



**М. Цейтлін,
В. Райко
О. Шестопалов
Н. Забіяка**

**УСТАТКУВАННЯ ТА ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З
ВИКОРИСТАННЯМ САПР**



Харків, НТУ «ХП» 2024

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

М. Цейнтлін, В. Райко, О. Шестопапов, Н. Забіяка

**УСТАТКУВАННЯ ТА ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО
БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ САПР**

для студентів усіх форм навчання спеціальності
101 «Екологія» другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітня програма «Інженерна екологія»,
263 «Цивільна безпека» другого (магістерського) рівня освіти,
освітня програма «Охорона праці»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 15.02.2024 р

Харків
НТУ «ХП»
2024

Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та основи проектування природоохоронних технологій з використанням САПР» для студентів усіх форм навчання спеціальності 101 «Екологія» другого (магістерського) рівня вищої освіти, освітня програма «Інженерна екологія», 263 «Цивільна безпека» другого (магістерського) рівня освіти, Освітня програма «Охорона праці». / Укладачі Цейтлін М.А., Райко В.Ф., Шестопапов О.В., Забіяка Н.А. / – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 128 с.

Укладачі:

Цейтлін М.А.

Райко В.Ф.

Шестопапов О.В.

Забіяка Н.А.

Рецензент: В.Ф. Моїсєєв

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

Кафедра «Безпека праці та навколишнього середовища»

ЗМІСТ

1. ВСТУП ДО КУРСУ	6
1.1. Структура проектної частини (організації)	7
1.2. Проект – послідовність розробки	7
1.3. Роль САПР в проектуванні	10
1.3.1. Визначення САПР	10
1.3.2. САПР, як система	11
1.3.3. САПР в процесах проектування та виробництва.....	13
1.4. Компоненти САПР	15
1.4.1. Основні підсистеми САПР	15
1.4.2. Варіанти конфігурації апаратного забезпечення САПР	16
1.4.3. Графічний пристрій	17
Питання для самоперевірки	21
2. ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН	23
2.1. Абсорбційна очистка скидних газів	23
2.1.1 Теоретичні засади процесу абсорбції	26
2.1.2. Апарати для проведення процесів абсорбції.	29
2.2. Адсорбційні методи очистки скидних газів	41
2.3. Каталітичні методи очистки газів.....	44
2.4. Очищення газів від пилу	44
2.4.1. Сухе очищення газу від пилу.	45
2.4.2. Мокрі пиловловлювачі	51
Питання для самоперевірки	54
3. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ	57

3.1. Розділення суспензій під дією гравітації	58
3.2. Устаткування для розділення суспензій фільтруванням	61
3.2.1. Фільтри періодичної дії.....	63
3.2.2. Фільтр-преси	63
3.2.3. Барабанний фільтр.....	66
3.2.4. Ультрафільтрація (зворотній осмос)	68
3.3. Розділення суспензій у полі інерційних сил	72
3.3.1. Фільтруючі центрифуги	73
3.3.2. Осаджувальні горизонтальні шнекові (ОГШ) центрифуги.....	76
Питання для самоперевірки	77
4. СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ.....	80
4.1. Процеси охолодження води в охолоджувачі	82
4.2. Обладнання водооборотних систем охолодження	82
4.2.1. Водосховища-охолоджувачі	82
4.2.2. Бризкальні басейни.....	84
4.2.3. Градирні	85
4.3. Водний режим в системах оборотного охолодження.....	91
Питання для самоперевірки	93
5. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	95
5.1. Загальна інформація	95
5.2. Машини для подрібнення матеріалів	97
5.2.1. Дробарки	97
5.2.2. Млини.....	99
Питання для самоперевірки	103
6. ЄМНІСНЕ ОБЛАДНАННЯ	105

6.1 Влаштування резервуарів та ємнісного обладнання	105
6.1. Типи та особливості побудови резервуарів	106
6.1.1. Циліндричні резервуари	106
6.1.2. Краплевидний резервуар	108
6.1.3. Кульові резервуари	109
6.2. Особливості конструкції та додаткове обладнання резервуарів	110
6.3. Допоміжна ємнісна апаратура	112
6.3. Газгольders	112
Питання для самоперевірки	115
7. РЕАКТОРИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	117
7.1. Класифікація реакторів	117
7.2. Конструкції реакторів для проведення хімічних процесів	119
7.2.1. Реактор для газозфазного каталітичного процесу	119
7.2.2. Реактори для газозфазних некаталітичних реакцій	121
7.2.3 Реактори для проведення рідкофазних процесів.	122
7.2.4. Реактори хімічного перетворення твердих речовин	124
Питання для самоперевірки	126

1. ВСТУП ДО КУРСУ

Абревіатура САПР розшифровується як «Система автоматизованого проектування». САПР – це досить складне і багатозначне поняття і перш ніж вивчати, що це таке, яка його роль і місце в процесі проектування, необхідно розібратися в тому, що являє собою проект і як організовані проектні роботи.

Що таке проект? Будівництво будь-якого підприємства починається із проектування. Проект є сумою абстрактних уявлень (текстових та графічних матеріалів), які описують та зображують з мінімально необхідним ступенем деталізації майбутнє підприємство в цілому, та його складові частини окремо.

Проект – сполучна ланка наукової розробки із практикою. Проектування часто передають наукові дослідження та дослідно-конструкторські роботи, у процесі яких на експериментальних установках відпрацьовується технологія, деталі апаратів та машин майбутнього підприємства. Тому проектні організації (відділи) часто є частиною комплексної організації, так званого науково-виробничого об'єднання (НВО), до структури якого окрім проектного підрозділу входять наукова частина та дослідний завод. Завданням наукової частини НВО є розробка наукових засад проектування виробництва. Дослідний завод, що входить до складу НВО, займається відпрацюванням технологій, проведенням дослідно-конструкторських робіт, виготовленням нестандартного обладнання. Результатом наукового опрацювання та його дослідної перевірки є вихідними даними для проектування, що передаються до проектної частини НВО.

1.1. Структура проектної частини (організації)

Для реалізації своїх завдань проектна частина має певну структуру. В одному з варіантів цієї структури вихідні дані надходять до технічного відділу проектної частини, де перевіряють їхню повноту і якість та передають до бюро головних інженерів проекту (ГПІ). Кожен ГПІ, як правило, відповідає за проектування одного нового великого об'єкта, або за нові установки, які проектуються для діючого підприємства. ГПІ розробляє технологічний графік проектування (ТГП), у якому передбачає послідовність проведення проектних робіт, терміни їх виконання та передає роботу до відділів проектної частини. Він контролює дотримання термінів проектування, якість робіт, слідкує за узгодженістю роботи різних підрозділів проектної організації.

У структурі організацій, що займаються проектуванням об'єктів хімічної промисловості, та установок захисту довкілля найчастіше є такі відділи: монтажно-технологічний, будівельний, електротехнічний, контрольно-вимірювальних приладів та автоматики (КВП та А), економічний, кошторисний, та низка інших, функції яких залежать від специфіки проектної організації.

Монтажно-технологічний відділ є головним. Саме в ньому розробляється технологічна схема майбутнього підприємства, здійснюють підбір обладнання, його розміщення у будівельних конструкціях (компонування обладнання), проектується об'єднання (обв'язка) машин та апаратів трубопроводами та іншими комунікаціями. Співробітники монтажно-технологічного відділу видають завдання іншим відділам, які вирішують завдання, що входять до їхньої компетенції. Усі разом вони розробляють проектно-кошторисну документацію (ПКД) чи простіше – проект підприємства.

1.2. Проект – послідовність розробки

Процес проектування великих об'єктів, зазвичай, включає 3 етапи, які умовно можна назвати (у різних організаціях ці етапи можуть мати різні назви) таким чином:

- техніко-економічне обґрунтування (ТЕО);

- технічне проектування;
- робоче проектування.

У багатьох випадках технічне та робоче проектування поєднують в один етап – техніко-робоче проектування.

Завдання ТЕО – дати інвестору економічне обґрунтування вкладення коштів у будівництво цього підприємства чи установки. Інакше кажучи, мета ТЕО – відповісти на питання: чи є економічна доцільність будівництва підприємства.

У процесі розробки ТЕО розглядають такі альтернативи:

- будувати нове виробництво,
- розширювати існуюче виробництво;
- реконструювати існуюче виробництво.

Останні 2 варіанти, зазвичай, вважаються кращими, оскільки дозволяють економити вкладення у інженерну інфраструктуру (тепло-енергопостачання, водопровід, транспорт) підприємства, і використовувати професійні кадри існуючого виробництва. Але через відсутність вільних площ, надмірне навантаження на навколишнє середовище недостатню потужність або пропускну здатність інфраструктурних елементів вдаються до нового будівництва.

У такому разі на етапі ТЕО визначається точка будівництва та його потужність. При цьому враховується наявність вільних трудових ресурсів у заданій точці, витрати на транспорт сировини та готової продукції, стан навколишнього середовища та допустимість додаткового навантаження на неї та низку інших факторів.

Далі в ТЕО приймаються основні рішення щодо технології виробництва та основні будівельні рішення. На основі укрупнених показників визначають капітальні витрати на будівництво, собівартість виробництва продукції, оцінюють можливий дохід від її реалізації та прибуток. Оцінюють також передбачуваний термін окупності капітальних вкладень.

ТЕО є основою прийняття рішення про будівництво об'єкта. Якщо таке рішення прийнято, переходять до стадії технічного проектування (ТП).

У процесі роботи над технічним проектом розробляється укрупнена хіміко-технологічна схема (ХТС) виробництва, а на її основі – матеріальний та тепловий баланси виробництва.

Матеріальний та тепловий баланс (МТБ), у свою чергу, є підставою для прийняття проектних рішень з апаратурного оформлення виробництва, розрахунку апаратури (основної та допоміжної) та розробки детальної хіміко-технологічної схеми окремих стадій, а потім об'єднання цих схем у докладну апаратно-технологічну схему (АХТС) всього виробництва. На основі МТБ також видаються завдання спеціалізованим організаціям на розробку проектів теплоджерела (котельні або ТЕЦ), холодильних систем, розробки сировинних ресурсів та знешкодження та утилізації відходів виробництва.

На основі ХТС паралельно з виконанням перерахованих вище робіт також приймаються рішення щодо розбиття всього виробництва на будівельні блоки. Потім здійснюється компонування обладнання (розміщення обладнання всередині будівель та споруд) цих блоків, та приймаються архітектурно-будівельні рішення.

Здійснюється розміщення будівельних блоків на генеральному плані будівництва (карті заводу). Після чого виконується монтажне опрацювання, яке являє собою розрахунок та трасування (визначення трас проходження) внутрішніх, міжапаратних та зовнішніх міжцехових трубопроводів та інших комунікацій. Паралельно розробляється система КВП виробництва, електротехнічна частина проекту, по всіх етапах готується кошторисна документація. Результатом ТП є детальний проект майбутнього виробництва, що включає розрахунково-пояснювальні записки, креслення, кошторисну документацію тощо.

На стадії робочого проектування розробляється проект організації будівництва, а також робочі креслення нестандартного обладнання та монтажного оснащення.

1.3. Роль САПР в проектуванні

1.3.1. Визначення САПР

Сучасні підприємства не зможуть вижити у всесвітній конкуренції, якщо не випускатимуть нових продуктів кращої якості, нижчої вартості та за менший час. Тому вони прагнуть використати величезні можливості пам'яті комп'ютерів, їх високу швидкодію та графічні можливості для того, щоб автоматизувати та пов'язати одне з одним завдання проектування та виробництва, які раніше були дуже стомлюючими та зовсім не пов'язані один з одним. Таким чином, скорочується час, вартість розробки та випуску продукту. З цією метою використовуються технології автоматизованого проектування – САПР.

Під системами автоматизованого проектування (САПР) розуміють людино-машинні комплекси, що включають апаратні засоби (комп'ютери, сервери, периферійне обладнання, оргтехніка), математичне та інформаційне забезпечення та призначені для підвищення ефективності проектування, оптимізації прийнятих проектних рішень та виключення суб'єктивності у прийнятті проектних рішень.

Система автоматизованого проектування – автоматизована система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування, є організаційно-технічною системою, призначеною для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу та комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності. Також для позначення таких систем широко використовується аббревіатура САПР.

В межах цього курсу, поняття САПР використовуватиметься у сенсі більш загальному, ніж просто автоматизація проектних робіт. САПР, як і будь-яка система, будується за ієрархічним принципом і автоматизація проектних робіт, під якою ми розумітимемо застосування ЕОМ на вирішення невеликих рутинних завдань (виготовлення креслень, підготовка текстових документів, виконання простих розрахунків), перебуває в нижній щаблі цієї ієрархії. Вищий рівень займають завдання, які забезпечують виконання, розробку, перебір варіантів щодо

великих інженерних рішень, як розрахунок матеріальних балансів, розробка технологічних схем, розрахунок і вибір апаратів, об'ємно-планові будівельні рішення тощо. Найвищий рівень САПР – системи, що дозволяють в автоматичному режимі приймати укрупнені рішення щодо будівництва цілих виробництв та виробничих комплексів.

Таким чином, САПР включає автоматизацію проектування. САПР також містить програмні модулі, що дозволяють опрацьовувати кілька варіантів спроектованого об'єкта, вибирати з них кращий, оптимізувати проектні рішення. САПР не тільки прискорює за рахунок автоматизації розробку проектної документації, а й дозволяє розробляти кілька варіантів проекту, оцінювати їх та проводити вибір кращих. На відміну від традиційних методів проектування, коли ті чи інші проектні рішення приймаються на основі традицій, що склалися в даній галузі, досвіду, знань та умінь конкретних проектувальників, САПР, на основі перебору кількох варіантів проектних рішень, дозволяє отримати оптимальний з тієї чи іншої точки зору проект.

До речі, в залежності від роду економічного зв'язку проектної організації із замовником та заданими замовником умовами виконання проекту, критеріями оптимальності можуть бути різні показники проекту. Наприклад, за необхідності швидкого виходу ринку нового продукту критерієм може бути мінімізація термінів розробки проекту. В інших умовах такими критеріями можуть бути максимальна економічна ефективність спроектованого підприємства, мінімізація витрат на проектування та інші.

1.3.2. САПР, як система

Слово «система» не випадково є у назві САПР. Воно є ключовим у науково-методологічному напрямі, що лежить в основі САПР і називається «системний підхід». Під системою ми, зазвичай, розуміємо сукупність елементів (підсистем), тим чи іншим чином виділених із навколишнього середовища, що перебувають у суттєвих та суворо певних зв'язках між собою. Істотною властивістю системи є її ємерджентність, тобто наявність певної властивості або властивостей характерних

тільки для системи в цілому та відсутнього у її елементів окремо. Цю властивість також називають інтегративною.

Поруч із інтегративністю, систему характеризує «членимість» – можливість поділити на елементи, підсистеми. Слід зазначити, що це поділ який завжди буває однозначним. Тобто часто систему можна розділити на елементи у різний спосіб. Кожен елемент системи у свою чергу можна розглядати як систему, що складається з дрібніших елементів. Іншими словами, в системі може існувати ієрархія: система, підсистема (елемент системи), підсистема підсистеми (елемент підсистеми) і так далі.

Елементи системи повинні бути пов'язаними між собою, причому сила зв'язків елементів усередині системи повинна бути більшою, ніж їх зв'язок із навколишнім середовищем. Інакше виникає конфлікт між «інтересами» елементів та системи загалом.

Зв'язки всередині системи мають створювати певну структуру. Характерно, що системи, що складаються з однакових елементів, але мають різні структури зв'язків між елементами, матимуть і різні інтегративні властивості.

Процес проектування є добрим прикладом застосування системного підходу. Якщо повернутися до вищевикладеного матеріалу та розглянути його з погляду системного підходу, то стане ясно, що завданням ГППу є усвідомлення мети та завдань системи, яку можна назвати: «процес проектування підприємства» для чого він використовує вихідні дані для проектування. Він же здійснює декомпозицію цієї системи. Тобто розбиває комплекс робіт з розробки проекту на окремі блоки роботи, встановлює зв'язки між ними, терміни виконання та оформляє результат своєї діяльності у вигляді ТГП, де кожна робота (підсистема) зображена у вигляді кружечка, а зв'язки між підсистемами – у вигляді стрілок, що з'єднують ці кружечки.

Так само процес розробки матеріального та теплового балансу виробництва реалізується на основі системного підходу. Розбиття всього технологічного процесу на окремі стадії – це «декомпозиція» системи на підсистеми, зв'язками між якими є матеріальні потоки. Визначення величин матеріальних та

енергетичних потоків між стадіями забезпечує узгодження характеристик системи, відсутність конфліктів між окремими частинами – підсистемами. Розробка АХТС окремими стадіями є наступним щаблем в ієрархії підсистем – декомпозицією підсистеми (стадії) на окремі апарати, трубопроводи, допоміжне обладнання, що є елементами підсистеми «стадія технологічного процесу».

У тих випадках, коли системний підхід до проектування вдається формалізувати, представити у вигляді набору правил, простих дій, алгоритмів, що однозначно трактуються, може бути створена повноцінна САПР.

1.3.3. САПР в процесах проектування та виробництва

Розглянемо тепер, яким чином в описаних вище процесах можуть бути застосовані технології САПР. Як мовилося раніше, комп'ютери неспроможні широко використовуватися у процесі синтезу, оскільки вони не мають здатність добре обробляти якісну інформацію. Однак навіть на цьому етапі розробник може, наприклад, за допомогою комерційних баз даних успішно збирати важливу для аналізу реалізації проекту інформацію, а також користуватися даними з каталогів.

САПР лише обмежено можна використовувати й у процесі концептуалізації проекту, оскільки комп'ютер позбавлений можливості інтелектуальної творчості. На цьому етапі корисними можуть стати комп'ютерні засоби моделювання, та програми автоматизованої розробки креслень. Це типові приклади систем CAD.

В аналітичній фазі проектування цінність комп'ютерів проявляється найбільшою мірою. Зокрема, пакети САПР використовуються для аналізу напруг, контролю зіткнень та кінематичного аналізу. Ці програмні пакети належать до засобів автоматизованого конструювання (ЗАК).

Головна проблема, пов'язана з їх використанням, полягає у необхідності формування аналітичної моделі. Необхідний рівень абстракції залежить від типу аналізу та бажаної точності рішення. Автоматизувати абстрагування досить складно, тому аналітичну модель часто створюють окремо.

Процес аналізу може виконуватися в циклі оптимізації проекту за будь-якими параметрами. Процедуру оптимізації можна вважати компонентом системи автоматизованого проектування.

У фазі оцінки проекту можна використовувати комп'ютер. Якщо для оцінки проекту потрібен прототип, то можна швидко сконструювати його за заданим проектом за допомогою спеціальних програмних пакетів.

Остання фаза процесу розробки – підготовка проектної документації. На цьому етапі надзвичайно корисним є використання систем підготовки робочих креслень. Здатність подібних систем працювати з файлами дозволяє систематизувати зберігання та забезпечити зручність пошуку документів.

Комп'ютерні технології використовують і на стадії виробництва. Процес виробництва включає планування випуску, проектування та придбання нових інструментів, замовлення матеріалів, програмування верстатів з числовим програмним управлінням, контроль якості та упаковку. Комп'ютерні системи, які присутні у цих операціях, можуть бути класифіковані як системи автоматизованого виробництва. Наприклад, програма автоматизованої технологічної підготовки (computer-aided process planning – CAPP) використовується на етапі підготовки виробництва та відноситься до систем автоматизованого виробництва (CAM). Існує безліч хороших програмних пакетів, що генерують код керування для верстатів з числовим програмним управлінням. Це дозволяє отримати деталь потрібної форми за даними, що зберігаються на комп'ютері. До систем автоматизованого виробництва відносяться також програмні пакети, що управляють рухом роботів при складанні компонентів та переміщенні їх між операціями та ряд інших.

Таким чином, технології CAD, CAM та CAE полягають у автоматизації та підвищенні ефективності конкретних стадій розробки проекту, підготовки виробництва та виготовлення продукту. На закінчення цього пункту слід зазначити, що зараз комп'ютерні технології розвиваються не тільки в напрямі дедалі більшої інтеграції проектування та виробництва. Створюються системи, що використовують комп'ютерну базу даних для більш ефективного управління всім

підприємством, зокрема, бухгалтерією, плануванням, доставкою та іншими завданнями, проте розгляд таких систем виходить за рамки даного курсу.

