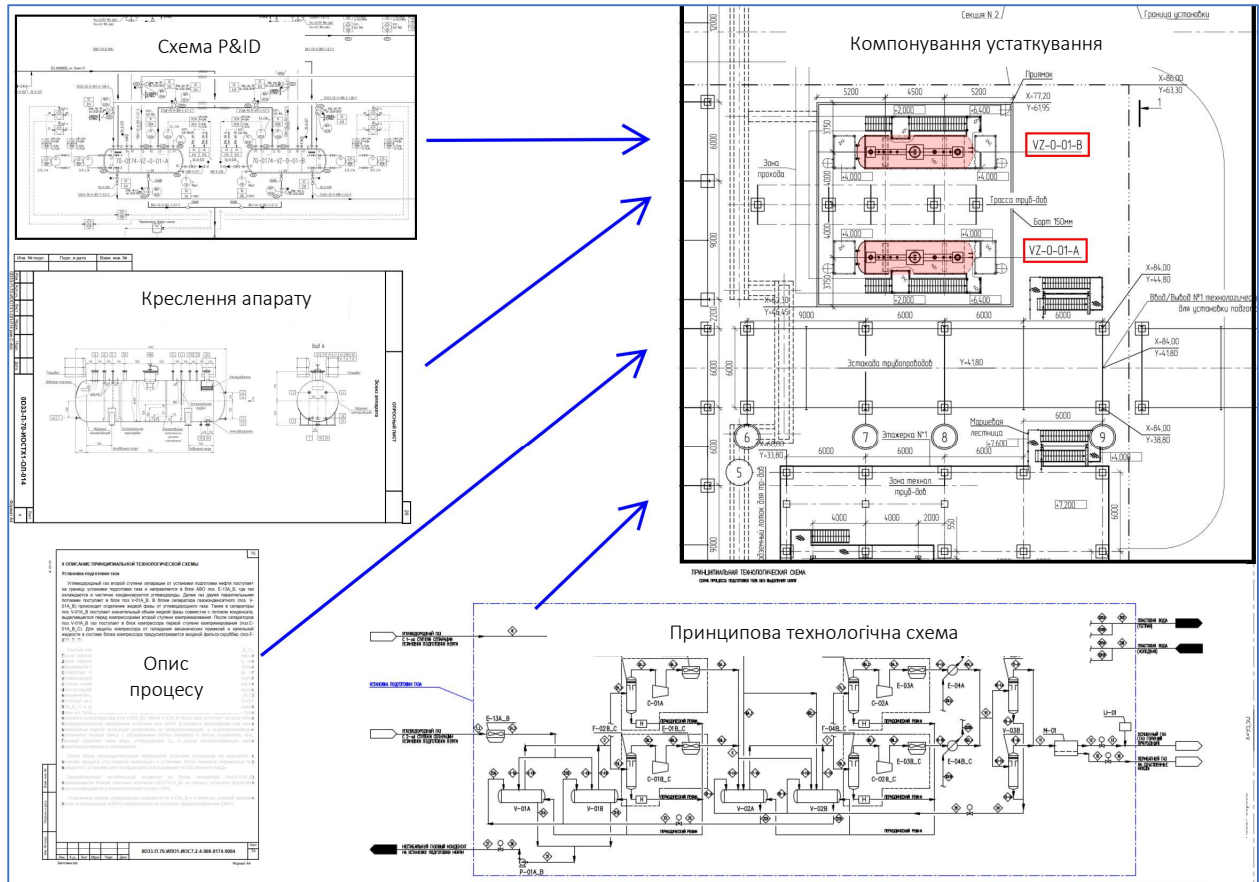


Рис. 56. Приклад генерального плану

Процес створення компонування пов'язаний з різноманітним опрацюванням і послідовним пошуком найбільш раціонального, з точки зору розробника, варіанта розміщення обладнання. Одним із способів, який використовується при компонуванні, є «зонування простору» (рис. 58). На підставі технічної характеристики обладнання умовно виділяються зони, які можна використовувати: для розміщення обладнання, для організації проходів персоналу, для обслуговування обладнання, для розміщення трас трубопроводів, для розміщення майданчиків обслуговування, для цілей монтажу/демонтажу обладнання. Тобто в компоновочному просторі виділяються зони («коридори»)/просторові блоки) для певних цілей (зона для технологічного обладнання, зона для технологічних комунікацій, зона для демонтажу обладнання, зона для



116

Рис. 57. Компонування обладнання

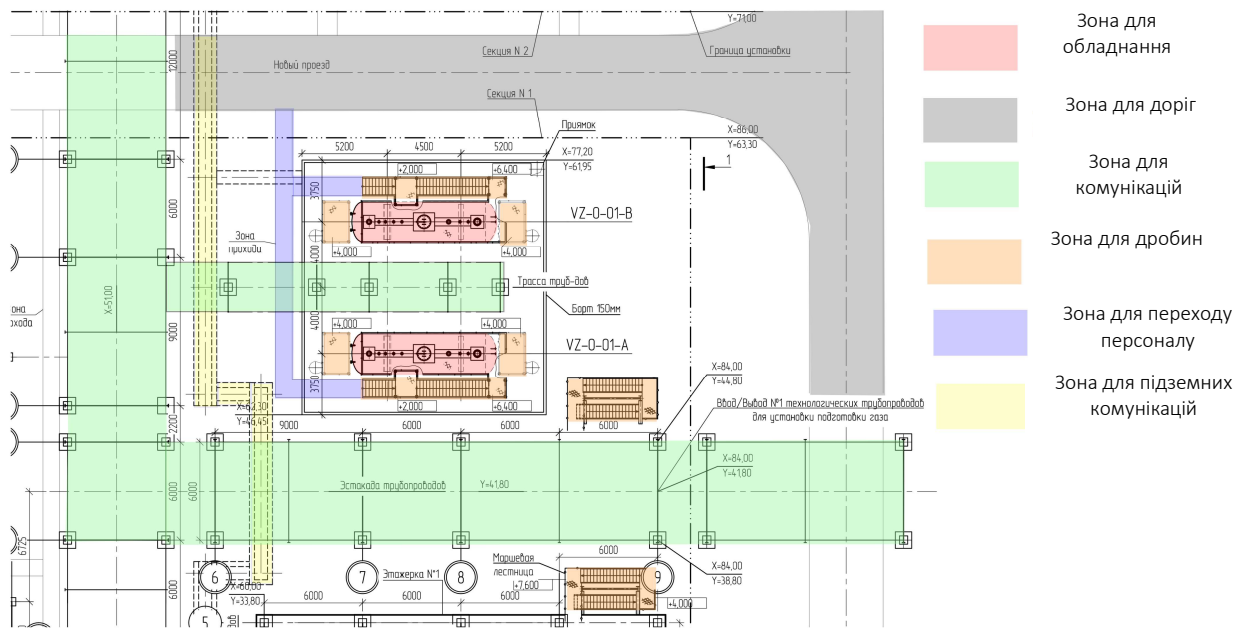


Рис. 58. Компонування обладнання за принципом «зонування простору»

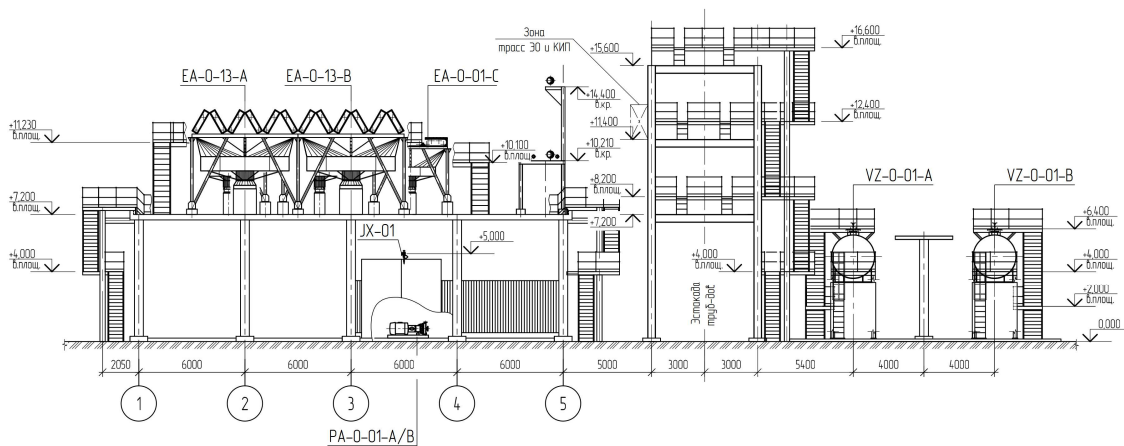
проходу обслуговуючого персоналу, зона для сходів і майданчиків, зона для кранового обладнання та т.п.) і в межах цих зон можна розміщувати тільки функціонально пов'язані з нею об'єкти (наприклад, в зоні для

проходу обслуговуючого персоналу не можна розміщувати обладнання). При цьому габарити цих зон (ширина, довжина, висота) повинні визначатися з урахуванням особливостей виробництва, зручності обслуговування обладнання і трубопроводів, вимог промислової і пожежної безпеки, вимог будівельних норм і правил. При компонованні установки використовується принцип групування. Апаратура групується за функціональним призначенням, за умовами зручності монтажу та обслуговування. Якщо є однакові типи апаратів для різних технологічних позицій, то виконати групування однотипної апаратури в межах певної зони (наприклад, відцентрові насоси в кількості більше трьох одиниць можна згрупувати в блок насосної). Значним критерієм для вибору оптимального варіанта заповнення компоновочного простору є стрункність, симетрія і максимальна впорядкованість розміщення апаратури.

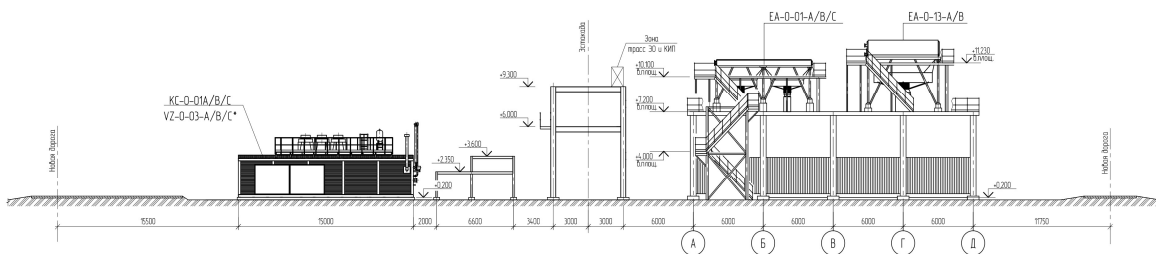
Розміщення обладнання на різних висотних відмітках від рівня землі в ряді випадків визначається технологічною необхідністю. Наприклад, насос розміщують нижче в порівнянні з емністю, з якої цим насосом проводять відкачування.

Результатом розробки компоновання обладнання є креслення розташування технологічного обладнання та розрізи. Приклади компоновання обладнання представлені на рис. 59.