1.4. Компоненти САПР

1.4.1. Основні підсистеми САПР

САПР, як систему, зазвичай поділяють на дві підсистеми: функціональну та забезпечуючу (рис. 1).

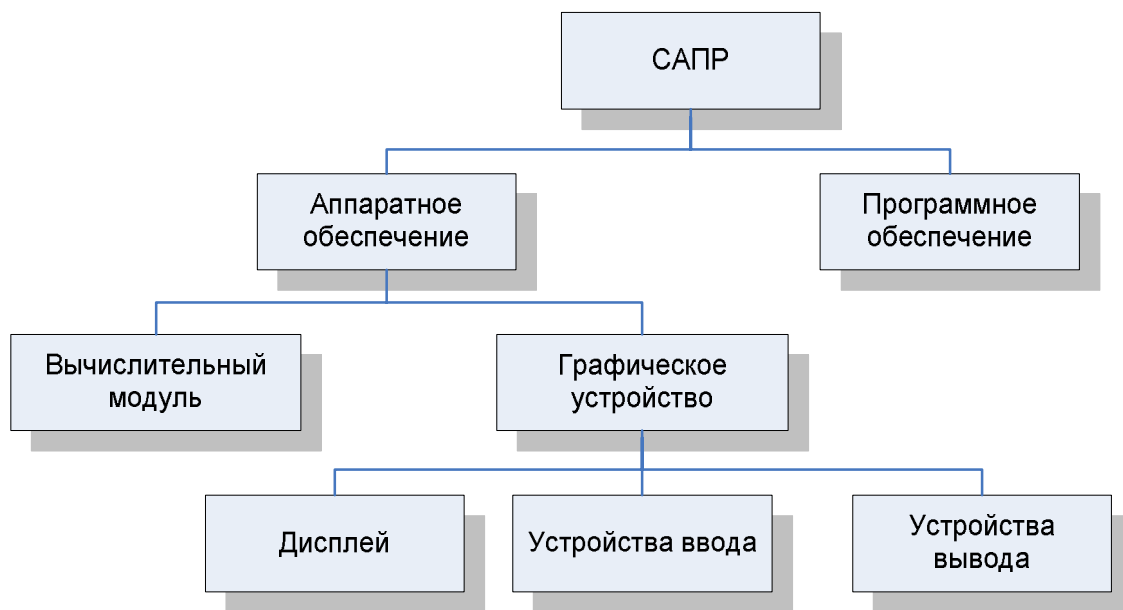


Рис. 1.1 – Компоненти САПР

Функціональна підсистема (на рис. 1 блок – «Програмне забезпечення») є сукупністю інженерних завдань, які вирішуються в процесі проектування. Забезпечуюча підсистема (на рис. 1.1 блок – «Апаратне забезпечення») включає в себе ЕОМ, оргтехніку, периферійні пристрої ЕОМ, а також різні джерела інформації (каталоги, довідники) на паперових та електронних носіях.

Основними елементами САПР є обчислювальний модуль та графічний пристрій. Обчислювальний модуль, зазвичай, оформляється як окремий блок. Такий блок, що входить в комплект обладнання (робочу станцію), що розміщується на робочому місці проектувальника, часто називають системним. Робочі станції, однак, рідко використовуються поодиночці. Найчастіше вони

об'єднуються в мережу того чи іншого роду, розраховану на обслуговування багатьох користувачів. Існує три основні варіанти конфігурації такої мережі.

1.4.2. Варіанти конфігурації апаратного забезпечення САПР

У першій конфігурації до обчислювального модуля, який у цьому випадку у зарубіжній літературі називають мейнфрейм (mainframe), а в нас – сервер, підключають безліч графічних пристроїв (див. рис. 1.2), розташованих на робочих місцях. До мейнфрейму підключаються пристрої виведення, такі як принтери і плоттери. На робочих місцях обчислювальних модулів немає.

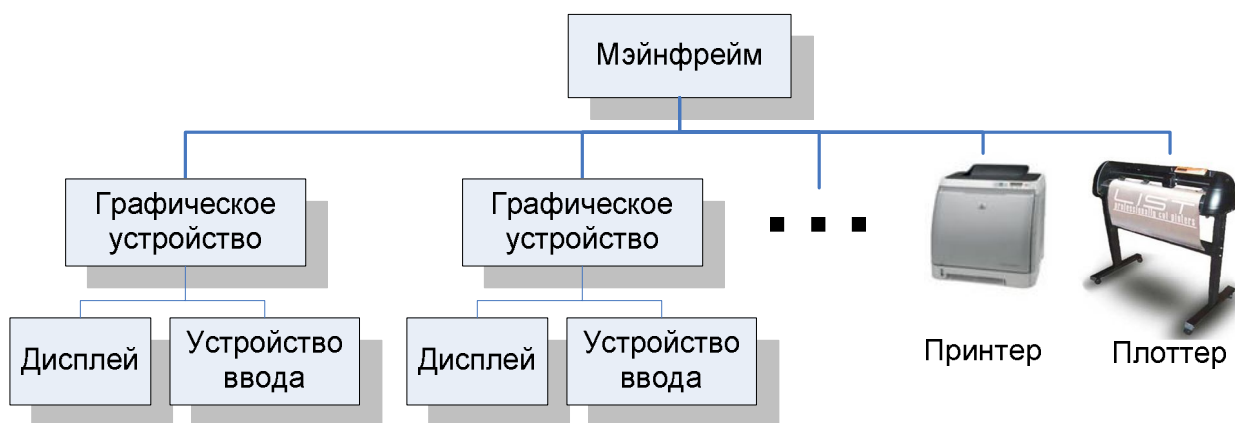


Рис. 1.2 – Мейнфрейм із графічними пристроями

Цей підхід досі використовується виробниками автомобілів і кораблів, які мають величезні бази даних, які оброблюються централізовано. Однак він має деякі недоліки. Він вимагає великих початкових вкладень в апаратне та програмне забезпечення, та й обслуговування системи, що експлуатується, теж коштує не дешево. Більше того, оновлення операційної системи теж виявляється непростим завданням. Програми САПР вимагають досить частої заміни у зв'язку з виходом нових, набагато потужніших версій та альтернатив, а також через помилки при первинному виборі програмного забезпечення. Програми САПР для мейнфреймів коштують набагато дорожче, ніж аналогічні програми для менших комп'ютерів. Ще одним серйозним недоліком централізованих обчислень є тривалий час реакції системи на дії проектувальника. Іноді час відгуку може бути надто великим для інтерактивної роботи з графікою, особливо коли інші користувачі вирішують складні обчислювальні завдання.

Друга конфігурація складається з автоматизованих робочих місць проектувальника (АРМ) – робочих станцій, об'єднаних в мережу (рис. 1.3).

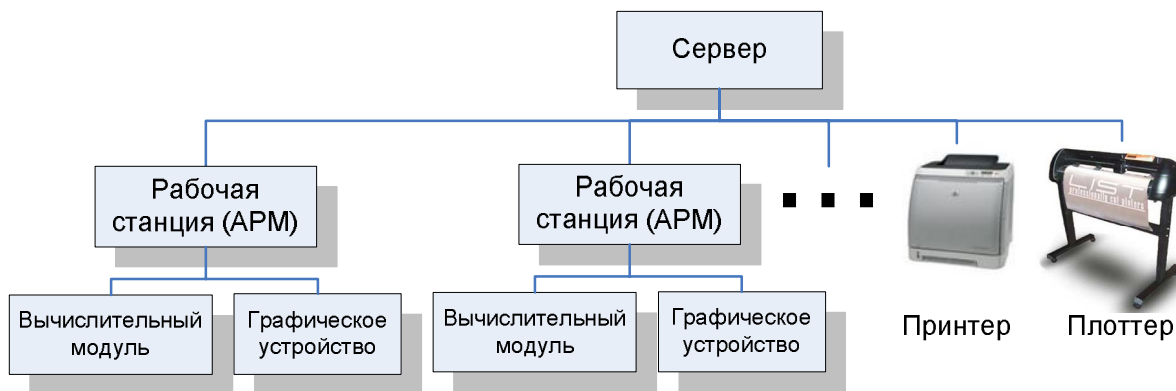


Рис. 1.3 – Робочі станції об'єднані в мережу

До тієї ж мережі підключаються пристрої виведення – плотери та принтери. Робоча станція – це графічний пристрій із власними обчислювальними ресурсами. Такий підхід нині використовується дуже широко. Користувач може працювати з будь-якою станцією в мережі, вибираючи її відповідно до свого завдання, причому системні ресурси не залежатимуть від завдань інших користувачів. Ще одна перевага – відсутність потреби у великих первинних вкладеннях. Кількість робочих станцій та програмних пакетів може збільшуватися поступово, зі збільшенням потреби в ресурсах САПР.

Третя конфігурація аналогічна другій за тим винятком, що замість робочих станцій використовуються комп'ютери з операційними системами Windows. Конфігурації на базі персональних комп'ютерів популярні в невеликих компаніях, особливо якщо продукти складаються з невеликої кількості деталей обмеженої складності, а також у компаніях, що використовують системи САПР, головним чином, для побудови креслень. У міру того, як різниця між персональними комп'ютерами і робочими станціями згладжується, стирається і різниця між другим і третім типами конфігурації.

1.4.3. Графічний пристрій

Під графічним пристроєм розуміють сукупність устаткування необхідного взаємодії людини і ЕОМ у процесі розробки проекту. Завдання цього обладнання "перекладати" інформацію з форми зрозумілої людині в форму "зрозумілу"

машині і навпаки. Графічний пристрій складається з пристрою відображення або дисплейного пристрою (так званого дисплей або монітор), одного або декількох пристроїв введення та одного або декількох пристроїв виведення.

Дисплей (монітор) є екраном, на який виводиться графічне зображення. У САПР використовують монітори двох типів. Перший представлений дисплеями, екраном яких служить електроннопроменева трубка (ЕЛТ). Монітори цього використовуються протягом декількох десятиків років, практично з моменту створення ЕОМ. До останнього часу їх перевагою була висока роздільна здатність і відносна дешевизна. До недоліків моніторів з ЕЛТ відносяться великі вага, габарити та енергоспоживання. Розробка нових ЕЛТ-моніторів не ведеться, але їх випуск та продаж поки що не припинено.

Другий тип моніторів представлений приладами, в яких екраном є рідкокристалічна матриця (LCD або РК-монітори). Ці прилади відрізняються високим контрастом зображення, малими габаритами та енергоспоживанням, плоским екраном, відсутністю геометричних спотворень зображення, що є особливо важливим для САПР. Недоліки ранніх версій РК-моніторів (малий кут огляду, низька чіткість зображення та висока ціна) в останніх розробках значно усунуті, а можливість легко розміщувати дисплеї з екраном 21 дюйм і більше на звичайному робочому місці інженера, робить цей тип моніторів найбільш підходящим для цілей САПР.

Виведення зображення на екран виконується так званим дисплейним процесором. Це мікро ЕОМ, яка за спеціальною програмою (її називають драйвером монітора) перетворює сигнали, що одержуються від обчислювального пристрою, та керується електронними системами екрану, породжуючи бажане зображення.

Пристрої введення це, в першу, чергу клавіатура і миша. Клавіатура призначена для введення числової, текстової інформації та управління вказівником місця введення (курсором). Миша (рис. 1.4, а) також керує курсором, однак, на відміну від клавіатури, що переміщає його при кожному натисканні на

одну літеру або рядок (на один крок), миша переміщає курсор швидко та безпосередньо у потрібну точку.



а



б



в

Рис. 1.4 – Пристрої введення:

а – миша, *б* – цифровий планшет з пером, *в* – спейсбол.

Сучасні «миші» мають також кнопки та ролики, які виконують деякі додаткові функції, що полегшують керування зображенням на моніторі та введенням інформації. Специфічними пристроями введення, що застосовуються у САПР, є трекбол та спейсбол (див. рис. 1.4, *в*). Спейсбол відрізняється від трекболу кількістю ступенів волі. У трекболі їх лише дві, а у спейсболу – шість. До пристроїв введення, що рідко зустрічаються, можна віднести цифровий планшет з пером і роликом (рис. 1.4, *б*). Подані на рис. 1.4 пристрої введення покликані сприяти маніпулюванню зображеннями, даючи користувачеві можливість вводити графічні дані безпосередньо до комп'ютера.

Дисплей та пристрої введення служать для інтерактивної взаємодії проєктанта з ЕОМ у процесі розробки проєкту. Готовий результат необхідно вивести на папір. Тобто отримати у вигляді паперового документа чи креслення. Для цього служать пристрої виведення, наприклад плоттер або принтер (рис. 1.5). Ці пристрої можуть використовуватись кількома графічними пристроями спільно. Пристрої виведення дозволяють вивести будь-яке зображення на папір.



а



б

Рис. 1.5 – Пристрої виведення:

а – плоттер, *б* – кольоровий лазерний принтер.

Комп'ютерний принтер – пристрій друкування цифрової інформації на твердий носій, зазвичай, на папір формату А4, рідше А3. Процес друку називається виведення на друк, а документ, що вийшов – роздруківка. Принтери мають перетворювач цифрової інформації (текст, фото, графіка), що зберігається в пристроях комп'ютера, що запам'ятовується, в спеціальну машинну мову.

В даний час найбільшого поширення в САПР набули лазерні та струменеві принтери. Перший формує зображення шляхом безпосереднього впливу лазерним променем на фоточутливі елементи принтера. Лазерні принтери дозволяють швидко виготовляти високоякісні відбитки тексту та графіки на звичайному папері, однак вони відносно дорогі. Особливо висока вартість кольорових лазерних принтерів. Це обумовлює широке поширення струменевих принтерів, які значно дешевші за лазерні.

Зображення на папері струменеві принтери формують з крапок за допомогою матриці, що друкує рідкими барвниками. Основним недоліком струменевих принтерів є те, що при тривалому простої (тиждень і більше) відбувається висихання залишків барвника на соплах друкувальної головки. Крім того,

швидкість друку і роздільна здатність струменевих принтерів є меншою, ніж лазерних.

Плоттери, як випливає з назви (plot англійською – графік, діаграма), призначені для друку креслень і відрізняються від принтерів, головним чином, форматом паперу, на якому здійснюється друк і, відповідно, конструкцією механізму для її подачі до друкувальної голівки. Найбільш поширені плоттери використовують струменевий принцип друку.

Питання для самоперевірки

Проект. Загальні питання

1. Що таке проект. Визначення
2. Що таке НВО. Структура НВО. Напрямки діяльності основних підрозділів НВО
3. Структура проектної організації. Опишіть рух вихідних даних та проектної документації по її структурним підрозділам.
4. Основні етапи проектування великих підприємств. Коротко охарактеризуйте завдання, що вирішуються на кожному етапі.
5. Які питання вирішуються на етапі ТЕО?
6. Послідовність розробки технічного проекту.
7. Які завдання вирішуються на етапі робочого проекту?

Роль САПР в проектуванні

8. Визначення САПР.
9. Ієрархія побудови САПР. Які задачі проектування можуть виконуватись на різних рівнях ієрархії?
10. Які критерії оптимальності проекту ви знаєте? Що може бути основою для вибору того чи іншого критерію?
11. Дайте визначення поняття «система». Основні властивості системи.
12. Наведіть приклади системності у роботі над проектом

13. Задачі якого типу можуть вирішуватись за допомогою САПР у процесах проектування та виробництва.
14. Основні підсистеми САПР

2. ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

Основними забруднювачами атмосферного повітря є оксиди азоту, сірки та вуглецю, а також пил. Є також значна кількість інших забруднювачів, органічних та неорганічних газів, які є специфічними для окремих виробництв.

Необхідність очищення скидних газів, його необхідний ступінь визначається нормативами ГДВ (гранично допустимих викидів), які розробляються індивідуально для кожного підприємства. При розробці нормативів ГДВ враховується кількість забруднювача, що викидається, його концентрація до очищення, існуючі концентрації забруднювача в атмосферному повітрі, віддаленість джерела викиду від житлової зони та значення гранично допустимих концентрацій забруднювача (ГДК), безпечних для здоров'я людини.

Очищення від забруднень є найбільш ефективним методом забезпечення нешкідливості газових викидів. Існує велика різноманітність методів очищення, які класифікують за різними ознаками. Усі методи можна розділити на дві групи – некаталітичні та каталітичні. У першій групі домішки виводяться з газової суміші шляхом конденсації або поглинання рідкими або твердими поглиначами, у другій домішки не виділяються із системи, а перетворюються на інші речовини, які залишаються в газовій суміші або потім видаляються.

За типом процесу некаталітичні методи очищення газів діляться на абсорбційні та адсорбційні, а за характером процесу – на циклічні та нециклічні.

2.1. Абсорбційна очистка скидних газів

Абсорбцією називається процес поглинання індивідуального газу (абсорбтиву), а також вибіркового поглинання одного або декількох компонентів газової суміші рідким поглиначем (абсорбентом). Поглинання газу може відбуватися або за рахунок його розчинення в абсорбенті, або в результаті його хімічної взаємодії з абсорбентом. У першому випадку процес називають фізичною абсорбцією, а в другому – хемосорбцією. Можливе також поєднання обох механізмів процесу. Компоненти газової суміші, що абсорбуються, умовно називають абсорбтивом, а неабсорбовані інертом.

Абсорбентами служать індивідуальні рідини або розчини активного компонента в рідкому розчиннику. Наприклад, абсорбція оксидів сірки використовують розчин лугу (активний компонент) у воді (розчинник). У всіх випадках до абсорбентів висувають низку вимог, серед яких найбільш суттєвими є:

- висока абсорбційна здатність;
- селективність;
- низький тиск пари;
- хімічна інертність по відношенню до поширених конструкційних матеріалів;
- нетоксичність;
- вогне- і вибухобезпека;
- доступність і невисока вартість.

Промислові абсорбенти часто не задовольняють усім перерахованим вимогам; це необхідно враховувати при розрахунку, проектуванні та експлуатації абсорбційних установок.

У хімічній технології абсорбція використовується для здійснення низки процесів, до яких належать:

- отримання цільових продуктів (абсорбція HCl водою у виробництві соляної кислоти, SO_3 – у виробництві сірчаної кислоти, ін.);
- виділення цінних компонентів газових сумішей (ацетилену з газів крекінгу або піролізу метану, бензолу та аміаку з газів коксових печей та ін.);

- видалення шкідливих домішок з газових сумішей, що диктується ходом виробничого процесу (наприклад, CO і CO₂ з азотоводородної суміші при синтезі NH₃, сірковмісних сполук у виробництвах NH₃ і CH₃OH та ін.) або ж необхідністю очищення викидів, що поєднується часто з уловлюванням цінних речовин (наприклад, фенолу при переробці фенолформальдегідних смол, диметилформаміду на заводах синтетичних волокон та ін.).

Хемосорбційні методи підрозділяють за типом хемосорбенту та за типом одержаного продукту. Вибір методу очищення залежить від концентрації компоненту, що видаляється, об'єму, температури газу, наявності в газі інших домішок, необхідного ступеня очищення і можливості використання продуктів рекуперації (відновлення поглинальної здатності).

Хемосорбційні методи широко застосовують для очищення газів від оксидів сірки, азоту та вуглецю, сірководню, хлористого водню, аміаку та ін. У процесі хемосорбційного очищення компоненти, що виділяються з газів, вступають у хімічні реакції з хемосорбентами, при цьому утворюються нові речовини, що регенеруються і повертаються знову на абсорбцію.

Нижче наведено декілька типових прикладів застосування методів фізичної та хемосорбції. Очищення газів від діоксиду сірки ведеться переважно хемосорбційними методами на основі вапна або вапняку. Переваги цих методів – доступність та дешевизна абсорбентів, проста технологічна схема процесу, низькі капітальні та експлуатаційні витрати. Недоліки методів – невисока ефективність очищення, недостатній рівень використання вапняку, утворення відходів у вигляді шламу або забрудненого гіпсу.