Розріз 1-1



Розріз 3-3



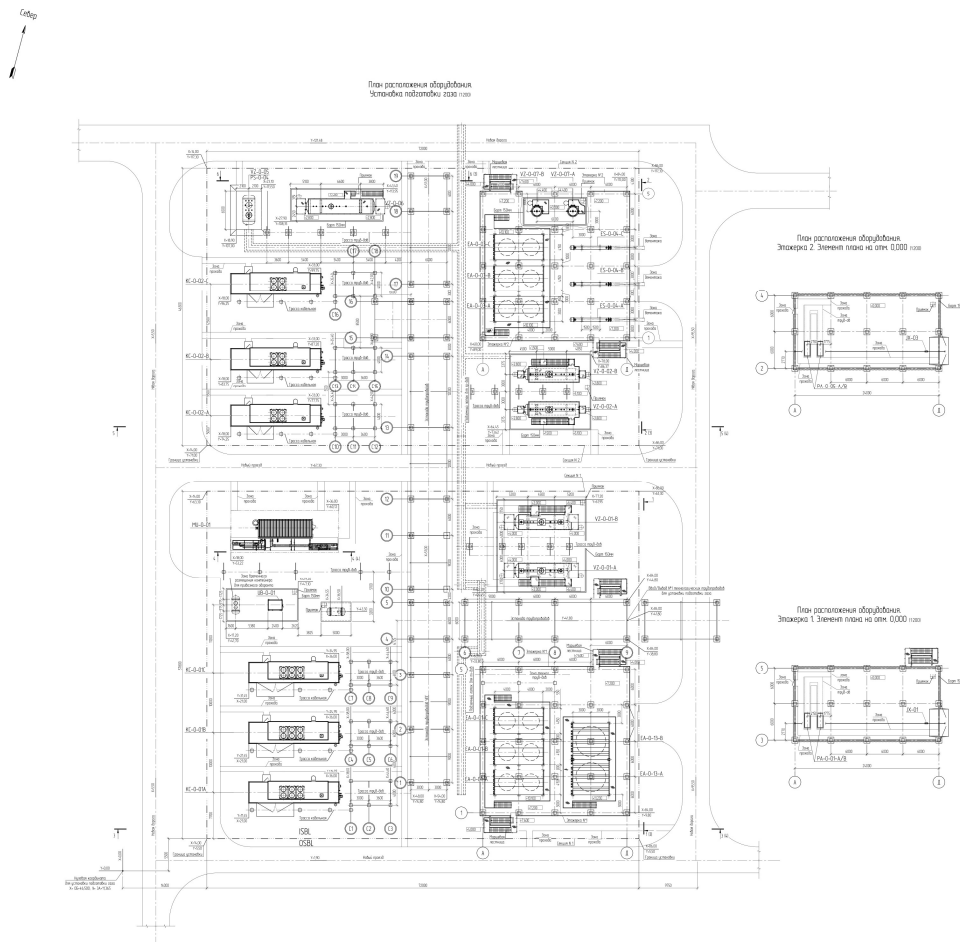


Рис. 59. Розташування технологічного обладнання та розрізи

Дисципліна «Трубопроводи» охоплює такі три аспекти:

Розміщення трубопроводів - включає розробку конструкцій трубопроводів і бере участь в розробці компоновки установки;

Матеріальне виконання трубопроводів - включає інформацію про характеристики елементів трубопроводів;

Аналіз напружень трубопроводів - включає розрахунки трубопроводів на міцність і жорсткість.

З урахуванням переліку технологічних середовищ, отриманого від дисципліни «Технологія», визначаються групи матеріалів трубопроводів (які називають класами).

Класи трубопроводів дає можливість стандартизувати матеріальне виконання трубопроводів в проекті, використовуючи одні й ті ж матеріали для декількох технологічних середовищ. Таким чином, матеріали на будівельному майданчику будуть уніфікованими і взаємозамінними (наприклад: в разі необхідності зайвий матеріал для будь-якої лінії класу AA1 може бути використаний для будь-якого іншого трубопроводу того ж трубопровідного класу, якщо на будівельному майданчику відбудуться зміни в одній з трубопровідних ліній, буде легше знайти доступні матеріали).

За конструкцією технологічний трубопровід включає в себе безліч компонентів: прямі ділянки труби, відводи, трійники, фланці, переходи, арматура і т.д. Кожен з трубопровідних компонентів повинен бути коректно вказаний в проекті для виконання закупівель. На етапі проектування трубопроводів інформація про трубопровідні деталі вказується в специфікації трубопровідних класів.

Для кожного елемента в специфікації трубопровідного класу визначені:

- матеріал з посиланням на норматив, стандарт, креслення;

- геометрія/розміри деталей з посиланням на технічний стандарт, наприклад ДСТУ, для відводів (ДСТУ ГОСТ 17375-2003, що визначає конструкцію і розміри);
- товщина стінки, для кожного діаметра труби, розраховується на основі застосованих проектних норм, тиску, температури, властивостей матеріалу, допуску на корозію і виробничих допусків.

Трубопровідний клас містить таблицю з'єднань для відгалужень, в якій вказується тип з'єднань в залежності від діаметрів магістралі і відгалуження (типи з'єднань трубопроводів: трійники, або посилені врізки, або врізка без посилення). Поставка матеріалів для трубопроводів вимагає часу, при тому, що ці матеріали необхідні на ранній стадії на об'єкті, щоб почати попереднє виготовлення.

Точний перелік необхідних матеріалів для виготовлення трубопроводів буде відомий тільки в кінці проекту, коли проектування буде завершено і випущений весь комплект креслень і ізометричних креслень трубопроводів. Організаційні підходи реалізації проекту не дозволяють очікувати повний перелік матеріалів і закупівлю для проекту потрібно здійснювати за даними попередніх оцінок обсягу трубопровідних матеріалів. Під час опрацювання проектних рішень відбувається уточнення кількості необхідних матеріалів і вносяться коректування в замовлення на закупівлю.

Одним із завдань проектувальника на даному етапі є коректно вказати технічні характеристики труб і деталей при формуванні документів, на підставі яких будуть виконані технічні запити на адресу постачальників матеріалів трубопроводів. Також на етапах підрахунку матеріалів для труб і деталей потрібна адекватна оцінка їх кількості.

Короткі технічні вимоги для ручної арматури можуть наводитися в трубопровідному класі, включаючи посилання на норми щодо конструкції та виготовлення, матеріал корпусу і внутрішніх ущільнюючих деталей, тип корпусу/кришки арматури, матеріал сідел і прокладок і т.п. У разі, якщо для трубопровідної арматури розробляються опитувальні листи (див. малюнок), в трубопровідних класах інформація по арматурі наводиться в скороченому вигляді з посиланням на опитувальний лист.

Розміри ручної арматури стандартизовані і визначені в каталогах заводів-виготовлювачів, або вказуються в опитувальних листах.

Арматура може піддаватися важким умовам експлуатації (наприклад: ерозія), а їх ущільнювальні частини вимагають вибору відповідного матеріалу. Для кожного типу арматури (кульовий клапан, засувка, запірний клапан, дисковий затвор) випускаються технічні вимоги, щоб врахувати доповнення під конкретний проект.

При розробці рішень по трубопроводах встановлюються розміри технологічних конструкцій, визначається ширина і кількість рівнів трубопровідних естакад.

Дисципліна «Трубопроводи» випускає два типи креслень: креслення розташування трубопроводів, які використовуються для монтажу трубопроводів, і ізометричні креслення, які використовуються для попереднього виготовлення трубопроводів.

Креслення розташування трубопроводів містить всю інформацію, необхідну для монтажу трубопроводу: всі розміри, відмітки, положення клапанів і т.д. У минулому креслення розташування трубопроводів виконувалося вручну і було основою для створення ізометричних креслень. В даний час для створення планів розташування трубопроводів і ізометрій використовуються спеціалізовані інструменти САПР.

#### 3D модель установки

Технологічні установки через обмежений простір зазвичай перевантажені великою кількістю елементів. Кілька дисциплін розміщують своє обладнання в одному і тому ж обмеженому просторі: обладнання, труби, опори, металеві конструкції, кабелі та інше.

Координація декількох дисциплін раніше виконувалася в 2D, шляхом накладання різних креслень від декількох дисциплін. Креслення виконувалися на прозорих плівках, наприклад, поєднувалися креслення трубопроводів, з кресленнями фундаментів, кресленнями підземних трубопроводів, всі креслення виконувалися в однаковій системі координат.

З часом накладання креслень стало функцією програмного забезпечення для 2D-проекування, такого як AutoCAD, яке дозволяє різним дисциплінам працювати в незалежних шарах, позначених

різними кольорами на екрані, наприклад кабельні муфти - зеленим, а труби - чорним. При проектуванні, в будь-який час інженер-проектувальник може відобразити на екрані план будівельних конструкцій, щоб перевірити, чи немає колізій (перетинів) будівельних рішень і дизайну трубопроводів.

Сучасні системи автоматизованого проектування можуть працювати у 3-х мірному вимірі, що дозволяє побудувати 3D-модель установки (рис. 60). Раніше, для виготовлення зменшених макетів установок використовувався клей та пластмасові деталі, тепер це замінено на цифрові 3D-моделі, які зберігаються на сервері і можуть бути доступні для багатьох користувачів одночасно з декількох проектних офісів.

Тривимірне зображення майбутньої установки зрозуміло кожному. 3D використовується для перевірки та оптимізації конструкцій, а також для генерації креслень і відомостей матеріалів.

Всі об'єкти в 3D змодельовані в масштабі. Модель максимально точно дає уявлення про те, як буде виглядати установка. Всі споруди, проїзди, шляхи евакуації, будівельні конструкції, обладнання, труби, опори для труб, арматури, приводи арматури, кабельні лотки, розподільні коробки та ін. детально моделюються для кожної проектної дисципліни.

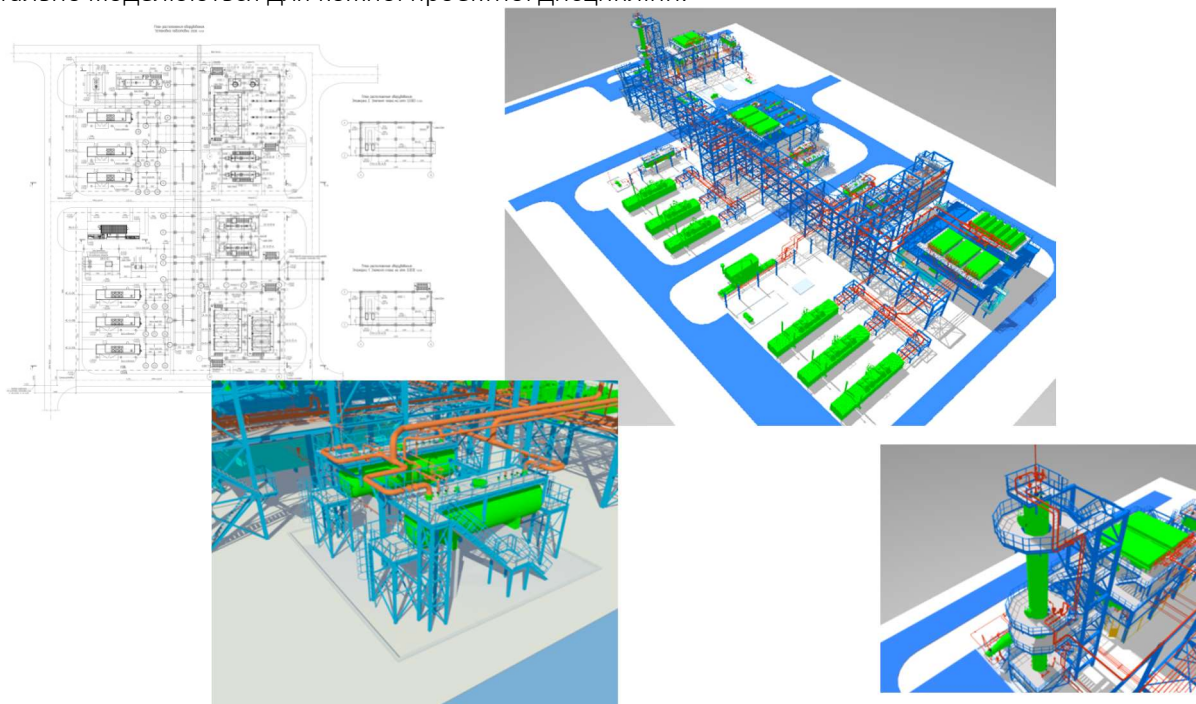


Рис. 60. 3D-модель установки

Використання 3D-моделі особливо корисно для зон, де простір обмежений і використання простору має бути максимально оптимізовано.

Тривимірна модель використовується для перевірки трасування технологічних трубопроводів, зон доступу обслуговуючого персоналу, місць розташування приладів КВП, датчиків загазованості, протипожежного обладнання, місць під вузли допоміжних постів (вузли для продувки інертним середовищем, вузли для пропарювання) та ін.

Використання такої системи дозволяє виявляти і усувати колізії між дисциплінарними рішеннями в перевантажених зонах технологічної установки. Наприклад, на рис. 61 показана колізія двох трубопроводів. Крім візуального огляду 3D моделі щодо можливих колізій, система може виконувати автоматичну перевірку, щоб точно визначити колізії, що залишилися непоміченими.

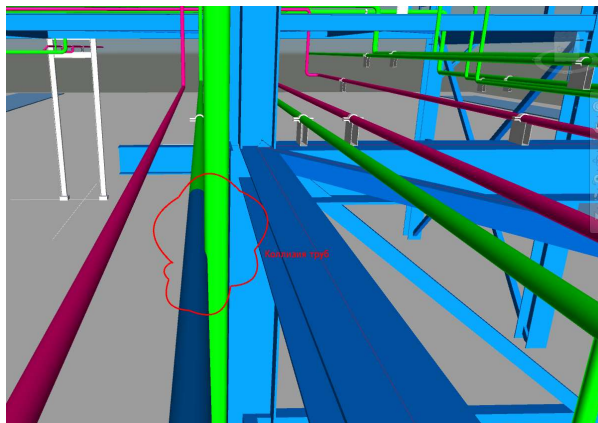


Рис. 61. Колізія двох трубопроводів

Розгляд 3D моделі зазвичай виконується на трьох етапах проектування.