Оксид вуглецю уловлюють з газів аміачними розчинами одновалентної мурашиної кислоти та вуглекислої міді. Абсорбцію проводять при тиску 12–32,5 МПа та температурі 5–10°C.

Основні джерела забруднення атмосфери сполуками фтору – заводи із виробництва фосфорних добрив. Для очищення газів використовують методи абсорбції водою, розчинами соди та карбонату амонію, карбонату калію та ін.

Хлор абсорбують з газів розчинами їдкого натру, соди, вапняного молока та органічними поглиначами.

Хлористий водень сорбують водою з утворенням соляної кислоти або лужними реагентами (NaOH , Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$). У цьому випадку одержують солі хлористого натрію та кальцію.

2.1.1 Теоретичні засади процесу абсорбції

Загальновідомою, такою, що увійшла у всі підручники, які розглядають кінетику абсорбції, є так звана плівкова модель масопередачі. Згідно з нею швидкість абсорбції визначається дифузійним опором газової і рідкої плівок, що утворюються у рідині та у газі біля поверхні розділу фаз. Ці плівки відрізняються від загальної маси відповідних фаз відсутністю конвективних струмів, через що перенесення речовини, що абсорбується, через них здійснюється виключно молекулярною дифузією. Гідродинамічна обстановка в газовій або рідкій фазі характеризується товщиною відповідної плівки, яка залежить від конструкції і розміру апарату, інтенсивності перемішування і фізичних властивостей фаз.

Плівкова модель масообміну є історично першою, але не єдиною. Запропонована на початку 20-х років В.К. Льюїсом та В.Г. Вайтманом, ця модель неодноразово піддавалася критиці зі сторони низки дослідників, оскільки закладений у ній механізм процесу мало відповідає реальності. У той же час відмінності в результатах, отриманих за плівковою та іншими, більш складними моделями, є значно меншими невизначеності щодо дійсних значень фізичних параметрів, необхідних для розрахунку. Тому в подальшому конспекті ми користуватимемося лише плівковою моделлю внаслідок її простоти.

Плівкова теорія дозволяє отримати відоме рівняння масопередачі:

$$r = \frac{N}{F} = k_{г,0}(p - p_{п}) = k_{р,0}(p - p_{п}) \quad (2.1)$$

де r – швидкість абсорбції, моль/с·м²;

N – потік речовини, що абсорбується через поверхню контакту фаз, моль/с;

F – поверхня контакту фаз, м²;

$k_{г,0} = D_{г}/RT\delta_{г}$ – коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі, моль/Па·с·м²;

$k_{p,o} = D_p/\delta_p$ – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, м/с;

δ_g, δ_p – товщина газової та рідинної плівок, відповідно, м;

D_g, D_p – коефіцієнти дифузії речовини, що абсорбується в газі та рідині, відповідно, м²/с;

R – постійна газова;

T – абсолютна температура, К;

C, C_p – концентрація компонента, що абсорбується в основній масі рідини і на поверхні розділу фаз, відповідно, моль/м³;

p, p_p – парціальний тиск компонента газу, що абсорбується в основній масі газу і на поверхні розділу фаз, відповідно, Па .

Застосування рівняння (2.1) є незручним через труднощі, які пов'язані з визначенням концентрацій абсорбтиву на поверхні розділу з боку рідини C_p та його парціального тиску абсорбтиву з боку газу. Однак майже завжди, за винятком випадку абсорбції середньорозчинного газу, що не підпорядковується закону Генрі, є можливість виключити ці величини. Вважаючи, що p_p і C_p завжди є рівноважними, можна отримати:

$$r = k_r(p - p^*) = k_p(C - C^*), \quad (2.2)$$

де $k_r = \frac{1}{1/k_{r,o} + h/k_{p,o}}$ – коефіцієнт масопередачі, віднесений до газової фази, моль/Па·с·м²;

$k_p = \frac{1}{1/hk_{r,o} + 1/k_{p,o}}$ – коефіцієнт масопередачі, віднесений до рідкої фази, м/с;

p^* – рівноважний тиск абсорбтиву над рідиною, $p^* = hC$, Па;

C^* – концентрація абсорбтиву у рідині у рівновазі з газом, $C^* = p/h$, моль/м³;

h – константа Генрі, Па·м³/моль.

При зміні рушійної сили абсорбції, якою називають різницю $C^* - C$ або $p - p^*$ вздовж шляху фаз у апарату, розрахунок ведуть за формулою:

$$r = k_r \Delta p = k_p \Delta C, \quad (1.3)$$

де $\Delta p, \Delta C$ – середнє значення рушійної сили вздовж поверхні взаємодії фаз.

За умови, що витрати рідкої та газової фаз при проходженні через апарат не змінюються, можна показати, що середню рушійну силу необхідно розраховувати як середньологарифмічну. Однак як середньологарифмічну її зазвичай розраховують і в інших випадках.

При використанні отриманих вище рівнянь найбільші труднощі виникають з визначенням величини поверхні контакту фаз. У деяких випадках, наприклад, у лабораторних дослідженнях, є можливість визначити цю поверхню досить точно. У промислових апаратах значення активної міжфазної поверхні залежить від ряду факторів, у тому числі швидкості газу інтенсивності зрошення, конструкції апарату і багатьох інших факторів, що робить розрахунок міжфазної поверхні дуже трудомістким та неточним. Ці труднощі можуть бути подолані шляхом дослідження в лабораторних умовах апаратів тієї ж конструкції, що і планується застосувати в промисловості. У цьому випадку кількість поглиненої речовини зазвичай відносять або до об'єму апарату (для апаратів з безперервним контактом фаз), або площі поперечного перерізу (для апаратів зі ступінчастим контактом фаз). Дослідні дані, отримані таким шляхом, можуть застосовуватися при проектуванні апаратів тієї ж конструкції, в тих же гідродинамічних умовах.

Наступним після поверхні контакту фаз фактором, який визначає швидкість масопередачі, є коефіцієнт масопередачі, який в роботах з абсорбції також часто називають коефіцієнтом абсорбції. Зазвичай вважають, що у разі добре розчинного газу опір абсорбції (опір – величина, зворотна коефіцієнту масовіддачі) зосереджено у газовій фазі, а у разі погано розчинного газу – у рідкій. Оскільки поняття добре чи погано «розчинний газ» є нечіткими, то остання фраза може бути критерієм розчинності.

Коефіцієнти k_t або k_p для нових конструкцій абсорберів та хемосорбційних процесів зазвичай визначаються експериментально для кожного випадку абсорбції у функції, головним чином, температури, швидкості газу і рідини, способу створення міжфазної поверхні і т.д. Сказане вище щодо коефіцієнтів k_t і k_p є цілком справедливим для випадків, коли абсорбтив і абсорбент не вступають

у хімічні реакції ні в газі, ні в рідині. Хімічні реакції істотно впливають на швидкість абсорбції.

2.1.2. Апарати для проведення процесів абсорбції.

Процес абсорбції газів проводять у плівкових, насадочних (з нерухомою та рухомою насадкою), тарілчастих, розпилюючих та інших апаратах. При цьому абсорбери повинні мати:

- високу пропускну здатність газу;
- високу ефективність;
- низький гідравлічний опір;
- простоту конструкції;
- зручність експлуатації;
- невелику металомісткість;
- не повинна забиватися осадами та кородувати.

Процеси абсорбції часто практично поєднуються з десорбцією, тобто з видаленням поглинених газів (іноді цінних, іноді шкідливих) з абсорбента з його подальшим багаторазовим використанням. Абсорбція є процесом масообміну, інтенсивність якого пропорційна різниці концентрацій, що поглинається компонентом в газовій суміші і в рівноважному стані над розчином абсорбент – абсорбтив. Умова десорбції прямо протилежна, тобто рівноважна концентрація поглиненого компонента повинна перевищувати його концентрацію в газовій суміші над розчином. У промислових установках для фізичної абсорбції процес десорбції здійснюють шляхом зниження тиску над розчином абсорбент – абсорбтив, або нагріванням розчину, або тим і іншим одночасно. Відпрацьований абсорбент після хемосорбції регенерується переважно хімічними методами, а у деяких випадках – нагріванням.

Абсорбери з безперервним контактом фаз

Насадкові абсорбери. Апарати цієї групи є чи не найбільш поширеними у різних галузях промисловості. Рисунки двох варіантів насадкових абсорберів наведено на рис. 2.1 а та б. Корпус апарату представляє собою циліндричну

колону, у нижній частині якої розташовані штуцери для подачі газу 5 та відводу насиченого абсорбенту 8. Також в цій частині абсорберу знаходяться колосникові або плоскі перфоровані грати 1, які завантажуються насадкою у вигляді дрібних тіл різної форми (рис. 2.1, в).

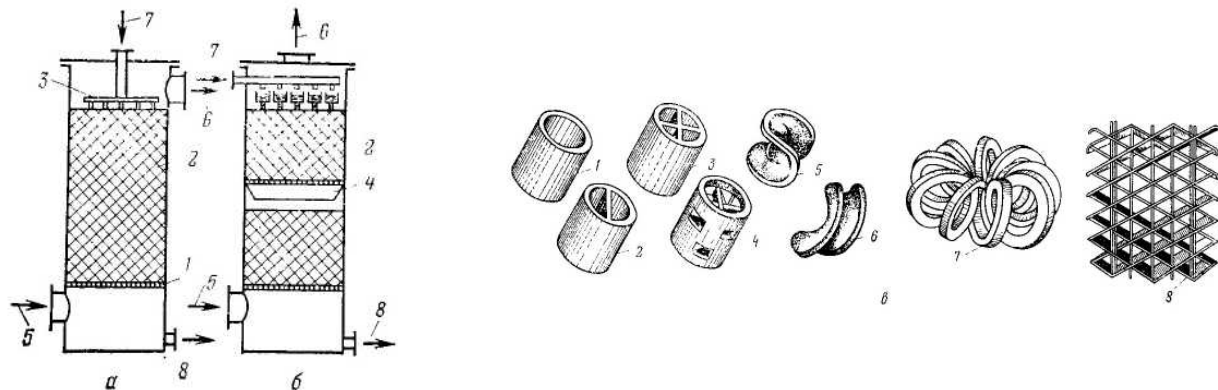


Рис. 2.1 – Насадочні абсорбери та види насадок:

а – колона із суцільним шаром насадки, *б* – колона із секціонованим шаром насадки, різновиди насадок:

1 – опорно-розподільна решітка, 2 – шар насадки, 3 – розподільник рідини, 4 – перерозподільча решітка, 5, 6 – вхід та вихід газу, 7, 8 – вхід та вихід рідини; в – види насадок: 1 – кільця Рашига, 2 – кільця з перегородкою, 3 – кільця з хрестоподібною перегородкою, 4 – кільця Палля (з вирізами у стінках та перегородками), 5 – сідла Берля, 6 – сідло «Інталокс», 7 – розетка Теллера, 8 – насадка «Спрейпак».

Грати служать опорою для завантажуваного шару насадки та рівномірному розподілу газового потоку, що надходить знизу. Над шаром насадки розташовуються пристрої рівномірного розподілу абсорбента 3 по перерізу колони. Контакт газу з абсорбентом відбувається в основному крізь поверхню рідини, що стікає по змоченій насадці, і так як ця поверхня в одиниці об'єму дуже велика (доходить до $600 \text{ м}^2/\text{м}^3$), то інтенсивність насадочних абсорберів досить значна.

Різноманітність насадок, що застосовуються, пояснюється безліччю вимог, що пред'являються до них, серед яких:

- велика питома поверхня та
- великий вільний обсяг (порізність);
- малий гідравлічний опір газовому потоку;

- рівномірний розподіл абсорбенту;
- гарна змочуваність;
- корозійна стійкість у робочому середовищі;
- мала насипна щільність;
- низька вартість.

Всім переліченим вимогам практично не задовольняє жодна з існуючих насадок, тому доводиться вибирати в кожному конкретному випадку найбільш підходящу.

Дуже простою є **хордова насадка**, яка складається з решіток, що утворюються поставленими на ребро дошками товщиною 10–15 мм та висотою 100–150 мм. Грати укладаються одна на одну хрест-навхрест. Недоліком цієї насадки, навіть при зазорі між дошками 10 мм, є порівняно невелика питома поверхня ($100 \text{ м}^2/\text{м}^3$) при малій порозорості (0,55).

В окремих випадках використовуються **коксова та кварцова** насадки – у вигляді шматків дробленого коксу або кварцу розміром 25–50 мм, що завантажуються навалом. Будучи дешевими і хімічно стійкими, ці насадки характеризуються малою питомою поверхнею ($20\text{--}70 \text{ м}^2/\text{м}^3$) при порозі близько 0,4 і великим гідравлічним опором. Крім того, кварцова насадка має велику насипну щільність, а коксова піддається подрібненню.

Широке застосування в промисловості отримала насадка **кільця Рашига** – тонкостінні циліндри висотою, що дорівнюють їх зовнішньому діаметру (рис. 2.1, в-1). Вони виготовляються з різних металів, кераміки та пластичних мас. Кільця із зовнішніми діаметрами від 10 до 50 мм завантажуються в колону навалом, а кільця великих діаметрів – правильними рядами, причому кільця суміжних рядів зсунуті один щодо одного. Керамічні кільця з діаметрами 10–50 мм мають відповідно: товщини стінок 1,5–5 мм, питомі поверхні $40\text{--}90 \text{ м}^2/\text{м}^3$, порізність 0,7–0,9 та насипну густину $700\text{--}530 \text{ кг}/\text{м}^3$. У сталевих кільцях тих самих діаметрів питома поверхня $500\text{--}110 \text{ м}^2/\text{м}^3$, порізність 0,88–0,95 і насипна густина $960\text{--}430 \text{ кг}/\text{м}^3$. Для збільшення питомої поверхні насадки запропоновані кільця з перегородкою (рис. 2.1, в-2), з хрестоподібною

перегородкою (рис. 2.1, б-3), кільця Палля – з вирізами в стінках і перегородками (рис. 2.1, в-4); будучи складнішими у виготовленні, ці кільця дещо ефективніші завдяки більшій питомій поверхні та дещо більшій турбулізації зустрічних потоків газу та рідини.

Також ширшає застосування керамічних **сідел Берля** (рис. 2.1, в-5) з поверхнею у формі гіперболічного параболоїда та **сідла «Інталокс»** (рис. 1.1, в-6) з поверхнею у формі **частини тора**. Маючи розміри від 12,5 до 50 мм, сідлоподібна насадка має більшу питому поверхню, ніж керамічні кільця Рашига (приблизно на 10–30 %), при однаковій порізності і практично рівній насипній щільності. Гідравлічний опір сідлоподібної насадки дещо нижчий, а ефективність є істотно вищою в порівнянні з кільцями Рашига тих же розмірів.

Дуже ефективною є насадка у вигляді **поліетиленових розеток Теллера** (рис. 2.1, в-7), що має питому поверхню $250 \text{ м}^2/\text{м}^3$ і порізність 0,83. У порівнянні з кільцями та сідлами розміром 25 мм ця насадка забезпечує більш високий об'ємний коефіцієнт масопередачі при нижчому гідравлічному опорі.

Також дуже перспективною є **металева сітчаста насадка «Спрейпак»** (рис. 2.1, в-8), що виготовляється зі смуг товщиною 0,5–1,0 мм шляхом їх розтягування в ширину після попереднього нанесення поздовжніх прорізів у шаховому порядку. Решітки, що виходять, з'єднуються стрижнями в пакети відповідно формі і розмірам абсорбера. Насадка допускає швидкості газового потоку до 3 м/с при порівняно низькому гідравлічному опорі.

Для нормальної роботи насадкових абсорберів потрібний рівномірний розподіл рідини, що подається за їх перерізом, переважно – безліччю дрібних струмочків. Це досягається найпростіше за **допомогою розподільних тарілок** (рис. 2.2), які складаються з горизонтальних плит із розвальцьованими або привареними патрубками, що сягають рівня насадки.

Застосовують два варіанти розподільних тарілок:

- 1) зі стоком рідини по патрубках і відведенням газу з міжтрубного простору (рис. 2.2, а, б);
- 2) зі зустрічним рухом рідини і газу через всі патрубки.

Відомі також інші розподільні пристрої, що працюють за принципом тонкого розбризкування рідини (форсунки, душові бризкалки, перфоровані труби, що обертаються, і диски різної форми). Ці пристрої, однак, викликають віднесення дрібних крапель рідини потоком газу і часто не виправдано ускладнені конструктивно.

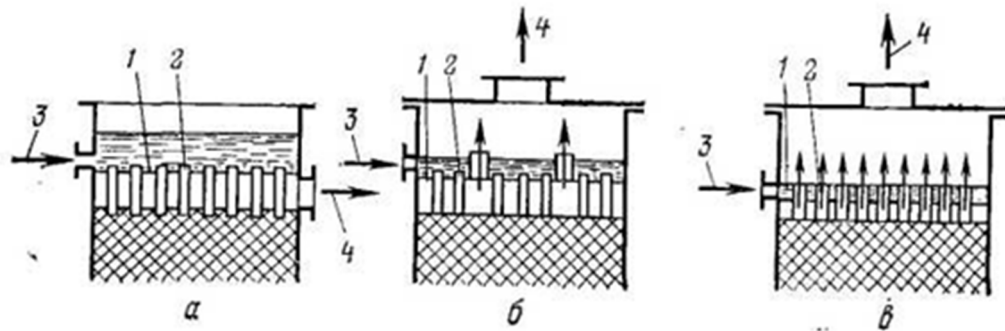


Рис. 2.2 – Розподільчі тарілки:

а, б – зі стоком рідини по патрубках та відведення газу з міжтрубного простору, *в* – із зустрічним рухом рідини та газу у всіх патрубках: *1* – плита, *2* – патрубки, *3* – вхід рідини, *4* – вихід газу.

Необхідно відзначити, що початкове **розподілення рідини не зберігається** при подальшому її перебігу по насадці. Як правило, вихідний газовий потік займає центральну область шару насадки, відтісняючи рідину до його периферії. Нерівномірність розподілу зустрічних потоків газу і рідини по перерізу абсорбера призводить часто до того, що дійсна поверхня контакту обох взаємодіючих фаз є меншою від геометричної поверхні насадки і, отже, реальна масообмінна здатність насадкового абсорбера є меншою потенційно можливої. Для деякого зменшення нерівномірності розподілу потоків часто вдаються до поділу шару насадки в абсорбері на кілька секцій за допомогою перерозподільних пристроїв, що складаються з проміжних ґрат з конусними фартухами (див. рис. 2.1, *б*).

Найбільш простим в даній групі є **абсорбер з суцільним барботажним шаром** (рис. 2.3, *а*), що являє собою циліндричну колону, забезпечену в нижній частині пористою плитою або перфорованою решіткою для диспергування газового потоку, що надходить знизу.

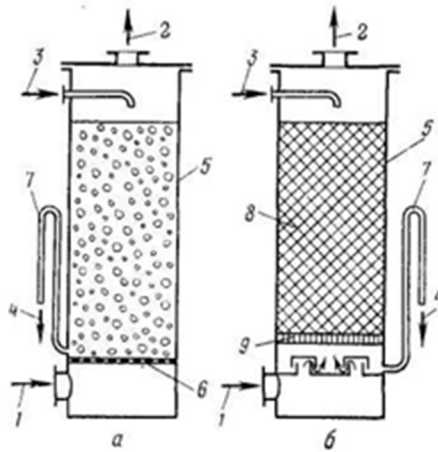


Рис. 2.3 – Абсорбери з суцільним барботажним шаром:

а – без внутрішніх розподільчих пристроїв, *б* – з насадкою в барботажному шарі; 1,2 – вхід та вихід газу, 3, 4 – вхід та вихід рідини, 5 – колона, 6 – газорозподільні ґрати, 7 – качка, 8 – насадка, 9 – решітки, що секціонують.

Над ґратами за допомогою підпірної трубки («качки») 7 підтримується шар рідини, через який барботують бульбашки газу. Рідина підводиться до колони, зазвичай, зверху, інколи **знизу**, але в обох випадках вона циркулює у вертикальному напрямку, захоплюючись вгору потоком газових бульбашок у центральній частині колони та опускаючись у її пристінній частині. Завдяки цій циркуляції (подовжньому перемішуванню) концентрація газу, що абсорбується в рідині, є практично постійною по висоті барботажного шару, що призводить до втрати рушійної сили масообміну і низької ефективності абсорбера. Цим пояснюється переважне застосування апарату для здійснення процесів хемосорбції. Швидкість газу в барботажних апаратах, віднесена до повного їх перерізу, дуже мала і становить 0,3–0,4 м/с. Для зменшення подовжнього перемішування рідини абсорбери з суцільним барботажним шаром часто секціонують шляхом розміщення в них ряду проміжних решіток. **Значно більшого ефекту досягають при завантаженні в зону барботажного шару будь-якої насадки (рис. 2.3, б), перетворюючи апарат в насадковий абсорбер з барботажним робочим режимом.**

Абсорбери зі ступінчастим контактом фаз

З цієї групи апаратів найбільш широке застосування отримали **тарілчасті барботажні колони, секціоновані по висоті поперечними тарілками різноманітних конструкцій**. У цих апаратах вихідний потік газу послідовно барботує через шари рідини на тарілках, розташованих на певній відстані один від одного. Рідина (абсорбент) безперервно перетікає з верхніх на нижчі тарілки, які відокремлені один від одного вільним простором, де газ відокремлюється від крапель і бризок. Таким чином, у тарілчастих абсорберах відбувається не безперервний, а ступінчастий контакт газу і абсорбенту.

Різнманітність існуючих барботажних тарілок обумовлено пошуками конструкцій, що забезпечують:

- високу інтенсивність і ефективність масообміну;
- простоту виготовлення і монтажу;
- низький гідравлічний опір.

Так як можливості задоволення цих вимог часто пов'язані з механізмом хімічних та фізичних процесів, що супроводжують абсорбцію, масштабом і характером виробництва, властивостями оброблюваних систем і робочими режимами – в ряді випадків кращими є одні конструкції, а в інших випадках другі. Частим фактором є те, що багато з цих конструкцій виявляються практично рівноцінними.

Тарілка з круглими ковпачками (ковпачкова), зовнішній вигляд якої представлений на рис. 2.4, а, а внутрішній устрій абсорбера на рис. 2, б, є металевим диском 2 з отворами, в яких укріплені патрубки 3, що перекриваються зверху ковпачками 4. У нижній частині ковпачка, зануреного в рідину, є вирізи (рис. 2.4 в-1) або прорізи (рис. 2.4 в-2), які призначені для диспергування газу. Останній проходить через патрубок і простір, обмежений ковпачком, барботує через шар рідини на тарілці і надходить у патрубки тарілки.

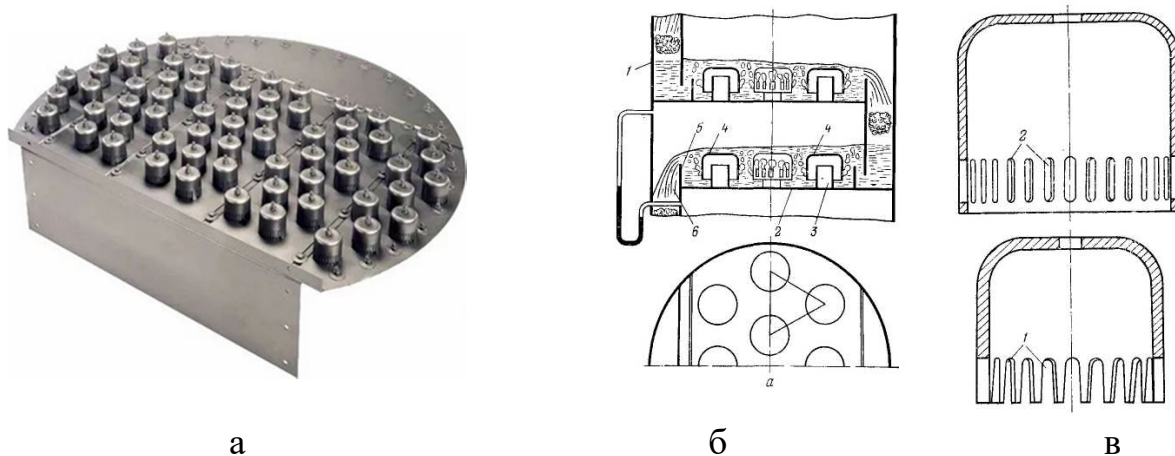


Рис. 2.4 – Ковпачкова тарілка.

а – зовнішній вигляд; б – внутрішній устрій колони; в – ковпачок;

1 – корпус колони; 2 – металевий диск; 3 – патрубок; 4 – ковпачок; 5 – зливний поріг; 6 – перетічний канал

Рідина перетікає з тарілки на тарілку через перетічні канали 6, кінці яких опущені в рідину нижче її рівня на тарілках, утворюючи гідравлічний затвор, який перешкоджає проході газу повз патрубки. Рівень рідини на тарілці визначається висотою зливного порогу.

Ковпачки розміщуються у вершинах рівносторонніх трикутників з кроком, рівним від 1,3 до 1,9 їх діаметра. При цьому менший крок приймають для колон, що працюють під вакуумом (для зменшення втрати тиску потоку газу в патрубках), середній – при роботі колони під атмосферним і малим надлишковим тисках, а більший – при високих робочих тисках. Діаметри ковпачків прийняті 80, 100 і 150 мм відповідно для колон діаметром до 1,4, від 1,4 до 3 і вище 3 м. Слід зазначити, що при роботі із забрудненими рідинами діаметр ковпачка досягає 300 мм. Для нормальної роботи колони зазор між нижнім зрізом зубчастого ковпачка і тарілкою має бути не більше 5–10 мм (ковпачки з вирізами спираються безпосередньо на тарілку). При цьому занурення прорізів ковпачків щодо зливного порога коливається від 5 до 15 мм у разі роботи під вакуумом, і близько 30 мм у колон, які працюють під атмосферним і вищими тисками. Біля зливного порогу передбачається отвір діаметром 10–15 мм для спорожнення колони під час її зупинки на ремонт.

Сітчасті тарілки це перфоровані диски з отворами діаметром 2–8 мм (або зі щілинами шириною 2–4 мм), мають звичайний переточний пристрій (см. рис. 2.4. б-6. Газ проходить через усі отвори та барботує через шар рідини. Будучи простими за конструкцією, ці тарілки мають порівняно вузький діапазон навантаження по газу. При малих навантаженнях рідина буде протікати через отвори (газ не може утримати шар рідини), а при великих – рідина буде нестися потоком газу на тарілки, що знаходяться вище .

Струменева тарілка це диск з шахово розташованими прорізами і відігнутими вгору вирізаними частинами, що надають тарілці лускату форму. Тарілка має переточний пристрій, але без зливного порогу. При підвищенні швидкості газу барботажний режим під дією спрямованих газових струменів переходить у струменевий: газ стає суцільною, а рідина – дисперсною фазою. У цьому режимі розвивається велика поверхня масообміну, але виникає небезпека винесення капель рідини газовим потоком з нижчележачих на ті, що знаходяться вище. Для зменшення винесення запропоновані струменеві тарілки з розташованими над ними сепаруючими або відбійними пристосуваннями.

Найбільш простими за конструкцією є **провальні тарілки** (у англomовній літературі – **двопоточні тарілки**), що відрізняються відсутністю переточних пристроїв. Ці тарілки можуть бути зібрані з окремих смуг (типу колосникових ґрат) з зазором між ними 3–6 мм, або з ряду паралельно розташованих труб з використанням їх внутрішньої порожнини для потоку хладагенту. Також вони виготовляються у вигляді плоских дисків з фрезерованими або штампованими щілинами і круглими отворами. На провальних тарілках газ і рідина рухаються протитечею через одні й ті самі щілини або отвори. Тарілки, що розглядаються, подібно до ситчастих, мають вузький діапазон навантаження по газу, оскільки при малих його швидкостях рідина не утримується на тарілці (провалюється), а при великих – виноситься на тарілки, що лежать вище. До недоліків провальних тарілок відноситься нерівномірність барботажа (газ і рідина в кожен момент часу проходять через різні отвори), а також значне поздовжнє перемішування рідини, що викликає зниження ефективності масообміну.

Дуже ефективною є **клапанна тарілка** (рис. 2.5, *а*), це плоский диск, в якому зроблені круглі або прямокутні отвори для проходу газу. Ці отвори розташовані у шаховому порядку (як і в ковпачковій тарілці). На рис. 2.5, *б* показаний прямокутний клапан у закритому, напіввідкритому та граничному положеннях.

Більше широке застосування отримали круглі (дискові) клапани з нижніми (рис. 2.5, *в*) і верхніми (рис. 2.5, *г*) обмежувачами. В обох випадках обмежувачі служать одночасно напрямними при підйомі та опусканні клапана.

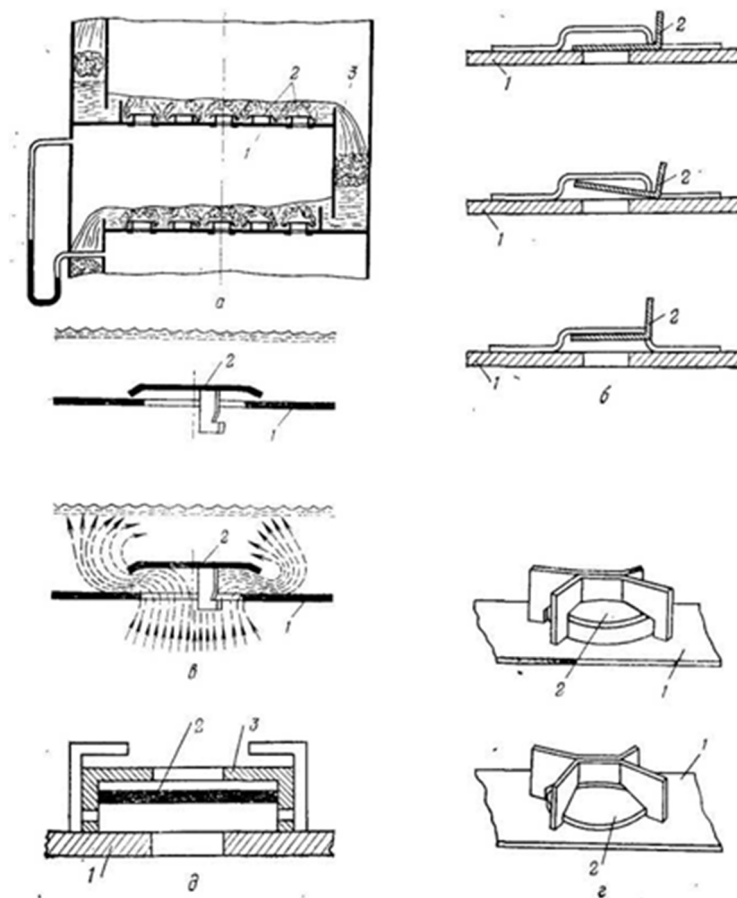


Рис. 2.5 – Клапанна тарілка:

а – загальний вигляд тарілки: 1 – диск, 2 – клапани, 3 – переточний пристрій;
б – прямокутний клапан у закритому, напіввідкритому та граничному положеннях;
в – круглий клапан з нижніми обмежувачами у закритому (вгорі) та відкритому (внизу) положеннях; *г* – круглий клапан з верхніми обмежувачами у відкритому (вгорі) і закритому (внизу) положеннях; *д* – баластовий клапан: 1 – диск тарілки, 2, 3 – баластові деталі.

Особливістю клапанної тарілки є допустимість роботи при змінних навантаженнях колони по газу. Відповідно до збільшення та зменшення витрати газу клапани піднімаються на більшу або меншу висоту, забезпечуючи практично

постійну швидкість газу без провалу рідини. Найбільшу стійкість роботи колони при різкій зміні витрати газу (до десятикратного) забезпечують баластові клапани (рис. 2.5, д). У цьому варіанті легкий клапан поміщений усередині більш важкої баластної деталі, так що при невеликих витратах газу піднімається лише один легкий клапан, а при великих – разом з баластною деталлю.

Діаметр отворів у клапанних тарілках зазвичай дорівнює 40 мм, діаметр клапана – 50 мм, товщина – 2 мм, вага ~30 г. У колонах, що працюють під атмосферним тиском, відстань між центрами клапанів є у 2 рази більшою за їх діаметр, надмірному робочому тиску – у 3–4 рази.

В останні роки отримали застосування абсорбційні **колони з трифазним псевдорозрідженим шаром** (рис. 2.6), де твердою фазою є порожнисті або спінені кулі з поліетилену, поліпропілену та інших пластиків.

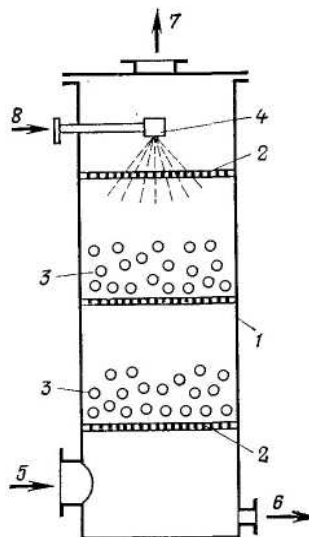


Рис. 2.6 – Абсорбер з трьофазним псевдорозрідженим шаром:

1 – корпус колони, 2 – решітка, 3 – шарова насадка, 4 – розподільник рідини,
5 – вхід газу, 6 – вихід рідини, 7 – вихід газу, 8 – вхід рідини.

Колона секціонована колосниковими ґратами із часткою живого перерізу 30–50 %. Середня швидкість газу у цих колонах при нормальному тиску сягає 7 м/с, а можлива щільність зрошення рідиною перевищує $200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Висота

нерухомого шару куль на решітках вибирається не більше 150–250 мм; розширення шару в робочому стані – двох-чотириразове.

У процесах, де основний опір масообміну зосереджено в газовій фазі, абсорбери з трифазним псевдозрідженим шаром виявляють значно більш високу ефективність, ніж апарати інших типів. Великою перевагою аналізованих апаратів є їх нечутливість до забруднень газу і рідини, а також до порівняно великих коливань навантаження.

Розпилювальні абсорбери. Найбільш простим є форсуночний абсорбер, що являє собою порожнисту колону, в якій вихідний потік газу рухається назустріч абсорбенту, розпорошеному на дрібні краплі. Розпилення проводиться найчастіше механічними форсунками, розташованими на периферії колони горизонтально або під деяким кутом до горизонту. При великій висоті колони для рівномірного її заповнення форсунки розташовують у два або кілька ярусів. Форсуночні абсорбери працюють, зазвичай, зі швидкістю газу 1–1,5 м/с і щільністю зрошення не нижче $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Незважаючи на низьку вартість, невеликий гідравлічний опір і можливість роботи із забрудненими газами, форсуночні абсорбери мають обмежене застосування через низьку ефективність. Цей недолік викликаний нерівномірним розподілом рідини та газу по перерізу апарату, а також інтенсивним поздовжнім перемішуванням в обох фазах. Деяке збільшення ефективності досягається при підвищенні швидкості газу до 5 м/с і щільності зрошення до $30\text{--}45 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, але при цьому, зазвичай, з'являється велике винесення з апарату рідини газом.

Більш ефективні абсорбери Вентури, що зустрічаються в декількох конструктивних варіантах (рис. 2.7). Всі вони працюють у режимі прямого газу та рідини.

У абсорбера, зображеного на рис. 2.7, а, газ входить у конфузور, а рідина – через отвори в горловині. Пройшовши з великою швидкістю (20–30 м/с) через дифузор, газорідинна суміш надходить тангенціально у вертикальний сепаратор, де вона поділяється, рідина йде через нижній штуцер, а газ через штуцер у верхній кришці.

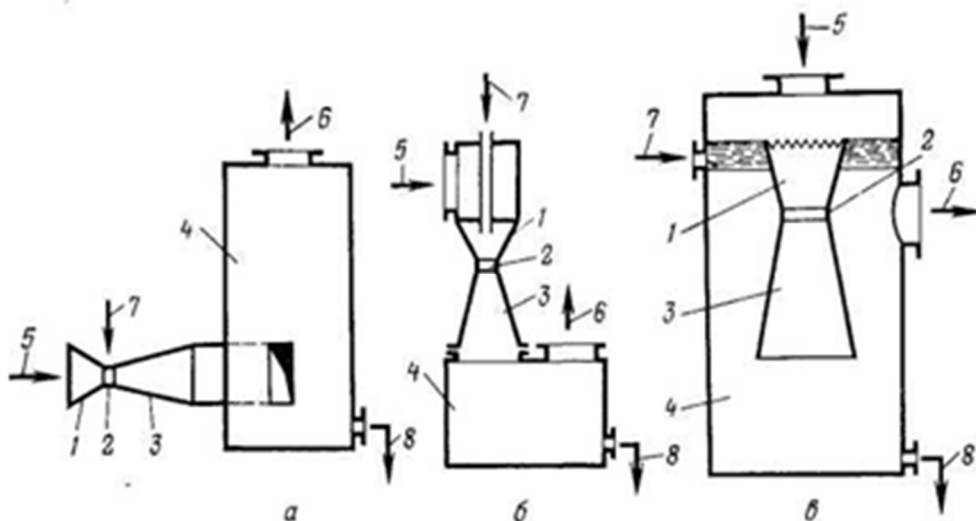


Рис. 2.7 – Абсорбери Вентурі:

а – із введенням рідини в горловину, *б* – з введенням рідини через центральне сопло і бічним входом газу, *в* – із плівковим введенням рідини;

В іншому варіанті (рис. 2.7, *б*) рідина входить через центральне сопло, а газ по бічному штуцеру. При цьому сепаратором служить бак, на кришку якого спирається труба Вентурі.

На відміну від двох варіантів у абсорбера, зображеного на рис. 2.7, рідина стікає по внутрішній поверхні конфузора у вигляді плівки і розпорошується потоком газу в горловині. Труба Вентурі тут розташована всередині об'єму сепарації.

Будучи дуже продуктивними, абсорбери Вентурі внаслідок прямого фаз мають обмежену масообмінну здатність. Збільшення останньої шляхом установки ряду ступенів пов'язане з необхідністю використання проміжних насосів для перекачування абсорбенту і зі значним ускладненням технологічної схеми.

2.2. Адсорбційні методи очистки скидних газів

Адсорбційні методи очистки газів базуються на властивості пористих твердих речовин поглинати забруднювачі. Поглинені молекули газу утримуються на поверхні твердих тіл (фізична адсорбція) чи хімічними силами (хемосорбція). Адсорбція рекомендується для очищення газів із невисокою концентрацією

шкідливих компонентів. Адсорбовані речовини видаляються з адсорбентів десорбцією інертним газом чи парою. У деяких випадках проводять термічну регенерацію. Переваги процесу – високий рівень очищення, при цьому газу в процесі очищення не охолоджуються і відсутні рідини. Крім того, відпадає необхідність в насосах та витраті енергії на перекачування. Недоліки визначаються тим, що для очищення придатні тільки сухі та незапилені газу, а також невелика швидкість їх руху в адсорбентах. Адсорбційне очищення газів проводять в адсорберах з нерухомим, рухомим і псевдозрідженим шаром сорбенту в установках періодичної та безперервної дії. Найчастіше цей метод застосовують при рекуперації органічних розчинників.

Процеси адсорбції можуть проводитися періодично (в апаратах з нерухомим шаром адсорбенту) і безперервно – в апаратах з рухомим або киплячим шаром адсорбенту, а також в апаратах з нерухомим шаром – в установці з двох або більшої кількості адсорберів, в яких окремі стадії процесу протікають не одночасно.