Перший огляд моделі (умовна завершеність моделі 30%), який також називають оглядом ситуаційного плану установки:

- Мета: фіналізувати ситуаційний план.
- Склад: моделюється обладнання і 30% трубопроводів, тобто всі лінії PFD.
- Результат: після включення коментарів Замовника, ситуаційний план випускається в якості основи для подальшого проектування.
- Розглянуті аспекти: розташування установки, розташування обладнання, основні шляхи доступу і евакуації до об'єктів, траси для основних трубопроводів, зазначених на PFD, розташування основних колекторів, зони навколо обладнання для обслуговування, майданчики для доступу обслуговуючого персоналу.

Другий огляд моделі (умовна завершеність моделі 60%):

- Склад: моделюється 60% трубопроводів, тобто всі лінії розміром DN 100 і більше зі схем P&ID.
- Розглянуті аспекти: розташування окремих елементів (клапани, прилади, розподільні коробки, панелі), розташування навколо обладнання, розташування протипожежного обладнання, підтвердження наявності вільного простору навколо обладнання для обслуговування відповідно до вимог Постачальника, підйомно-транспортне обладнання (крани, талі, кран -укосини), майданчики для доступу персоналу під час роботи установки.

Третій огляд моделі (умовна завершеність моделі 90%):

- Склад: моделюється 90% трубопроводів, тобто всі лінії розміром DN 50 і більше зі схем P&ID.
- Розглянуті аспекти: доступ до всіх елементів, які залишилися (фланцеві з'єднання та ін.), місцезнаходження решти елементів (енергопости).

Коментарі записуються під час оглядів з відповідним знімком моделі.

Сьогодні креслення для будівництва (ситуаційний план, компоновка, ізометрії трубопроводів, креслення розташування трубопроводів) і відомості матеріалів (специфікація труб, деталей трубопроводів, трубних опор і т.д.) отримуються з 3D-моделі. Приклади креслень з 3D-моделі представлені на рис. 62.

Елементи, які моделюються, включають в себе нетипові поодинокі елементи, такі як посудини високого тиску, блокове обладнання, регулюючі клапани, вбудовані сітчасті фільтри, а також стандартні елементи, такі як сталеві конструкції, відводи трубопроводу і т.д., які є частиною каталогу. Використання каталогу дозволяє визначити кожний стандартний елемент з детальними розмірами і специфікацією тільки один раз. Далі в моделі ця інформація буде відображатися у всіх випадках появи стандартного елемента.

Створення каталогів в моделі необхідно до початку моделювання установки. На це потрібно затратити час.

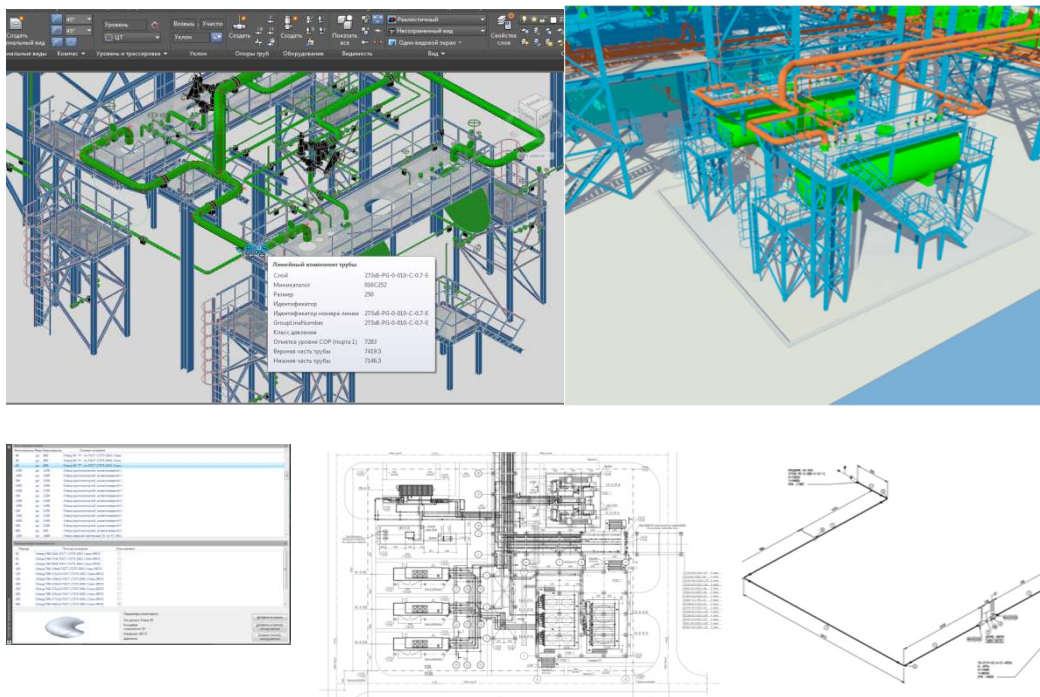


Рис. 62. Приклади креслень з 3D-моделі

Також виконується моделювання «віртуальних» об'єктів, таких як обсяги для зарезервованих шляхів евакуації персоналу, зона, куди будуть переміщувати обладнання / деталі трубопроводів під час технічного обслуговування та ін.

Моделювання обладнання спочатку може виконуватися за попередніми розмірами. Дійсні, реальні розміри обладнання, це розміри які визначені постачальниками обладнання, і на початку робіт з моделювання не всі розміри можуть бути відомі.

Коли інформація про обладнання Постачальника стає доступною, модель обладнання оновлюється на основі креслень Постачальника: уточнені розміри, орієнтація в плані штуцерів і т.ін.

З цією метою в кожній дисципліні ведеться реєстр змодельованих елементів із зазначенням посилань на номер і ревізію креслень від постачальників обладнання.

Моделювання виконується не тільки для обладнання, але й для таких елементів як клапани з електроприводом. Розміри приводів, можуть бути дуже великими і нестандартними. Ці розміри не будуть відомі, поки постачальник клапана не визначить розмір.

Після того, як обладнання змодельовано, і обсяг основних трубопроводів визначено, дані лінії моделюються в 3D-моделі.

Лінії моделюються з використанням елементів з каталогу для відповідного класу трубопроводів. Це дозволяє дуже швидко моделювати за принципом "просто виберіть і помістіть" за умови, що каталог був заздалегідь заповнений усіма елементами.