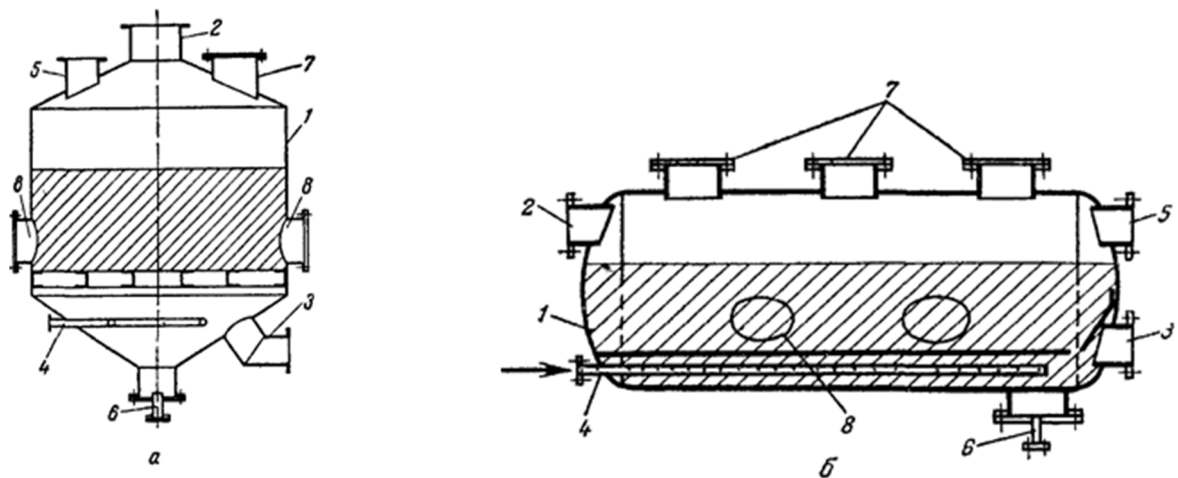


Рис. 2.8 – Адсорбери періодичної дії з нерухомим шаром поглиначу:

а – вертикальний, б – горизонтальний;

1 – корпус; 2, 3, 5, 6 – штуцери для подачі парогазової суміші; відведення відпрацьованого газу; відведення конденсату; відведення пари, відповідно; 4 – барботер для подачі гострої пари; 7, 8 – люки для завантаження та вивантаження поглиначу, відповідно.

Адсорбери з нерухомим шаром поглиначу є простими за конструкцією, що пояснює їх значне поширення. Найчастіше застосовуються циліндричні адсорбери

вертикального і горизонтального типів (рис. 2.8). Процес адсорбційної очистки газу проходить у наступному циклі. Перша його стадія – власне адсорбція, тобто. насичення поглинача адсорбованим компонентом. Парогазова суміш подається в корпус 1 апарату (рис. 2.8) через штуцер 2, проходить крізь шар поглинача (на малюнку його заштриховано) і виходить через штуцер 3.

Друга стадія - десорбція поглиненого компонента з поглинача. Подача парогазової суміші припиняється, і в апарат подається водяна пара через барботер 4 (рис. 2.8, а, б) або через штуцер 3 (рис. 2.8, б). Суміш парів десорбованого компонента та води видаляється через штуцер 5. Конденсат пари відводиться з апарату після десорбції через штуцер 6 (рис. 2.8, а, б) або 5 (рис. 2.8, б).

Третя стадія – сушіння поглинача. Перекривається вхід і вихід водяної пари, після чого вологий поглинач сушиться гарячим повітрям, що надходить в апарат через штуцер 2 і виходять з апарату через штуцер 3.

Четверта стадія – охолодження поглинача. Припиняється подача гарячого повітря, після чого поглинач охолоджується холодним повітрям, що надходить в апарат також через штуцер 2; відпрацьоване вологе повітря видаляється через штуцер 3.

Після закінчення четвертої стадії цикл роботи апарату починається знову. Завантаження поглинача проводять періодично крізь люки 7 та 8.

У разі відсутності однієї з останніх двох стадій (охолодження поглинача або його осушення) метод проведення процесу називатиметься трифазним. Існує також двофазний метод, при якому у регенований водяною парою гарячий і вологий поглинач подається послідовно гаряча і холодна паро-повітряна суміш (перша стадія) При цьому процеси сушіння і охолодження поглинача йде одночасно з процесом поглинання. Після закінчення першої стадії здійснюється десорбція поглинених речовин водяною парою (друга стадія).

З адсорбентів (матеріалів, якими заповнюється адсорбер) широко поширене активоване вугілля. Його застосовують, наприклад, для адсорбції SO_2 . Для адсорбції цього газу застосовують також активований силікагель, карбонат кальцію, підлужений оксид алюмінію, активований діоксид марганцю та ін.

Для видалення сірководню та органічних сірчанистих сполук із газу використовують апарати з кількома псевдозрідженими шарами гранульованого оксиду заліза з температури 340–300 °С. Гранули оксиду заліза регенерують і отримують діоксид сірки, який переробляють на сірчану кислоту.

2.3. Каталітичні методи очистки газів

Ці методи пов'язані з хімічними перетвореннями токсичних компонентів на нетоксичні на поверхні каталізаторів. Вони очищають попередньо підготовлені гази, що не містять пилу і каталізаторних отрут.

Насправді широко поширене каталітичне розкладання оксидів азоту. Сутність способу полягає в тому, що оксиди азоту відновлюються газом-відновником (воднем, метаном, оксидом вуглецю та ін.) у присутності каталізаторів. Як останні використовують різні метали, якими покривають вогнетривкі матеріали (носії). Найчастіше застосовують паладієвий каталізатор, нанесений на окис алюмінію. Температура початку контактування при відновленні становить 400–470°C.

Гідруванням (обробкою воднем) оксиду вуглецю на каталізаторах його можна практично повністю видалити з газів. Процес проводять при високих тисках та підвищених температурах з використанням нікелевих та залізних каталізаторів.

2.4. Очищення газів від пилу

Багато сучасних технологічних процесів пов'язані з дробленням і помелом речовин, транспортуванням сипких матеріалів. При цьому частина матеріалів переходить у пил, який шкідливий для здоров'я та завдає значної матеріальної шкоди народному господарству внаслідок втрати цінних продуктів. Пилові частинки мають більшу сумарну поверхню, тому хімічна та біологічна активність пилу значно вища, ніж у вихідних матеріалів.

Частинки промислового пилу мають різну форму (кульки, палички, платівки, голки, волокна тощо). Поняття «розмір частинки» через велику різноманітність

форм є умовним. Пилові частинки різної форми при одній і тій самій масі осідають з різною швидкістю. Що ближче їх форма до сферичної, то швидше вони осідають. Найбільший та найменший розміри частинок характеризують діапазон дисперсності даного пилу.

Робота пиловловлюючих апаратів заснована на використанні різних **механізмів осадження частинок**:

- гравітаційного осадження (під дією сили тяжіння);
- осадження під впливом інерційних сили;
- фільтрування крізь пористі матеріали;
- взаємодії електрично заряджених часток пилу з електродами;
- змочування у рідині.

Для очищення використовують різні конструкції апаратів. **За способом уловлювання пилу** їх поділяють на апарати сухого, мокрого та електричного очищення газів. Основним критерієм вибору того чи іншого типу обладнання є ступінь очищення, що залежить від властивостей пилу та параметрів газового потоку.

Одним з основних параметрів при виборі та експлуатації пиловловлювачів є **об'ємна витрата газу**. Різні види уловлювачів експлуатуються при наступних значеннях швидкості газу (м/с): циклони (поодинокі) – 3–6, мультициклони – 6–12, електрофільтри – 1,5–3, тканинні фільтри – 0,005–0,3, скрубери – 1–4.

Істотний фактор, що впливає на очищення газів, – їхня вологість. При вмісті води 20 % за об'ємом можлива конденсація парів води всередині пиловловлювача. Тканинні фільтри через утворення кірки бруду на поверхні осадження можуть вийти з ладу, нормальна робота циклонів та електрофільтрів у цьому випадку також не можлива.

2.4.1. Сухе очищення газу від пилу.

До сухих механічних пиловловлювачів відносять апарати, в яких використовуються різні механізми осадження: гравітаційний (пилоосаджувальні камери), інерційний (камери, осадження пилу в яких відбувається в результаті

зміни напрямку газового потоку або установки на його шляху перешкоди) і відцентрові (поодинокі, групові та батарейні) циклони, вихрові та динамічні пиловловлювачі.

Перелічені апарати відрізняються простотою виготовлення та експлуатації, їх досить широко використовують у промисловості. Однак ефективність уловлювання в них пилу не завжди виявляється достатньою, у зв'язку з чим часто виконують роль апаратів попереднього очищення газів.

Типи пилоосаджувальних камер показано на рис. 2.9. За умов руху газу з невеликою швидкістю вздовж камери 1 пил, осідаючи під дією сили тяжіння (гравітаційний механізм осадження), потрапляє в бункери 2. Для підвищення ступеня очищення в камерах встановлюють перегородки 3. Газ огинає їх, а пил, рухаючись по інерції (інерційний механізм осадження), вдаряється об перегородку і зсипається в бункер.

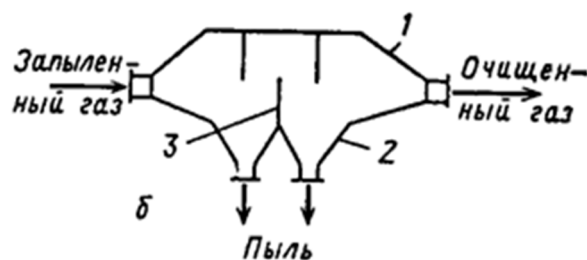
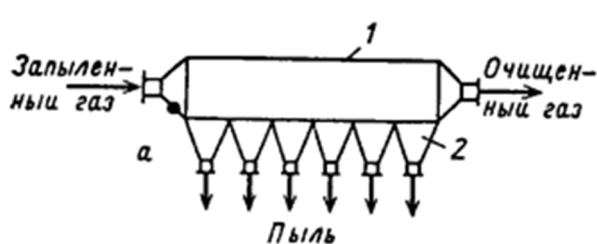
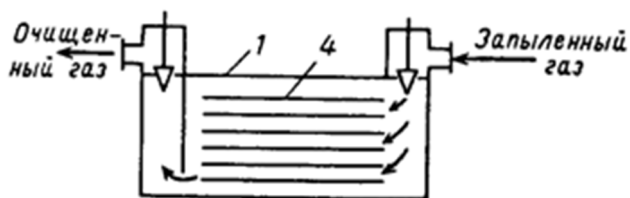


Рис. 2.9 – Пилоосаджувальні камери:

а – проста камера, б – камера з перегородками, в – багатополочна камера: 1 – корпус, 2 – бункери, 3 – перегородка, 4 – полка.



Циклонні апарати найпоширеніші у промисловості. За способом підведення газів в апарат їх поділяють на циклони зі спіральними, тангенціальним і гвинтоподібними, а також осьовими підведеннями. На практиці всі способи підведення газу можуть використовуватися рівною мірою, але найбільш поширеним є тангенціальне підведення (тобто введення газу по дотичній до циліндричної стінки апарату). У всіх випадках введення газу виконується так, щоб закрутити потік газу навколо осі циклону.

На рис. 2.10 наведено циклон. Принцип його роботи: газ обертається всередині циклону, рухаючись зверху вниз, а потім рухається вгору. Частинки пилу відкидаються відцентровою силою до стінки. Зазвичай, в циклонах відцентрове прискорення в кілька сотень, а то й тисячу разів більше від прискорення сили тяжіння, тому навіть дуже маленькі частинки пилу не в змозі йти за газом, а під впливом відцентрової сили рухаються до стінки. Частки пилу, що потрапили на стінку, осідають уздовж стінок в пилоосаджувальну камеру.

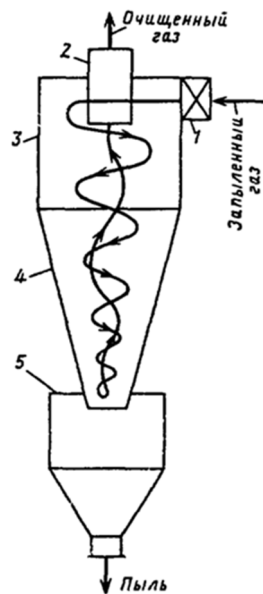


Рис. 2.10 – Циклон:

1 – вхідний патрубок, 2 – вихлопна труба, 3 – циліндрична камера, 4 – конічна камера, 5 – пилоосаджувальна камера.

Циклони мають такі переваги:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійність роботи при температурах газів аж до 500°C (для роботи при вищих температурах циклони виготовляють із спеціальних матеріалів);
- можливість уловлювання абразивних матеріалів за умови захисту внутрішніх поверхонь циклонів спеціальними покриттями;
- уловлювання пилу у сухому вигляді;
- успішна робота при високих тисках газів;
- простота виготовлення.

До недоліків циклонів відносять:

- порівняно високу витрату енергії на просмокування через них газу;
- погане уловлювання частинок розміром менше 5 мкм;
- неможливість очищення газів від липких забруднень.

Очистка великих об'ємів газу потребує збільшення діаметру циклону, але це призводить до зменшення його ефективності (ступеню очистки). Тому застосовують групове компонування апаратів. Це дозволяє не збільшувати діаметр апарату, що зберігає якість очищення газу. Запиленний газ входить через загальний колектор, потім розподіляється між циклонними елементами.

Прагнення зниження діаметру циклонів заради збільшення ефективності його роботи призвело до створення батарейних циклонів (мультициклонів) – об'єднання великої кількості малих циклонів у групу. Схема батарейного циклону наведено на рис. 2.11, *а*. Елементи батарейних циклонів (рис. 2.12, *б, в*) мають діаметр 100, 150 або 250 мм.

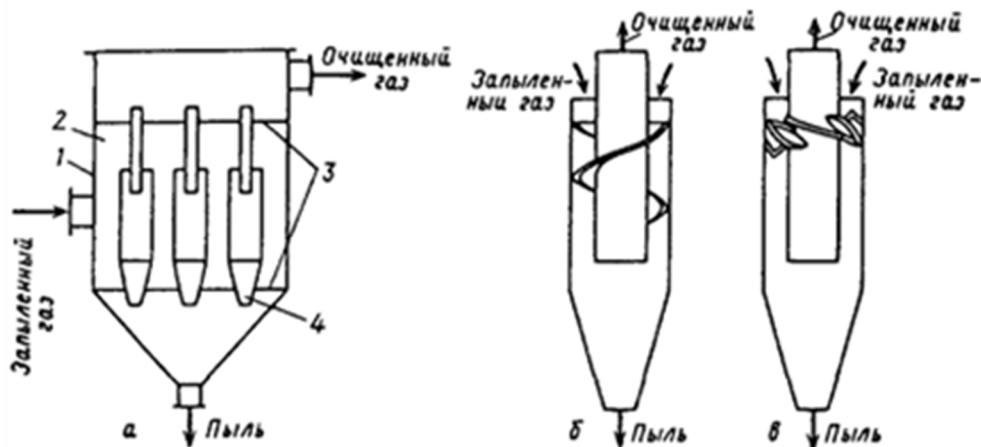


Рис. 2.12 – Батарейний циклон:

а – схема батарейного циклону, *б* – елемент із напрямним апаратом типу «гвинт»,
в – елемент із напрямним апаратом типу «розетка»; 1 – корпус, 2 – розподільна камера, 3 – ґрати, 4 – циклонний елемент.

Як зазначалося, циклони дозволяють очищати газ від частинок розміром щонайменше 5 мкм. Для очищення від дрібніших частинок та підвищення ступеня очищення застосовують фільтрування газу через пористу перегородку.

Фільтрування газів. З апаратів цієї групи найбільшого поширення дістали тканинні фільтри. Можливості їх використання розширюються у зв'язку із створенням нових температуростійких та стійких до впливу агресивних газів тканин. Найчастіше застосовують рукавні фільтри (рис. 2.13).

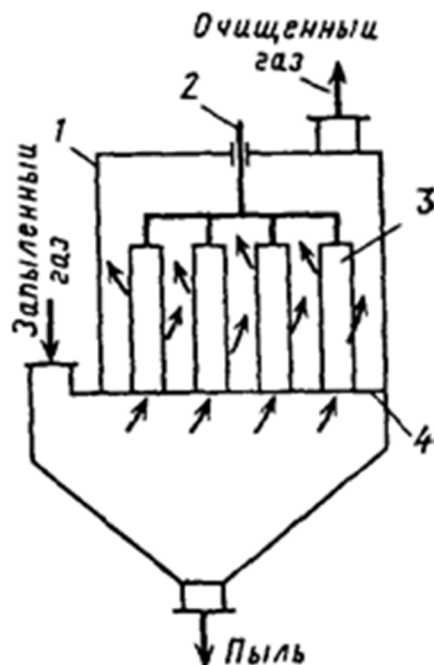


Рис. 3.4 – Рукавний фільтр:

1 – корпус, 2 – струшуючий пристрій, 3 – рукав, 4 – розподільна решітка.

Корпус фільтра являє собою металеву шафу 1, розділену вертикальними перегородками на секції, в кожній з яких розміщена група фільтруючих рукавів 3. Верхні кінці рукавів заглушені і підвішені до рами, з'єднаної з механізмом, що струшує 2. Внизу розташований бункер для пилу з пристроєм для його вивантаження. Струшування рукавів у кожній із секцій проводиться по черзі. На час проведення струшування подачу газу до секції припиняють.

У тканинних фільтрах застосовують фільтруючі матеріали двох типів: звичайні тканини, що виготовляються на ткацьких верстатах і повсті, одержані шляхом сволочення або механічного переплутування волокон голкопробивним методом.

В електрофільтрах очищення газів від пилу відбувається під впливом електричних сил. У процесі іонізації молекул запиленних газів електричним

розрядом відбувається заряд частинок пилю. Іони абсорбуються на поверхні порошин, а потім під дією електричного поля вони переміщуються до осадових електродів і осаджуються на них. Таким чином, електроочищення включає процеси утворення іонів, зарядки пилових частинок, транспортування їх до осадових електродів, періодичне руйнування шару пилю, що накопичився на електродах, і скидання її в пилозбірні бункери.

Електрофільтри розрізняють за різними ознаками: за напрямом ходу газів – на вертикальні та горизонтальні; за формою осадових електродів – з пластинчастими, С-подібними, трубчастими та шестигранными електродами; за формою коронуючих електродів – з голчастими, круглого або багнетового перерізу; за кількістю паралельно працюючих секцій – на одно-і багатосекційні.

Найбільш поширеними електрофільтрами є електрофільтри з пластинчастими та трубчастими електродами. У пластинчастих електрофільтрах між осадовими пластинчастими електродами натягнуті дрітні коронуючі. У трубчастих електрофільтрах осаджувальні електроди являють собою циліндри (трубки), усередині яких по осі розташовані коронуючі електроди.

Схема трубчастого електрофільтра представлена рис. 2.14.

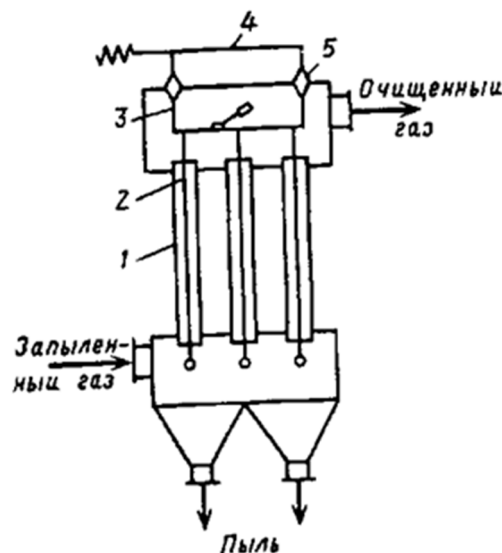


Рис. 2.14 – Трубчастий електрофільтр:

1 – осаджувальний електрод, 2 – коронуючий електрод, 3 – рама, 4 – струшувач, 5 – ізолятор.

Запилений газ рухається вертикальними трубами 1 діаметром 200–250 мм. Пил осідає на внутрішній поверхні труб. За допомогою пристрою 4, що струшує його видаляють в бункер.

Електрофільтри очищають великі об'єми газів від пилу з частинками розміром від 0,01 до 100 мкм при температурі газів до 400–450°C.

Ефективність роботи електрофільтрів залежить від властивостей пилу та газу, швидкості та рівномірності розподілу запиленого потоку в перерізі апаратів і т.д. Чим вище напруженість поля і менше швидкість газу в апараті, тим краще вловлюється пил.

Для газів, що містять горючі та отруйні домішки, а також для уловлювання липкого пилу, краще використовувати апарати мокрого очищення.

2.4.2. Мокрі пиловловлювачі

Мокрі пиловловлювачі мають ряд переваг та недоліків у порівнянні з апаратами інших типів. Позитивні якості: невелика вартість і більш висока, порівняно з апаратами сухого пилеочищення, ефективність уловлювання зважених частинок; уловлювання частинок розміром до 0,1 мкм, можливість очищення газу при високій температурі та підвищеній вологості, а також при небезпеці спалаху та вибухів очищених газів та уловленого пилу, можливість поряд з пилом одночасно вловлювати пароподібні та газоподібні компоненти. Недоліками мокрих пиловловлювачів є: виділення уловленого пилу як шламу (суміш пилу з рідиною), що пов'язані з необхідністю переробки стічних вод; можливість винесення крапель рідини та осадження їх з пилом в газоходах та димососах, у разі очищення агресивних газів необхідність захищати апаратуру та комунікацію антикорозійними матеріалами.

У мокрих пиловловлювачах, як зрошуюча рідина, найчастіше використовується вода. Залежно від поверхні контакту або за способом дії їх поділяють на 8 видів, з яких найбільший інтерес становлять: порожнисті газопромивачі, насадкові скрубери, тарілчасті (барботажні та пінні) та швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі та ежекторні).

Внаслідок взаємодії запиленого газового потоку з рідиною утворюється міжфазна поверхня контакту. Ця поверхня складається з газових бульбашок, газових струменів, рідких струменів, крапель, плівок рідини. У більшості мокрих пиловловлювачів спостерігаються різні види поверхонь тому пил уловлюється в них за різними механізмами.

Порожнисті газопромивачі. Найбільш поширені порожнисті форсуночні скрубери. Такий апарат є колоною круглого або прямокутного перерізу, в якщму здійснюється контакт між газом і краплями рідини. Форсунки встановлюють у колоні в одному або кількох перерізах: іноді рядами до 14–16 у кожному перерізі, іноді тільки по осі апарату.

Порожні скрубери забезпечують високий ступінь очищення тільки при уловлюванні частинок пилу розміром більше 10 мкм і малоефективні при уловлюванні частинок розміром менше 5 мкм.

Насадочні газопромивачі являють собою колони, що заповнені насадкою. Останню розміщують регулярно або навалом. Насадка – просторова структура з розвиненою поверхнею, що заповнює внутрішній об'єм апарату. Це різні сітки, кільця Рашига (керамічні циліндри діаметром від 10 до 100 мм і такої ж висоти), керамічні елементи сідлоподібної форми тощо. Їх використовують для уловлювання пилу, що добре змочується, але при невисокій його концентрації. Через часте забиття насадки такі газопромивачі використовують мало. Крім протиточних колон практично застосовують насадочні скрубери з поперечним зрошенням. Вони забезпечення кращим змочуванням поверхні насадки, її шар, зазвичай, нахилений на $7\text{--}10^\circ$ у бік газового потоку. Ефективність при уловлюванні частинок розміром менше 2 мкм перевищує 90 %.

Тарілчасті газопромивачі (барботажні, пінні). Найбільш поширені пінні апарати з провальними тарілками (2.15, а) або тарілками з переливом (2.1, б). Тарілка є металевим диском з отворами або щілинами, що перегороджує перетин апарату. Тарілки з переливами мають спеціальні пристрої 3 для подачі зрошуючої рідини та її відведення 5. Рідина в цьому апараті рухається горизонтально поперек потоку газу.

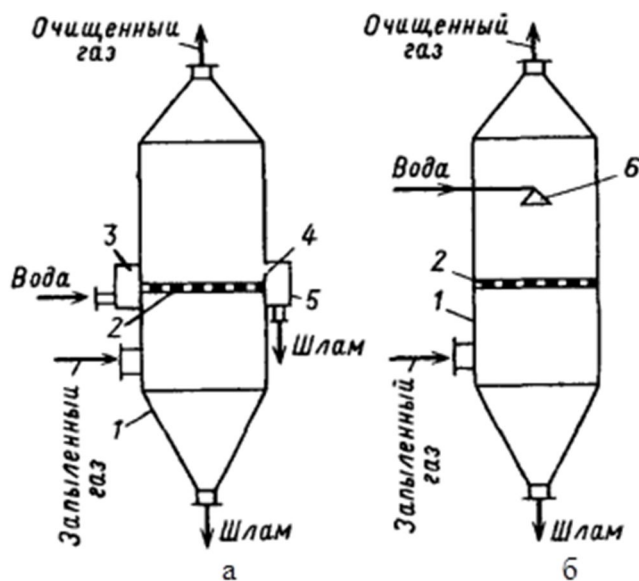


Рис 2.15. Пінні пиловловлювачі:

а – з переливною тарілкою; б - з провальною тарілкою,

1 – корпус; 2 – тарілка, 3 – приймальна коробка, 4 – поріг 5 – сливна коробка, 6 – зрошувач

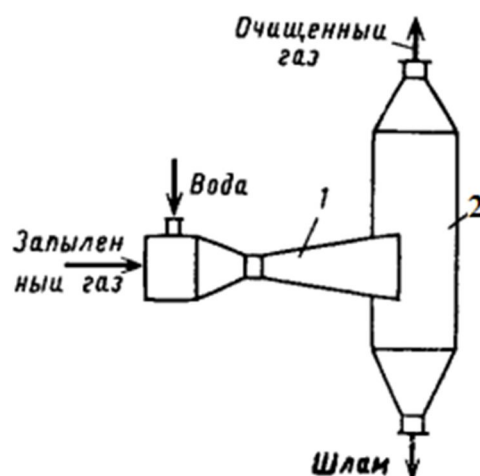


Рис. 2.16. Скрубер Вентурі з виносним краплевловлювачем:

1 – труба розпилювач; 2 – циклон краплевловлювач

Тобто здійснюється перехресний потік. Провальні тарілки таких пристроїв не мають, і рідина стікає в отворах тарілки назустріч, протитечії, газу. Газ, проходячи через отвори тарілки зрошуваною рідиною, утворює пінний шар (процес проходження газу через рідину називають барботажем).

Тарілки з переливом мають отвори діаметром 3–8 мм. Провальні тарілки можуть бути дірчастими, щілинними, трубчастими та колосниковими. Дірчасті тарілки мають отвори 4–8 мм. Ширина щілин у інших конструкцій тарілок дорівнює 4–5 мм. Пил уловлюється пінним шаром, який утворюється при взаємодії газу та рідини.

Швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі). (Скрубери Вентурі). Основною частиною апаратів є труба-розпилювач 1, в якій забезпечується інтенсивне дроблення зрошує рідини газовим потоком, що рухається зі швидкістю 40-150 м/с. Є також краплеуловлювач (рис. 2.16.).зрошувальної рідини газовим

поток, що рухається зі швидкістю 40–150 м/с. Є також краплєвловлювач 2. Більш докладно див. підрозділ 2.1.2.3 та рис. 2.7

Питання для самоперевірки

Абсорбційна очистка скидних газів

1. Які основні забруднювачі атмосфери вам відомі.
2. На які групи поділяють методи очистки повітря від шкідливих компонентів.
3. Що називається абсорбцією? За рахунок чого може проходити цей процес абсорбції? Як звуться та чим різняться основні підвиди абсорбції
4. Перерахувати вимоги до промислових абсорбентів.
5. Для здійснення яких процесів у хімічній технології використовуються процеси абсорбції?
6. Загальна характеристика плівкової моделі масопередачі. Рівняння масопередачі.
7. Чим відрізняється коефіцієнт масопередачі від коефіцієнту масовіддачі?
8. У чому полягає труднощі визначення поверхні контакту фаз і як вона долається практично?
9. Що таке «опір масопередачі»? Що є критерієм ступеня розчинності газу у рідині?
10. Від яких параметрів процесу та властивостей рідини і газу залежить швидкість абсорбції?
11. Які апарати використовують для проведення процесів абсорбції? Вимоги до конструкції таких апаратів.
12. Характеристика насадкових абсорберів.
13. Конструкція насадкового абсорбера.
14. Вимоги, що пред'являються до насадки у насадкових абсорберах.
15. Характеристика та конструкція абсорбер з суцільним барботажним шаром.
16. Що таке «барботаж». Загальна характеристика барботажних апаратів, що секціоновані по висоті поперечними тарілками різноманітних конструкцій.

17. Вимоги до конструкції апаратів барботажного типу.
18. Конструкція, робота, переваги та вади ковпачкових тарілок.
19. Конструкція, робота, переваги та вади сітчастих тарілок.
20. Конструкція, робота, переваги та вади провальних (двопоточних) тарілок.
21. Конструкція, робота, переваги та вади клапаних тарілок.
22. Абсорбери Вентурі.

Адсорбційная очистка газів

23. Характеристика процесу адсорбції.
24. Конструкція адсорберів з нерухомим шаром поглинача
25. Описати принцип роботи установки для періодичної адсорбції.

Очищення газів від пилу

26. Які механізми осадження пилу ви знаєте?
27. На які різновиди конструкцій поділяють пиловловлювачі за способом уловлювання?
28. Що є основним критерієм вибору того чи іншого типу обладнання для очистки газу від пилу?
29. Які проблеми для роботи пилоочистного обладнання створює підвищена вологість газу, що очищується від пилу.
30. Сухе очищення газу від пилу і механізми осадження.
31. Конструкція та принцип роботи пилоосаджувальної камери.
32. Конструкція та принцип роботи циклонних апаратів.
33. Переваги та вади циклонних апаратів.
34. Батарейні (мульти) циклони. у яких випадках, та чому рекомендують їх використання.
35. Конструкція та принцип роботи рукавних фільтрів.
36. Переваги та вади рукавних фільтрів у порівнянні з апаратами інших типів
37. Конструкція та принцип роботи електрофільтра.
38. У яких випадках рекомендується використання електрофільтрів?

39. Мокрі пиловловлювачі: переваги і недоліки у порівнянні з апаратами інших типів.
40. Порожнисті та насадкові апарати для пилоочистки газів.

3. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ

Суспензії відносяться до **дисперсних гетерогенних систем**. Нагадаємо, що гетерогенними (різнорідними) називають системи, що складаються з однорідних частин (фаз), розділених, поверхнею розділу. Однорідні частини, які називають **фазами**, можуть відрізнятися одна від одної за складом і властивостями. Прикладом гетерогенної системи може бути звичайний бульйон, де у суцільній фазі – бульйоні – плаває розподілена фаза – краплі жиру, які відокремлені від суцільної фази видимими поверхнями розділу.

Особливістю дисперсних гетерогенних систем є те, що в них сукупність дрібних однорідних частинок (крапельок рідини або пухирців газу), які називають дисперсною фазою, рівномірно розподілена у навколишньому середовищі.

Суспензією називається система, в якій суцільною фазою (дисперсійним середовищем) є рідина, а дисперсною фазою тверда речовина. Наприклад, суміш крейди з водою, що використовується для побілки або просто каламутна вода є суспензіями. **За ступенем роздробленості твердих частинок** умовно розрізняють такі суспензії:

- грубі з розміром частинок більше 100 мкм;
- тонкі – з розміром твердої фази від 100 мкм до 0,5 мкм;
- каламутні – з розміром частинок від 0,5 до 0,1 мкм;
- колоїдальні розчини – з розміром частинок менше 0,1 мкм.

В залежності від фізичних властивостей фаз суспензій (головним чином густини, розміру та розподілу розмірів твердих частинок) для розділення (відділення твердих речовин від рідини) використовують відстоювання, центрифугування та фільтрування.

3.1. Розділення суспензій під дією гравітації

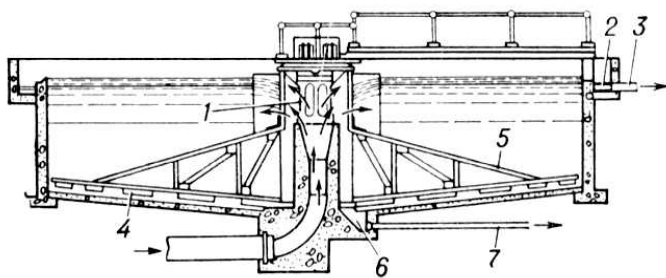
Суспензії з великими взваженими частинками піддаються розділенню під дією сили тяжіння (відстоюванню). Якщо густина твердих частинок більша за густину рідини, зважені частинки осідають на дно, якщо ж їх густина менша – вони спливають. Осадження твердих частинок під впливом сили тяжіння називають відстоюванням. Концентрація осадів, що утворюються при відстоюванні, цілком залежить від структури і розміру частинок і, зазвичай, не перевищує 40–50 %.

Процес ведеться у відстійниках періодичної чи безперервної дії. У **відстійниках періодичної дії** суспензія заливається в апарат, а потім через проміжок часу, необхідний для осідання частинок, шар освітленої рідини зливають (декантують), а осад вивантажують з апарату.

У відстійниках безперервної дії подача суспензії, видалення осаду та освітленої рідини відбуваються безперервно. Для відстоювання великих об'ємів рідини, що містить незначну кількість осаду, наприклад, при очищенні стічних вод, відстоюванні питної води і т. д., служать резервуари дуже великої ємності, що працюють за комбінованою схемою. В таких резервуарах рідина протікає безперервно, а осад видаляється періодично.

На рис. 3.1 показаний радіальний відстійник – апарат безперервної дії. Він має конічне днище, що сприяє сповзанню осаду до центрального розвантажувального приймку 6, з якого осад (шлам) видаляється по трубі 7. У безпосередній близькості від днища обертається гребкова мішалка 5 з похилими скребками 4, осад переміщується від периферії. Суспензія подається в центр апарату по центральній розподільній трубі 1, а освітлена рідина зливається в

кільцевий жолоб 2, приварений до бокових стінок, і через штуцер 3 видаляється з апарату.



а



б

Рис. 2.1 – Радіальний відстійник безперервної дії:
а – схема, *б* – зовнішній вигляд (не заповнений);

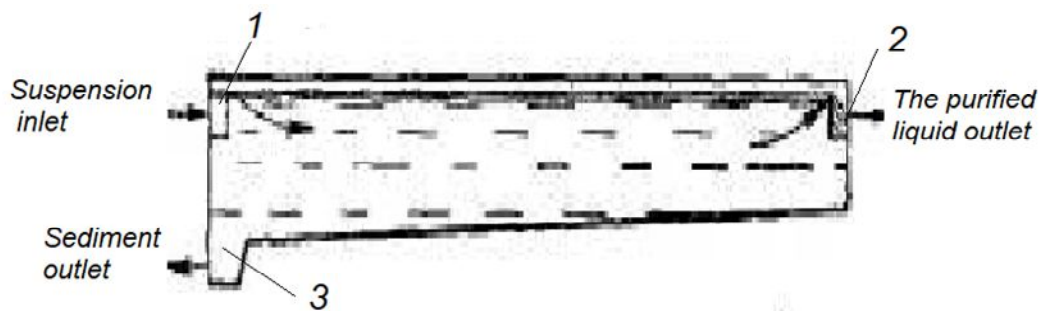
1 – центральна розподільна труба, *2* – круговий жолоб, *3* – труба, *4* – скребки, *5* – ферма, що рухається, *6* – прямок, *7* – мулова труба.

Щоб осад не змучувався, мішалці надають дуже малу частоту обертання (від одного оберту за десяток хвилин до години і більше). Такі апарати мають великий об'єм (100–200 м³ і більше). Зазвичай, відстійники застосовують великих розмірів (до 100 м у діаметрі). В цьому випадку їх, зазвичай, роблять бетонними. Для зменшення площі, яку займає апарат, застосовують багатоярусні відстійники з декількома горизонтальними перегородками, над кожною з яких розміщена скребкова мішалка.

Продуктивність радіального відстійника не залежить від його висоти, а тільки від швидкості осідання і площі, тому відстійники, зазвичай, мають велику площу поперечного перерізу і невелику висоту.

При необхідності повнішого видалення рідини з осаду останній промивають. Промивку влаштовують, коли рідина є розчином, що містить цінні продукти, або навпаки, коли осад необхідно очистити від речовин, що містяться в рідині. При промиванні осад з першого відстійника передається в другий, де він промивається чистою рідиною (зазвичай, водою). Осад у другому відстійнику міститиме ту саму кількість рідини, що й у першому, але вміст розчиненої в ній речовини буде значно меншим. У разі потреби промивку проводять утретє.

Горизонтальний відстійник (рис. 3.2, *a*) також безперервної дії. Він має прямокутний басейн. Для полегшення видалення осаду у днища є невеликий нахил у бік протилежний руху рідини. На днищі може монтуватися скребкова система (на схемі не показана, але видна на рис. 3.2, *в*), що переміщує осад у приймальний жолоб 3. На одній із вузьких сторін басейну, де глибина найбільша, виконано розподільний жолоб 1, а на протилежній – жолоб для прийому очищеної рідини 2.



a



б



в

Рис. 3.2 – Горизонтальний відстійник:

a – схема, *б* – порожній, *в* – в робочому стані;

1 – розподільний жолоб, 2 – жолоб дренажний, 3 – жолоб осаду.

Конструкція відстійника повинна забезпечувати рівномірний розподіл швидкостей потоку по поперечному перерізі апарату і повніше використання його об'єму.

Для цього відстійники значної ширини поділяють поздовжніми перегородками на кілька паралельних коридорів (див. рис. 3.2, б і в). Їх ширина повинна бути не більше 9 м.

Суспензія поступає на очищення від взважених часток в жолоб 1, який рівномірно розподіляє її по всій своїй довжині. За рахунок цього забезпечується однакова швидкість течії рідини по всьому поперечному перерізі відстійника. Освітлена рідина зливається в приймальний жолоб 2 і звідти до насосу який перекачує її на подальшу переробку. Осад із приймального з жолобу 3 відкачується спеціальним шламовим насосом.

Описана конструкція відстійника частіше всього виготовляється з бетону, що забезпечує його дешевизну, довговічність і простоту виготовлення. Однак за деяких гідродинамічних особливостей руху суспензії в таких відстійниках вони використовуються, в основному, для видалення великих частинок суспензій.

Загальний недолік відстійників – їх громоздкість і недостатньо повне розділення рідини та осаду. Останнє обумовлено тим, що зневоднення осаду відбувається під дією сили тяжіння, якої недостатньої для ефективного його ущільнення. В центрифугах, обертових барабанах, де розділення відбувається в полі сили інерції, що значно перевищує силу тяжіння, можна отримати осади значно меншої вологості, ніж в відстійниках.

Але раніше, ніж перейти до розгляду центрифуг, ми познайомимось з обладнанням для фільтрації суспензій. За ступенем розділення суспензій (а ступінь розподілення характеризується вологістю осаду і мутністю освітленої рідини) ці машини займають проміжне положення між відстійниками і центрифугами.

3.2. Устаткування для розділення суспензій фільтруванням

Фільтрацією називають процес розділення суспензій за допомогою пористої перегородки, що пропускає рідину, але не пропускає частки твердої фази. Фільтрацію застосовують, коли процес розділення суспензії відстоюванням або центрифугуванням є неможливим. Розрізняють наступні види фільтрації:

- фільтрація з утворенням шару осаду на фільтруючій перегородці;
- освітлення – фільтрація рідини з дуже малим вмістом осаду;
- згущення – при якому з суспензії видаляється тільки частина рідини, а тверда фаза відводиться у вигляді концентрованої суспензії.

Фільтрувальні перегородки повинні:

- добре затримувати тверді частинки;
- мати достатню механічну міцність;
- бути стійкими до хімічного впливу речовин, що розділяються;
- бути теплостійкими при температурі фільтрації.

У якості фільтрувальних перегородок частіше всього застосовуються різні тканини. Рідше застосовують металеві сітки, пористі керамічні плити або пористі металеві перегородки.

У якості тканинних перегородок зазвичай застосовують бавовняні тканини, рідше – шерстяні (сукно різних видів), які стійкіші, ніж бавовняні до розчинів кислот і кислих солей. Використовують також перегородки з синтетичних тканин – хлоринові, поліамідні, тканини зі скловолосна. Тканини і плетені сітки є нежорсткими фільтруючими перегородками, тому вони потребують жорсткої основи у вигляді решіток, сіток або колосників.