Додатково ознайомитись з матеріалом за темою 5.2 можна ознайомитись за посиланнями: [Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання \(BIM-технологій\) в Україні, схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 р. № 152-р; BIM проектування в CLS.](#)



## Приклади

Одним з матеріалів, при контакті з яким можуть виникати професійні захворювання, є азбест. Сьогодні за даними Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я близько 125 млн працівників на своїх робочих місцях мають контакт з азбестом. Близько 50 відсотків летальних випадків від професійних онкологічних захворювань, за статистикою, викликані безпосередньо азбестом. Але азбест впливає на стан здоров'я не тільки в умовах виробництва, людство відчуває вплив азбесту вдома. Частка захворювань, що пов'язані з виробництвом та використанням азбесту у побуті постійно зростає, що може привести до загибелі від азбесто-індукованих мезотеліом більш ніж чверті мільйона людей у найближчі 35 років.

Азбест відомий людству на протязі століть завдяки тому, що він є доступним, дешевим та міцним матеріалом. Сьогодні азбест використовується при виготовленні більш ніж 3000 різноманітних виробів та композиційних матеріалів, насамперед у будівництві та виробництві фрикційних деталей. Не зважаючи на досвід використання азбесту в промисловості та побуті, людство вважало його небезпечним. У 1907 році англійський доктор Мюррей виявив специфічне захворювання легень (азбестоз) у працівників, які контактували з азбестом.

Не зважаючи на це відкриття і увагу медичної науки до проблеми азбесту, ще півсторіччя виробництво азбесту відбувалося за відсутності будь-якого захисту працівників та/або зменшення використання в цивільному будівництві. Пізніше у США та країнах Західної Європи з'явилися програми, які обмежували і забороняли використання азбесту, а також програми, які передбачали видалення азбесту з раніше збудованих споруд. У 1986 році Генеральною конференцією Міжнародної організації праці прийнята Конвенція № 162 «Про охорону праці при використанні азбесту». Конвенція вперше на міжнародному рівні запропонувала принцип контрольованого використання азбесту.

Цю пропозицію підтримали уряди і профспілки 125 країн світу. Тотальну заборону азбесту не підтримали ті країни, які добувають і у великій кількості використовують матеріали, що містять азбест. В науковому середовищі думки різняться. Деякі науковці прогнозують пік захворювання на мезотеліому у країнах Західної Європи у 2015-2030 роках. Найвищий рівень захворювання прогнозується серед чоловіків 1945-1950 років народження.

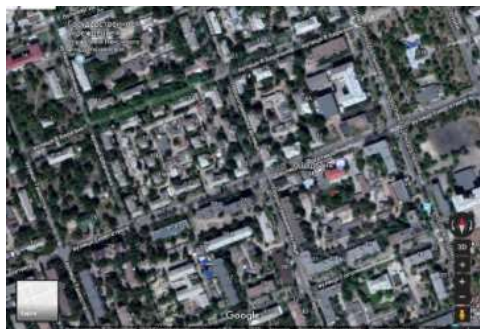
У 2012 році Міністерство охорони здоров'я України наказом від 01 жовтня 2012 року № 762 затвердило Державні санітарні норми та правила «Про безпеку і захист працівників від шкідливого впливу азбесту і азбестовмісних матеріалів». Водночас, постановою головного державного санітарного лікаря України від 02.07.2012 р. було затверджено гранично допустимі концентрації (ГДК) волокон хризотилового азбесту у повітрі робочої зони – одне волокно/см<sup>3</sup>, 1 клас небезпечності, канцероген. 9 червня 2017 року був зареєстрований наказ МОЗ України № 339 «Про затвердження Державних санітарних і правил «Про безпеку та захист робітників від шкідливого впливу азбесту та азбестовмісних матеріалів», який забороняє виробництво та використання всіх видів азбесту при виконанні будівельно-монтажних робіт. Але, 11 серпня 2017 року було повідомлення Державної регуляторної служби України про скасування його реєстрації.

Мінеральні волокна мають відносну стійкість до зовнішніх умов, і тому деякий час знаходяться в навколишньому середовищі без суттєвих перетворень. Вони переміщуються на великі відстані з повітряними масами і водними потоками. Слід зазначити, що, якщо йдеться про досить великий проміжок часу, то мінеральні волокна, як у водному середовищі, так і в живих організмах зазвичай зазнають певних хімічних змін. Крім того, при попаданні до організму вони здатні накопичуватися (кумулятивний ефект) та адсорбувати різні органічні речовини.

Найбільш негативний вплив на здоров'я людини спричиняє наявність волокон азбесту в повітрі. Волокна азбесту становлять відносно невелику фракцію волокнистого аерозолу в атмосфері, але присутні практично скрізь. Так, за дослідними даними в сільських районах концентрація азбестових волокон в повітрі становить 0,03 - 3 волокна/м<sup>3</sup>, а у містах вміст азбесту складає вже 3-300 волокон/м<sup>3</sup>, що пов'язано зі складом будівельних матеріалів і проведенням будівельних робіт.

Завдання: розглянути проблему азбесту в громаді, де мешкає (перебуває) здобувач вищої освіти або іншої громади.

Як приклад розглянемо джерела азбесту та ризики для мешканців міста Северодонецьк



Луганської області. У 1934 році почалося будівництво міста Северодонецьк, який став одним з найбільших промислових центрів Луганської області. Сучасний Северодонецьк має загальну площу 41,551 км<sup>2</sup>, на якій проживає близько 121 тис. мешканців різних вікових груп. Доля житлового фонду м. Северодонецька



містить близько 55% будівель, які мають дахове покриття з рулонних матеріалів на основі бітуму, решта переважно азбестоцементний шифер (фото з ресурсу [Google Maps](https://www.google.com/maps)).

Северодонецьким міським бюджетом 2016 року було заплановано ремонт покрівель у 19 багатоповерхівках. 37 % коштів витрачено на капітальний ремонт покрівель з азбестоцементного шиферу тих об'єктів, які були збудовані до 60-х років. Тобто природно-кліматичні умови, конструктивні рішення, технічний стан і режим експлуатації будівлі зумовили часткове руйнування покрівлі, яка протягом 50-60 років фактично була пасивним джерелом азбесту у повітрі. Суттєве збільшення концентрації азбесту відбувається при проведенні демонтажних робіт при капітальному або поточному ремонті, а також при утилізації азбесту. Нажаль, азбест сьогодні досить часто повторно використовується у приватних господарствах, що сприяє збільшенню концентрації азбестових волокон у повітрі.

Другим за значенням жерелом надходження азбесту в організм є питна вода. Середні концентрації азбесту в питній воді становлять 0,3-1,5 мкг/л. Однак у воді, обробленій навіть на муніципальних системах очищення, кількість азбесту істотно знижується.

Присутність виробничих майданчиків великих хімічних гігантів і гірничодобувних підприємств в регіоні не дозволяє визначити індивідуальний вплив азбесту.

При розгляді потенційних переваг і недоліків використання азбесту важливо враховувати екологічні обмеження на тому ж рівні, що й економічні та соціальні питання. Для кожної країни вирішальне значення мають індивідуальні чинники, які залежать від стратегії розвитку, політики, культури тощо. Якщо розглядати досвід споживачів азбесту, таких як Сполучені Штати, у якості репрезентативного прикладу, то продовження виробництва і споживання азбесту, цілком ймовірно, спричинить за собою значні витрати на надання медичної допомоги і відновлення навколишнього середовища, включаючи видалення та утилізацію відходів, а також потенційні судові витрати і компенсаційні виплати



## Практичне завдання дослідницького типу

Практичне завдання складається з аналітичної частини з елементами дослідницького характеру. Пропонується проаналізувати стан, пролеми громади, де мешкає (перебуває) здобувач вищої освіти або іншої громади. Приділити увагу матеріалам, що використані при облаштуванні побуту громади, будь-то азбест, як в прикладі, або інші вживані матеріали: сміттєві контейнери, дитячі або спортивні майданчики тощо. Проаналізувати доречність використання матеріалів (азбест, пластик тощо), що застосовуються в громаді.

## ? Питання для самоконтролю

1. Завдання та мета розробки хіміко-технологічної системи.
2. Показники сучасного хімічного виробництва: енергоефективність, безвідходність, безперервність.
3. Переваги суміщення процесів. Поліваріативність, багатотоннажність, багатомаршрутність хімічних процесів.
4. Безвідходна та маловідходна технологія.
5. Методологічні принципи створення безвідходних технологій.
6. Хімічні принципи створення безвідходних технологій.
7. Технологічні принципи створення безвідходних технологій.
8. Організаційні принципи створення безвідходних технологій.
9. Дисципліни проектування хімічних виробництв. Схема розподілу дисциплін проектування. Ітерації процесу проектування.
10. Компонування технологічного обладнання за принципом «зонування простору». Генеральний план.
11. Фаза бізнес-планування, базовий проект, FEED: мета, зміст, результати, виконавець.
12. 3D модель установки. Колізії між дисциплінарними рішеннями.

## ! Тест

1. Безвідходна технологія це:
  - а) практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб у межах потреб людини забезпечити раціональне використання природних ресурсів та енергії й захистити довкілля;
  - б) практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб у межах потреб людини забезпечити максимальну потужність виробництва й захистити довкілля;
  - в) практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб у межах потреб людини забезпечити раціональне використання енергії й захистити довкілля;
2. Методологічні принципи створення безвідходних технологій можна поділити на групи:
  - а) хімічні, технологічні, організаційно-управлінські;
  - б) хімічні, організаційно-управлінські;
  - в) хімічні, технологічні.
3. Створення малостадійних або одностадійних хімічних процесів відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?
  - а) хімічний;
  - б) організаційно-управлінський;
  - в) технологічний.
4. Розробка методів одержання продуктів з доступної та дешевої сировини відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?
  - а) хімічний;
  - б) організаційно-управлінський;
  - в) технологічний.
5. Розробка селективних процесів, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?
  - а) хімічний;
  - б) організаційно-управлінський;
  - в) технологічний.
6. Одержання декількох цільових продуктів в одному технологічному процесі, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

7. Розробка технології, що дає змогу досягати високого ступеня перетворення сировини, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

8. Суміщення декількох реакцій, спрямованих на одержання цільового продукту, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

9. Використання рециркуляції реагентів, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

10. Повнота виділення продуктів з реакційної суміші, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

11. Застосування суміщених процесів; розробка процесів з низьким енергоспоживанням, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

12. Повнота використання енергії системи, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

13. Розробка технології з мінімальною витратою води і використанням її кругообігу, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

- а) хімічний;
- б) організаційно-управлінський;
- в) технологічний.

14. В замкнутах системах оборотного водопостачання:

- а) охолодження технологічних потоків здійснюється оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода охолоджується повітрям у закритому ребреному теплообміннику;
- б) технологічні потоки охолоджуються в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або у холодильниках зрошування;
- в) знесолена чи зм'якшена вода охолоджується оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або в холодильниках зрошування;

15. В напівзамкнутах системах оборотного водопостачання:

- а) охолодження технологічних потоків здійснюється оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода охолоджується повітрям у закритому ребреному теплообміннику;

б) технологічні потоки охолоджуються в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або у холодильниках зрошування;

в) знесолена чи зм'якшена вода охолоджується оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або в холодильниках зрошування;

16. В комбінованих системах оборотного водопостачання:

а) охолодження технологічних потоків здійснюється оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода охолоджується повітрям у закритому ребреному теплообміннику;

б) технологічні потоки охолоджуються в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або у холодильниках зрошування;

в) знесолена чи зм'якшена вода охолоджується оборотною водою в закритих теплообмінних апаратах, а оборотна вода – на градирні або в холодильниках зрошування;

17. Повнота використання газових потоків і очищення газових викидів, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

а) хімічний;

б) організаційно-управлінський;

в) технологічний.

18. Застосування апаратів і технологічних ліній великої одиничної потужності, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

а) хімічний;

б) організаційно-управлінський;

в) технологічний.

19. Застосування безперервних процесів, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

а) хімічний;

б) організаційно-управлінський;

в) технологічний.

20. Високий ступінь автоматизації, відноситься до якого принципу створення безвідходних технологій?

а) хімічний;

б) організаційно-управлінський;

в) технологічний.