Рідина (фільтрат) в процесі фільтрації долає гідравлічний опір фільтруючої перегородки і шару осаду. Кристалічні осади добре фільтруються, так як між кристалами залишаються пори, по яких проходить рідина. Аморфні, липкі осади фільтруються погано. Деякі осади при підвищенні тиску здатні стискуватися і додатково збільшувати опір фільтрації рідини.

У багатьох випадках перепад тиску, який є необхідним для подолання гідравлічного опору осаду, створюється внаслідок вакууму під фільтруючою тканиною. Апарати такого типу називають вакуум-фільтрами. У вакуум-фільтрі різниця тиску (тобто величина вакууму) зазвичай не перевищує 0,06 МПа, що для фільтрації багатьох осадів недостатньо. У таких випадках застосовують фільтрацію під тиском, який створюється над фільтруючою перегородкою (з боку

осаду). Звичайно, тиск над осадам становить не вище 0,4 МПа. Фільтри під тиском по конструкції є значно складнішими, ніж вакуум-фільтри.

В залежності від способу роботи розрізняють фільтри періодичної і безперервної дії. Фільтри періодичної дії мають ряд недоліків, але застосовуються в різних галузях промисловості. До найбільш поширених фільтрів періодичної дії відносяться нутч-фільтри, друк-фільтри, фільтр-преси і листові фільтри.

3.2.1. Фільтри періодичної дії

Простий **нутч-фільтр** являє собою коробку, відкриту зверху, з подвійним дном, причому верхнє з них виконано у вигляді решітки, на яку вкладають фільтруючу тканину або пористу керамічну плитку. Фільтрування відбувається за рахунок створення вакууму в просторі між дном апарату і фільтруючою тканиною (або плиткою). Фільтрат, що стікає в цьому просторі, відсмоктується через вакуумну лінію. Основний недолік нутч-фільтра – ручне вивантаження осаду.

Простий **друк-фільтр** це вертикальний циліндричний апарат, перегороджений решіткою з фільтруючою тканиною. На решітку подається суспензія. Надлишковий тиск в апараті, рівний 0,2 МПа, створюється, зазвичай, за допомогою стисненого повітря. Осад з тканини вивантажується через кришку.

3.2.2. Фільтр-преси

Загальним недоліком друк- та нутч-фільтрів є мала поверхня фільтрації. Цього недоліка позбавлений **фільтр-прес**. Він здійснює фільтрацію під тиском і по суті являє собою набір з декількох друк-фільтрів, зібраних в пакет.

На рис. 3.3 зображено фільтр-прес. Основою фільтру є упорна плита 3 і головка 4, які пов'язані стяжками 5, 6 і 7. На стяжки спираються плити і рами, на них також переміщується рухома задня рама 9 фільтр-пресу, яка пов'язана із затискним механізмом, основною деталлю якого є гвинт 11. Сила, що створюється затискним пристроєм дуже велика і становить десятки тон.

Гідравлічний затискний механізм – це циліндр, всередині якого переміщується поршень, пов'язаний через шток із задньою рамою фільтра. При подачі в циліндр рідини під великим тиском, поршень переміщає рухома задню

раму. Механічний затискний пристрій виконують у вигляді гвинта, пов'язаного з електродвигуном системою передачі.

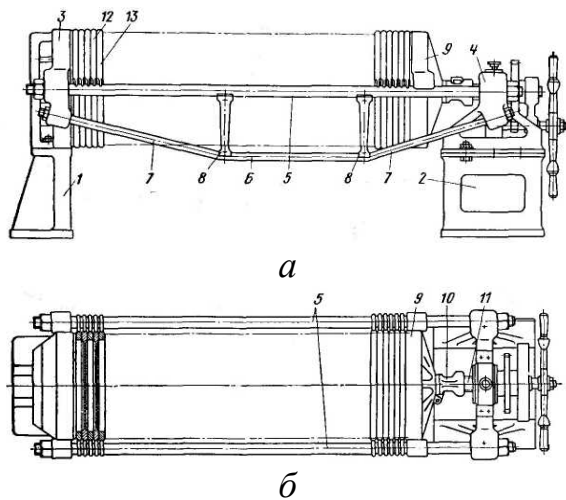


Рис. 3.3 – Фільтр-прес:

а – вид збоку, *б* – вид зверху, *в* – зовнішній вид механізованого фільтр-пресу;

1 і *2* – опорні стійки, *3* – опорна рама, *4* – головка, *5* – балки, *6* і *7* – стяжки, *8* – стійки, *9* – затискна плита, *10* – ступиця, *11* – гвинт, *12* – фільтруючі плити, *13* – рама.

Принцип дії фільтра-преса показано на рис. 3.4, де плити *1* і рами *2*, розділені фільтруючою тканиною. Плити і рами мають отвори. При зборі комплекту ці отвори утворюють канал для подачі суспензії та промивної рідини. Суспензія надходить в апарат під тиском і через отвори у верхніх стінках рами потрапляє в камери, що утворилися завдяки рамам стиснутим між плитами. Фільтрат стікає по вертикальним канавкам, виконаним на поверхні плит.

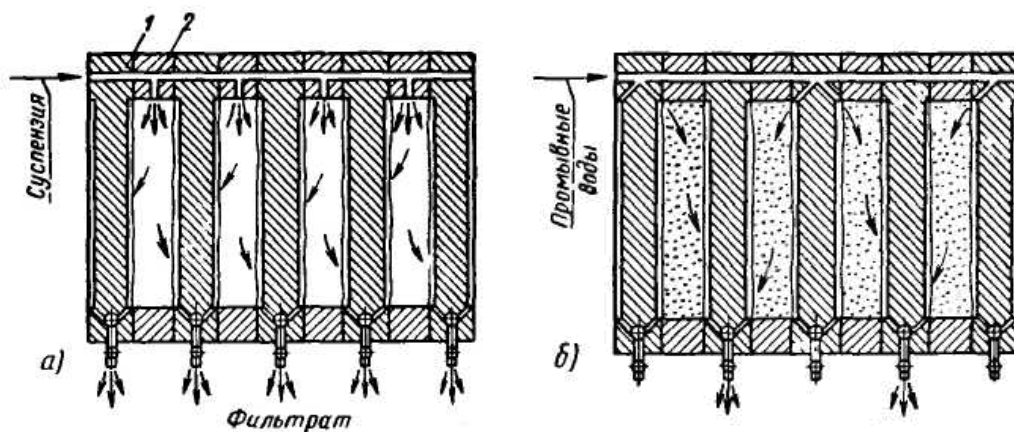


Рис. 3.4 – Схема дії фільтр-процесу:

а – фільтрація, *б* – промивка; *1* – плита, *2* – рама.

Фільтруючі плити і рами виготовляють з чавуну, алюмінію, дерева або пластикової маси. Плити повинні бути не дуже великими, так як при вивантаженні осаду вони переміщуються вручну. У великих фільтр-пресах укладають до 50–60 комплектів рам і плит із загальною фільтруючою поверхнею до 50 м².

Фільтрат, відведений з нижньої частини плит, поступає в корито яке розташоване під фільтром і входить у збірник. Після завершення фільтрації та промивки затискний пристрій відсовує затискну плиту 9 (див. рис. 3.3), звільняючи плити. Їх вручну по чергово розтягують, осад скидають у корито (на рис. 3.3 не показано), а фільтруючу тканину промивають із шлангу. Потім плити знову зсувають і затискають, після чого цикл фільтрації і промивки повторюється.

Переваги фільтр-пресу:

- велика поверхнева фільтрація;
- можливість створення значного перепаду тиску, що дозволяє фільтрувати на ньому важко фільтруючі суспензії;
- простота збірки і розбірки фільтрату.

Істотний недолік фільтр-пресу – важка ручна праця при його обслуговуванні. У розроблених в останній час крупних фільтр-пресах переміщення плит, вивантаження осаду та регенерація тканин (або деякі з цих операцій) механізовані. Найбільш успішно ця задача механізації вирішена в автоматично діючих **фільтр-пресах типу ФПАКМ**. Його зовнішній вигляд наведено на рис. 3.5.

Ці апарати повністю автоматично виконують усі операції без участі персоналу. Плити цього фільтр-пресу розташовані горизонтально, між ними закладені резинові надувні прокладки. Фільтруюча поверхня представляє собою безкінечну стрічку тканини, яка зигзагоподібно проходить між плитами. Періодично, по мірі відкладення осаду, комплект плит розтискають електромеханічним затискачем або гідравлічною системою, а стрічку протягують між плитами, під час чого осад зі стрічки зрізається ножами.



Рис. 3.5 – Зовнішній вигляд фільтр-пресу ФПАКМ

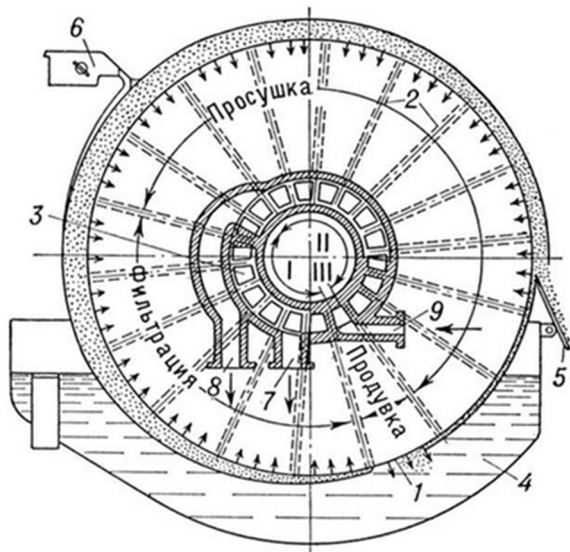
Описані вище фільтри працюють в періодичному режимі, що обмежує їх продуктивність. Фільтри безперервної дії мають найбільшу продуктивність. У промисловості використовується кілька конструкцій таких машин (листові, барабанні, дискові, стрічкові), однак найбільш поширенні барабанні фільтри.

3.2.3. Барабанний фільтр.

Основним елементом барабанного вакуум-фільтру (рис. 3.6) є обертовий барабан 1, покритий фільтрувальною тканиною, всередині якого з допомогою вакуум-насосу створюється розрідження. Внутрішність барабану 1 розділяється повздовжніми перегородками 2 на окремі секції. Барабан обертається на валу, один кінець якого з'єднаний з приводом, а пола цапфа другого примикає до розподільного пристрою 3. Поверхня барабану частково занурена у суспензію, що знаходиться у резервуарі (кориті) 4.

Кожна секція барабана за допомогою трубки, що проходить всередині валу, з'єднана з розподільним пристроєм 3. При обертанні барабану кожна секція з'єднується з різними порожнинами нерухомої головки розподільного пристрою і

проходить послідовно зони фільтрування, першого підсушування, промивання, другого підсушування, видалення осаду регенерації тканини.



а



б

Рис. 2.6 – Барабанний вакуум-фільтр:

а – розріз, *б* – зовнішній вигляд з боку ножа для зрізання осаду;

1 – барабан, *2* – перегородки, *3* – розподільна головка (золотниковий механізм),
4 – корито, *5* – ніж для зрізання осаду, *6* – розподільник води для промивання
осаду, *7* і *8* – труби для відкачування відповідно фільтрату та промивної води, *9*
– труба для подачі стисненого повітря.

У зоні фільтрування поверхні секцій стикаються з суспензією, що знаходиться в кориті *4*, а їх внутрішні порожнини через розподільний пристрій *3* і трубку *7* з'єднані з джерелом вакууму. При цьому рідина йде через трубку *7* у збірник фільтрату, а на поверхні секції утворюється осад. При подальшому повороті барабану секція піднімається із суспензії, і під дією вакууму повітря витісняє з пор осаду залишки фільтрату. Потім фільтруюча секція потрапляє в зону, де осад промивається шляхом зрошення барабану водою з розподільного пристрою *6*. Промивні води також відсмоктуються вакуумом, але через іншу порожнину розподільчої головки і трубку *8* у збірник промивних вод. У зоні другого підсушування з осаду видаляються залишки промивних вод, причому секція залишається з'єднаною з тією ж порожниною.

У зоні видалення осаду секції з'єднуються з лінією стисненого повітря 9, який віддуває осад від тканини. Розпушений шар осаду зрізається ножом 5. Після зняття осаду проводиться регенерація фільтрувальної тканини продувкою її повітрям і промиванням водою. Щоб запобігти відриву тканини від поверхні барабану під час віддування осаду, тканину обмотують дротом. Кінці тканини закріплюють на бічних стінках барабана.

Барабани вакуум-фільтрів мають діаметр до 3,5 м та довжину до 8 м. Поверхня їх досягає 100 м².

Недолік барабанного вакуум-фільтра полягає в тому, що суспензія при фільтрації рухається знизу вгору, тоді як під дією сили тяжіння її тверда частина рухається зверху вниз. Щоб запобігти осадженню великих частинок суспензії, в кориті встановлюють мішалку, що гойдається (на рис. 2.6 не показана).

3.2.4. Ультрафільтрація (зворотній осмос)

Ультрафільтрація – метод мембранного очищення рідини, під час якого розчин під тиском пропускають крізь так звану напівпроникну мембрану, яка здатна пропускати лише певні компоненти.

Напівпроникна мембрана – тонка, мікропориста пластинчата перегородка, що пропускає крізь себе розчинник, наприклад, воду, і не пропускає великі молекули розчинених речовин, таких як солі, колоїди або органіка. У сучасній літературі слово «напівпроникна» зазвичай опускають. Здатність пропускати, чи не пропускати ті, чи інші речовини залежить від розміру їх молекул і природи мембрани. Процес ультрафільтрації та обладнання, що для цього використовується, розглянемо на прикладі біологічного очищення стоків від органічних забруднювачів.

Вперше ідея мембранних біореакторів (МБР) була реалізована в кінці 1960-х років, як тільки мембрани ультрафільтрації і мікрофільтрації стали доступні не тільки для наукового, а й для комерційного використання. В одному з перших впроваджених процесів такого типу використовували поєднання активного мулу і

мембранної фільтрації. Плоскі листи полімерних мембран, що застосовувалися в цьому процесі, мали пори величиною від 0,003 до 0,01 мкм.

Через низьку окупність всіх мембранних біореакторів першого покоління вони знайшли застосування тільки на дуже малій частині очисних споруд з особливими потребами. Прорив у розвитку мембранних біореакторів стався в 1989 році, коли було запропоновано занурювати мембрани безпосередньо у біореактор. До тих пір усі мембранні біореактори відокремлювали від ультрафільтрів. Принцип їх роботи базувався на створенні високого перепаду між тиском до та після мембрани, що забезпечувало прийнятну швидкість фільтрації.

Системи очищення з мембраною, зануреною в біореактор, працюють при відносно низькій витраті стічних вод і споживають значно меншу кількість енергії (енергоспоживання може бути на два порядки нижче, ніж у роздільних систем). У конфігурації із зануреними мембранами важливим параметром, що впливає на процес очищення вод, є аерація. Аерація підтримує тверді речовини в стані суспензії, очищає поверхні мембрани і забезпечує киснем біомаси (активний мул), що призводить до кращого біологічного розкладання забруднень.

Іншим ключовим кроком у розвитку сучасних мембранних біореакторів була ідея використовувати мілкобульбашкову продувку очищуваної рідини повітрям для контролю забруднення. Це дозволило автоматизувати процеси очищення.

Низькі експлуатаційні витрати, досягнуті при застосуванні заглибленої конфігурації мембранного біореактора, та зниженням вартості мембран, привели до значного зростання застосування установок з середини 1990-х років минулого століття. З того часу конструкції МБР постійно модифікували. В останні роки була розроблена процедура більш чіткого контролю робочих параметрів, а також впроваджена зворотна промивка, яка дозволяє мембранним біореакторам стало функціонувати і витрачати невелику кількість енергії, близько 0,3 кВт·год на один кубічний метр очищеного стоку.

Останні технічні інновації привели до зростання популярності мембранних біореакторів. Їх застосовують для обробки і повторного використання як побутових, так і промислових стічних вод.

Типи мембран. Мембрани для МБР виготовляються з наступних матеріалів: полівінілфторид, поліетерсульфон, поліпропілен, поліетилен, рідше полівінілхлорид, полісульфон, поліакрилонітрил і ін. В деяких випадках в мембранних біореакторах застосовуються керамічні мембрани з оксиду алюмінію, титану, цирконію.

Мембрана з полівінілхлориду (ПВХ) – полімерний матеріал на основі полівінілхлориду – це порожниста трубка діаметром 3-6 мм, що складається з мікропор розміру 0,08 мкм по всій площі. Вода надходить через пори при всмоктуванні повітря з одного боку. Очищення мембрани від забруднення відбувається при подачі повітря в зворотному напрямку з іншого боку.

ПВХ мембрани складаються з двох шарів полівінілхлориду, розділених армуючої сіткою. Армована сітка з поліестеру надає необхідну міцність і оберігає від усадки. Ультрафільтраційна мембрана являє собою порожню трубку зовнішнім діаметром близько 2 мм і довжиною до 2 м, розмір пір якої може досягати від 0,1 до 0,01 мкм. Основними мембранообразуючими полімерами є полісульфон і полівінілденфторид.

Найбільше застосування і в напірних, і в заглибних МБР отримали порожньоволоконні мембранні модулі (рис. 3.7), які мають найбільш високу щільність упаковки, низьку матеріаломісткість і мінімальну вартість.



Рис 3.7 – порожньоволоконні мембранні модулі

Технологія МБР це комбінування різних біохімічних і мембранних процесів. Мембранний біореактор поєднує в собі процеси мікрофільтрації та ультрафільтрації, а також процес аеробного біологічного очищення стічних вод. Мембрани служать в МБР в якості бар'єру, що дає можливість з високою селективністю очищати воду від високомолекулярних сполук, зважених речовин, мікроорганізмів активного мулу та інших забруднень, які містяться в ній. Залежно від технологічних завдань мембранний біореактор може використовуватися як на етапі фінішної очистки (до стадії знезараження), так і для попередньої очистки перед нанофільтрацією і зворотним осмосом при необхідності знесолення очищеної води.

На рис. 3.8 наведено принципову схему роботи МБР з зануреним мембранним модулем. Апарат представляє собою ємність, у яку занурено систему вертикальних труб, виконаних з напівпроникного матеріалу (мембран). Знизу та зверху труби об'єднані колекторами. Нижче системи мембранних труб розташовані аератори – горизонтальні перфоровані або виконані з пористого матеріалу трубки.

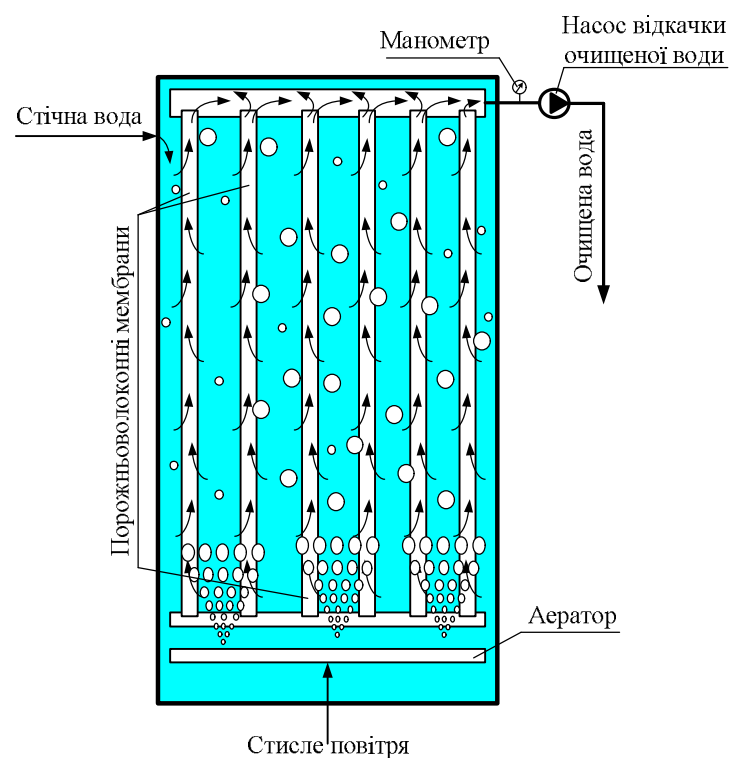


Рис. 3.8 – Принципова схема роботи мембранного біореактора.