## Джерела

1. В.Г. Созонтов, Г.І. Гринь, М.В. Кошовець, В.В. Казаков, І.В. Кравченко, О.В. Суворін, О.М. Близнюк, Є.І. Зубцов, М.І. Азаров, В.М. Москалик, А.Б. Шестозуб, О.А. Босов, С.О. Гринь. Екологічно чисті технології оксидів нітрогену та продуктів на їх основі : монографія / Авт. кол. ; під ред. В. Г. Созонтова. Северодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. – 612 с. ISBN 978-617-11-0188-3.
2. Технологія зв'язаного нітрогену. Синтез і відновлення оксиду динітрогену / В.Г. Созонтов, Г.І. Гринь, О.М. Близнюк, М.В. Кошовець, А.С. Савенков, І.В. Кравченко, О.В. Суворін, Є.І. Зубцов, М.А. Ожередова, М.І. Азаров, Н. Ю. Масалітіна, В.М. Маскалік // Монографія. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля. 2019. – 252 с. ISBN 978-617-11-0146-3
3. Технологія зв'язаного нітрогену. Синтез п'ятиоксиду динітрогену / В.Г. Созонтов, Г.І. Гринь, М.В. Кошовець, В.В. Казаков, О.В. Суворін, Є.І. Зубцов, М.І. Азаров // Навчальний посібник. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля. 2019. – 256 с. ISBN 978-617-11-0121-0
4. Гринь Г.І., Мохонько В.І., Суворін О.В., Кузнецов П.В., Гринь С.О., Ожередова М.А., Кошовець М.В., Зубцов Є.І, Пономарьов В.О., Кравченко І.В., Азаров М.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2019, 419 с. ISBN 978-617-11-0109-9
5. Гликин М.А., Гликина И.М. Гетерогенный газофазный аэрозольный нанокатализ. - Харьков: Изд-во "Підручник НТУ ХПІ", 2015. – 472 с.
6. ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. – К: прийнято та надано чинності: Наказ Держспоживстандарту України від 25 листопада 2005 р. №338
7. ДСТУ 12344:2005 Сталі леговані та високолеговані. – К: надано чинності: Наказ Держспоживстандарту України від 5 жовтня 2005 р. № 285 з 2006-07-01
8. ДСТУ 3925-99 Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. – К: затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України від 30 листопада 1999 р. № 380
9. ДСТУ 8851:2019 (ISO 2892:2007, NEQ; ISO/TR 15931:2004, NEQ) Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями. Загальні технічні умови. – К: прийнято та надано чинності: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 13 травня 2019 р. № 121 з 2020-07-01
10. ДСТУ 9.101:2004 Єдина система захисту від корозії та старіння. Основні положення; ДСТУ 2491-94 Покриття металеві та неметалеві неорганічні. Терміни та визначення. – К: НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 9 грудня 2004 р. № 274 з 2005-07-01
11. ДСТУ 2238-96 Апарати емальовані з механічними перемішувальними пристроями. Типи, основні параметри і розміри. - Наказ від 01.08.1996 № 365
12. ДСТУ Б 16381:2011 Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Класифікація і загальні технічні вимоги. – К: прийнято та надано чинності: наказ Мінрегіону України від 30.12.2011 р. № 414, чинний з 2012-12-01
13. ДСТУ 8541:2015. Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови.. – К: прийнято та надано чинності: наказ ДП «УкрНДНЦ» від 18 грудня 2015 р. № 197 з 2016–07–01
14. ДСТУ 3830-98. Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять. – К.: Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України від 4 січня 1999 р. № 1.
15. ДСТУ 4046-2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги. – К.: Затверджено та надано чинності наказом Держстандарту України від 27 липня 2001 р. № 369.
16. НПАОП 0.00-8.18-04. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Затверджено постановою Кабінету міністрів України №687 від 26.05.04 р.

17. Chemical Process Equipment. Selection and Design / James R. Couper, W. Roy Penney, James R. Fair, PhD. - Elsevier Science. 2012. – 838 p. ISBN: 9780123969590, 012396959X
18. Мельник С.Р., Мельник Ю.Р., Піх З.Г. Проектування та розрахунок технологічних процесів органічного синтезу. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 448 с.
19. Архипов О.Г., Борисенко В.А., Хома М.С., Любимова-Зінченко О.В. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг: Монографія – Луганськ: Вид-во Східноукраїнського національного ун-ту ім. В. Даля, 2014. - 203 с.
20. Конструювання та розрахунок колонних апаратів : навчальний посібник / В.В. Іванченко, О.Г. Архипов, Ю.М. Штонда. – Северодонецьк: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2015. – 324 с., 164 іл., 70 табл., 25 бібліогр. назв. ISBN 978-617-11-0045-9
21. Барвін О.І., Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. - Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2005. – 300 с.
22. Барвін О.І., Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. - Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2007. – 306 с.
23. Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Стропові пристрої, опори : навч. посібник. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2008. – 289 с.
24. Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Сорочки. Люки. Розрахунки на міцність елементів апаратів : навч. посібник. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2009. – 313 с.
25. СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови. Стандарт Міністерства промислової політики України, 2009.– 339 с.
26. Янковский М.А., Демиденко І.М., Мельников Б.І., Лобойко О.Я., Корона Г.М. Технологія аміаку. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 300 с.
27. Лобойко О.Я., Товажнянський Л.Л., Слабун І.О. та ін. Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв (ч1. Зв'язаний азот). Харків:НТУ «ХПІ», 2001. – 512с.
28. Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Гуляев В.М. Устаткування галузі і основи проектування. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2004. – 371с.
29. Гликин М.А. Эффективность и взрывобезопасность процессов химической технологи. Киев: Принт-экспресс, 2000. - 392 с.
30. Піх З.Г. Теорія хімічних процесів органічного синтезу. Підручник. – Львів:Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2002. – 396 с.
31. Мамедов Б.Б., Кудрявцев С.О. Процеси вторинної переробки нафти. Луганськ:видавництво СХУ ім. В. Даля, 2011. – 216с.
32. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Львів: Видавництво „Растр”, 2007. - 376 с.
33. Збожна Д.М. Основи технології: Навч. посібник. – Вид 2-е, змін. і доп. – Тернопіль: Карт-бланки, 2002. – 486 с.



Навчальне видання

**ЗУБЦОВ Євген Іванович,  
КРАВЧЕНКО Інна Василівна,  
ОЖЕРЕДОВА Марина Анатоліївна**

**РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Навчальний посібник

Самостійне електронне текстове мережеве видання

130

Підписано до видання 29.12.2023.

Гарнітура Calibri Light. Умов. друк. арк. 15,1. Обл.-вид. арк. 14,3.

Вид. No 3407.

Видавець і виготовлювач:

Видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

**Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК No 1620 від 18.12.03 р.**

Юридична адреса: пр-т Центральний, 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна

Фактична адреса: вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, 01042, Україна

E-mail видавництва: [izdat@snu.edu.ua](mailto:izdat@snu.edu.ua)