Стічна вода змішана з активним мулом подається в МБР зверху. Вода фільтрується крізь мембранні трубки, збирається у колектор та відводиться для подальшого використання. Повітря для насичення стоку киснем та підтримки мулу у зваженому стані подається через аератори, які у вигляді дуже мілких бульбашок рівномірно розподіляють його в об'ємі апарату. Надлишковий активний мул відділяють від води у відстійнику, який зазвичай інтегровано з МБР та відкачують на змішування з вихідним стоком.

3.3. Розділення суспензій у полі інерційних сил

Розділення суспензій у полі інерційних сил (центрифугування) – це процес поділу суспензій та емульсій за допомогою сил інерції. У центрифугі ці гетерогенні системи поділяються за принципом фільтрації або за принципом відстоювання.

Основною частиною центрифуги є барабан (ротор), що обертається з великою швидкістю. В центрифугах, що фільтрують, циліндрична поверхня барабану сконструйована так, щоб пропускати рідину і не пропускати тверді речовини. Наприклад, ця поверхня може бути утворена сіткою, покритою фільтрувальною тканиною. **Відцентрова фільтрація** в загальному випадку складається з послідовних операцій: фільтрація з утворенням осаду, ущільнення осаду та видалення рідини із осаду. За допомогою фільтрації в центрифугі можна досягти високого ступеня зневоднення осаду.

Відцентрове відстоювання відбувається в центрифугах, які оснащені барабаном із суцільними стінками. При дії сил інерції суспензія розшаровується. У барабанах із суцільними стінками проводиться також розділення емульсій (сепарація). Під дією сил інерції компоненти емульсії розташовуються за щільністю у вигляді окремих шарів: зовнішній шар з більш тяжкої рідини і внутрішній шар з легшої рідини. Рідини виводяться з відцентрового сепаратору нарізно.

Характеристикою центрифуги, що визначає інтенсивність її роботи, служить фактор поділу Φ , що показує, у скільки разів прискорення, викликане

інерційними силами є більшим ніж прискорення вільного падіння, викликаного силою тяжкості. Фактор поділу тим більше, чим більше діаметр барабану (ротора) центрифуги, та частота його обертання. Однак фактор поділу значно швидше зростає зі збільшенням числа обертів, ніж зі збільшенням діаметру барабану. Тому центрифуги з великим фактором поділу мають, як правило, малий діаметр і дуже велику частоту обертання. В залежності від величини фактору поділу центрифуги умовно поділяють на нормальні центрифуги з $\Phi < 3000$ і швидкісні, або надцентрифуги, у яких $\Phi > 3000$.

За характером процесу центрифугування центрифуги поділяються на:

- машини періодичної та безперервної дії;
- в залежності від розташування ротору розрізняють горизонтальні та вертикальні центрифуги.

За способом вивантаження осаду з ротору розрізняють центрифуги з ручним вивантаженням, з вивантаженням під дією власної тяжкості осаду, ножовим вивантаженням, вивантаженням пульсуючим поршнем, за допомогою вібрації та з інерційним вивантаженням.

Нижче розглянуті деякі конструкції центрифуг, що фільтрують. Найбільш широко застосовують центрифуги безперервної дії. Періодично діючі центрифуги внаслідок більш низької продуктивності і важчому вивантаженню осаду знаходять обмежене застосування, в основному в малотоннажних виробництвах.

3.3.1. Фільтруючі центрифуги

До найпоширеніших центрифуг періодичної дії належать **триколонні центрифуги і підвісні центрифуги** з верхньою опорою.

У триколонній центрифугі (рис. 3.9) осад вивантажується вручну через верхній борт ротора 1. Корпус центрифуги підвішений за допомогою тяг на трьох колонах, які є амортизаторами. Вібрація барабану сприймається їх пружинами. Привід центрифуги – від електродвигуна 5 через клиноремінну передачу. Стрічкове гальмо 4 центрифуги зблоковано з електродвигуном. Блокуючий

пристрій автоматично гальмує ротор при вимиканні двигуна і розгальмовує його при включенні двигуна.

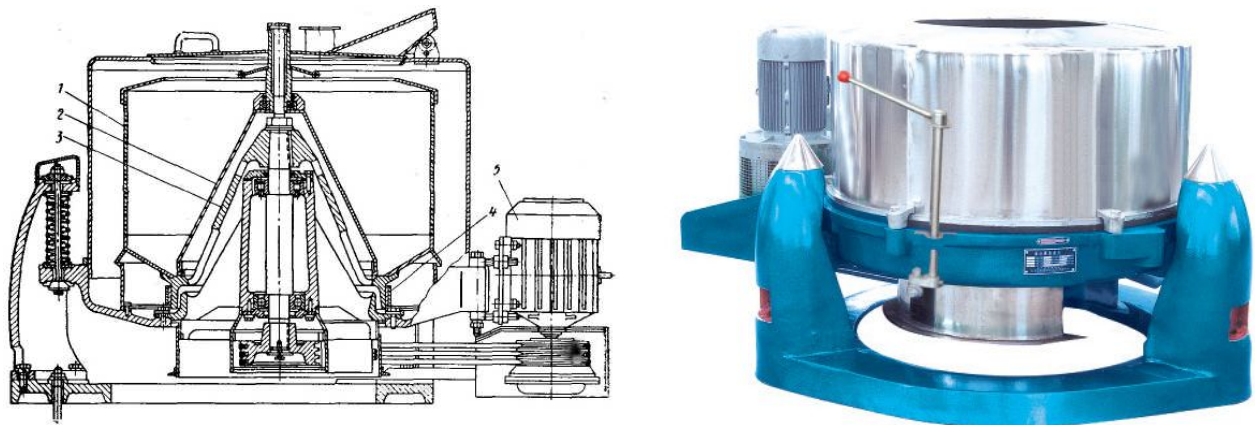


Рис. 2.7 – Триколонна центрифуга з нижнім вивантаженням:

1 – ротор, 2 – запірний конус, 3 – конус днища ротора, 4 – стрічкове гальмо, 5 – електродвигун.

Триколонні центрифуги застосовують для розділення суспензій і видалення рідини зі штучних виробів (пряжа, тканини, дрібні металеві деталі тощо). Основний недолік триколонних центрифуг – важке ручне вивантаження і поганий доступ до підшипників ротора. Ці недоліки певною мірою усунуті в підвісній центрифугі з нижнім розвантаженням. У такій центрифугі барабан підвішений до валу, що має верхню кульову опору. Для вивантаження у днищі ротора є вікна, що перекриваються запірним конусом.

Загальний недолік описаних вище центрифуг – непродуктивні витрати часу та енергії, пов'язані з частими зупинками для вивантаження осаду.

Центрифуги з ножовим зніманням осаду (рис. 3.9) мають горизонтальний ротор і дозволяють видаляти осад, не зупиняючи його обертання. Суспензія надходить в ротор 1 через живильну трубу 5.

Після закінчення певного терміну подача суспензії припиняється. Після фугування ніж 2 за допомогою гідравлічного циліндру 6 піднімається і починає зрізати осад, який падає в похилий жолоб 4. Для полегшення розвантаження осаду одночасно включається пневматичний молоток, що змушує вібрувати стінки жолоба. Недоліком центрифуги з ножовим зніманням осаду являється

періодичність роботи та сильне подрібнення матеріалу. Ці центрифуги непридатні для обробки суспензій з липким осадом, що мажеться.

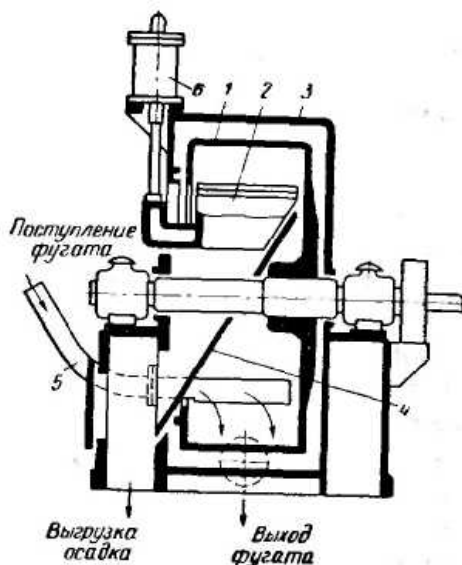


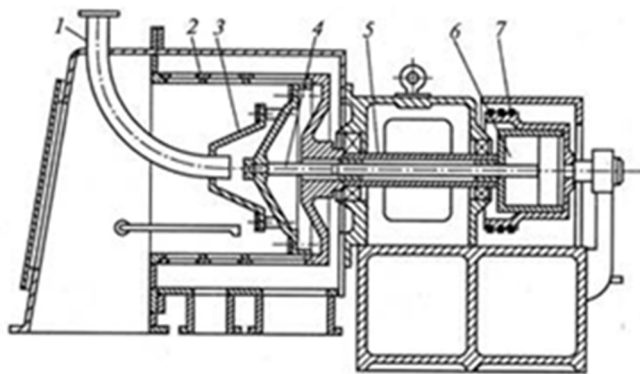
Рис. 2.8 – Схема центрифуги з ножовим зніманням осаду:

1 – ротор, 2 – ніж, 3 – кожух, 4 – приймальний жолоб, 5 – труба для подачі суспензії, 6 – гідравлічний циліндр для підйому ножа.

До **центрифуг безперервної дії** відносяться машини з пульсуючим вивантаженням осаду, в яких всі стадії процесу центрифугування (фільтрація, промивання, вивантаження) відбуваються одночасно на різних ділянках барабана або на різних його щаблях.

Конструкція такої центрифуги в цілому аналогічна машині з ножовим вивантаженням і відрізняється наявністю пульсуючого поршня-штовхача, який переміщує осад уздовж барабана. Ці центрифуги призначені для розділення концентрованих суспензій. Ефективна робота такої центрифуги забезпечується при об'ємному вмісті твердої фази не нижче 40 %. На рис. 2.9 представлена схема такої центрифуги та її зовнішній вигляд.

Суспензія по патрубку 1 надходить в барабан 2, покритий зсередини металевим щілинним ситом. Фільтрат витікає через отвори в ситі. Шари осаду, що відклалися на ситі, переміщуються поршнем-штовхачем 4 до відкритого кінця барабана і падають з краю. Барабан закріплений на полуму валу. У середині валу переміщається шток штовхача, на одному кінці якого встановлений пульсуючий поршень-штовхач, а на іншому поршень циліндру високого тиску.



а



б

Рис. 3.11 – Центрифуга з пульсуючим вивантаженням осаду:

а – схема, *б* – зовнішній вигляд;

1 – патрубок подачі суспензії, *2* – барабан, *3* – розподільувач суспензії, *4* – штовхач з поршнем, *5* – вал, *6* – пульсатор, *7* – привід центрифуги.

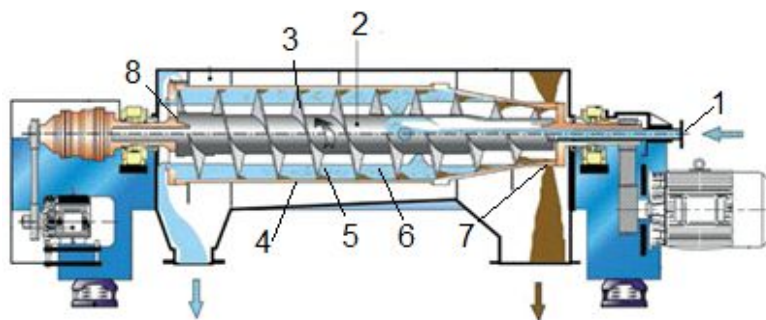
3.3.2 Осаджувальні горизонтальні шнекові (ОГШ) центрифуги

ОГШ центрифуги застосовуються для зневоднення тонких шламів з вмістом твердої нерозчинної фази 0,5 – 50 % при розмірах частинок 0,005 – 1 мм. Наприклад, флотаційних концентратів, відходів флотації, тощо.

Вихідна пульпа по трубі *1* (рис. 3.12), що проходить у середині валу *2* подається в середину шнека *3* і через отвори в ньому надходить в ротор *4*.



а



б

Рис. 2.10 – Осаджувальна центрифуга:

а – зовнішній вигляд, *б* – схема;

1 – вхід пульпи, *2* – вал, *3* – шнек, *4* – ротор, *5* – шар твердої фази, *6* – шар рідини, *7* – розвантажувальні патрубки, *8* – зливні вікна.

В роторі (центрифуги ОГШ як правило, мають циліндро-конічний ротор розташований між двома опорами) відбувається відцентрове осадження частинок

і розділення суспензії на тверду і рідку фази. Тверда фаза, як правило, більш важка, розташовується у зовнішньому шарі 5 поблизу поверхні барабана, а рідина збирається у внутрішньому шарі 6. Тверда фаза переміщується шнеком до розвантажувальних патрубків 7, через які вона розвантажується з ротора відцентровими силами. Рідка фаза по спіральних каналах, що створені витками шнека і стінкою ротора, рухається у протилежному напрямку і витікає через зливні вікна 8.

Питання для самоперевірки

Устаткування для розділення суспензій

1. Поясніть значення термінів: гомогенна система, гетерогенна система, фаза, суспензія, суцільна фаза, дисперсна фаза.
2. Поділ суспензій за ступенем роздробленості твердих частинок.
3. Які технології використовуються для розділення суспензій?

Розділення суспензій під дією гравітації

4. Які суспензії можна розділяти відстоюванням. Якої концентрації твердої фази можна отримати при відстоюванні суспензій.
5. Яка технологія (послідовність операцій) використовується для промивки осаду у системі відстійників.
6. Конструкція та принцип дії радіального відстійника.
7. Від яких факторів залежить продуктивність радіального відстійника
8. Конструкція та робота горизонтального відстійника.
9. Як, та з якою метою горизонтальний відстійник будують таким чином, щоб забезпечувати рівномірний розподіл швидкостей потоку по поперечному перерізу апарату.
10. Загальні недоліки відстійників.

Фільтрування.

11. Визначення процесу фільтрування.

12. За яких умов рекомендується застосування фільтрації?
13. Які види фільтрації ви знаєте, яка мета застосування кожного?
14. Яким вимогам повинні відповідати фільтрувальні перегородки?
15. З яких матеріалів виготовляють фільтрувальні перегородки?
16. Яким чином у процесі фільтрації створюється перепад тиску, який є необхідним для подолання гідравлічного опору осаду.
17. Які фільтри періодичної дії ви знаєте? Їх конструкція та принцип дії.
18. Де використовують фільтри періодичної дії та які вади їх використання?
19. Конструкція та робота фільтра-преса.
20. Переваги та недоліки фільтр-пресу
21. Конструкція та робота барабанного фільтру.
22. Що таке ультрафільтрація (зворотній осмос)? Чим вона відрізняється від звичайної фільтрації
23. Що таке «напівпроникна мембрана»?
24. Типи мембран. Особливості конструкції та методів експлуатації.
25. Конструкція мембранного біореактора (МБР) та як він працює.

Розділення суспензій у полі інерційних сил.

26. Які принципи використовують у машинах (центрифугах) для розділення суспензій під дією інерційних сил?
27. У чому полягає основна конструктивна відмінність між осаджувальними та фільтруючими центрифугами?
28. Опишіть роботу осаджувальної центрифуги.
29. Опишіть роботу фільтруючої центрифуги.
30. Яка характеристика центрифуги визначає інтенсивність її роботи? Як вона визначається?
31. Які конструктивні фактори центрифуги впливають на Φ фактор? Як поділяють центрифуги в залежності від величини цього фактора?
32. Поділ центрифуг за характером процесу, розташуванням ротору та способом вивантаження.

- 33.Опишіть конструкцію та роботу триколонні центрифуги
- 34.Опишіть недоліки центрифуг періодичної дії з ручною вигрузкою осаду.
- 35.Опишіть конструкцію та роботу центрифуги з ножовим зніманням осаду.
- 36.Опишіть конструкцію та роботу центрифуг безперервної дії з пульсуючим вивантаженням осаду.
- 37.Опишіть конструкцію та роботу осаджувальні горизонтальні шнекові центрифуги, а також область її застосування.

4. СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

Будь яке підприємство від їдальні до промислових гігантів потребують систем охолодження технологічного обладнання. В часи початку технічної революції системи охолодження були дуже прості. Холодна вода з поверхневих водотоків а іноді і підземних джерел використовувалась у якості холодоагенту. Відпрацьована – часто скидалась нижче по течії тієї річки, з якої цю воду брали. Через простоту та дешевизну такі системи можна бачити до сього часу, наприклад, на розташованій поблизу Харкова електростанції у селищі Есхар.

Скидна вода з охолоджувальних систем зазвичай відносно чиста, але суттєво нагріта і, відповідно, дегазована. Тобто містить дуже мало кисню, що завдає істотної шкоди екосистемі річки. Тому на сучасних підприємствах використовують водооборотні системи охолодження. Вони, хоч і не виключають, але значно понижують вплив від скидання відпрацьованої води на довкілля.

Водооборотні охолоджувальні системи промислового об'єкта мають забезпечити зниження температури холодоагенту – води, нагрітої в охолоджувальному технологічному обладнанні, до температур, які відповідають оптимальним техніко-економічним показникам роботи об'єкта. Зниження температури води в охолоджувачах відбувається за рахунок передачі її тепла повітрю. За способом передачі тепла охолоджувачі, що застосовуються в системах оборотного водопостачання, поділяються на випарні і поверхневі. У випарних охолоджувачах зниження температури води відбувається в результаті її

випаровування при безпосередньому контакті з повітрям. Вибір такого способу пов'язаний з його високою інтенсивністю. Так, випаровування 1 % води знижує її температуру на 6°C. У поверхневих (радіаторних) охолоджувачах вода не має безпосереднього контакту з повітрям. Вона проходить всередині трубок, через стінки яких відбувається передача її тепла повітрю.

Так як теплоємність і вологоємність повітря відносно невеликі, для охолодження води потрібен інтенсивний повітрообмін. Наприклад, для зниження температури води з 40 до 30°C при температурі повітря 25°C на 1 м³ охолоджувальної води до випарного охолоджувача має бути підведено близько 1000 м³ повітря, а до радіаторного охолоджувача, в якому повітря тільки нагрівається, але не зволожується, – близько 5000 м³.

Випарні охолоджувачі за способом підведення до них повітря поділяються на відкриті, баштові і вентиляторні. До відкритих охолоджувачів відносяться водосховища-охолоджувачі (або ставки-охолоджувачі), бризкальні басейни, відкриті градирні. У них рух повітря відносно поверхні води, що охолоджується, обумовлюється вітром і природною конвекцією. У баштових охолоджувачах – баштових градирнях, рух повітря викликається природною тягою, що створюється високою витяжною баштою. У вентиляційних охолоджувачах – вентиляторних градирнях, здійснюється примусова подача повітря за допомогою нагнітальних або відсмоктувальних вентиляторів.

Радіаторні охолоджувачі, які називають також «сухими градирнями», за способом підведення до них повітря можуть бути баштовими або вентиляторними. Для охолодження циркуляційної води до досить низьких температур потрібна велика площа контакту її з повітрям, яка становить близько 30 м² на 1 м³/год охолоджувальної води. Відповідно до цієї рекомендації приймають також площу дзеркала води водосховищ-охолоджувачів. В градирнях необхідна площа контакту створюється шляхом розподілу води над зрошувальними пристроями, за якими вона стікає під дією сили тяжіння у вигляді тонких плівок або крапель, що розбиваються при попаданні на рейки на найдрібніші бризки. У бризкальних басейнах, для створення необхідної площі

контакту з повітрям, вода розбризкується спеціальними соплами на дрібні краплі, сумарна поверхня яких повинна бути достатньою для випарного охолодження

4.1. Процеси охолодження води в охолоджувачі

При охолодженні води в випарних охолоджувачах зниження її температури визначається спільною дією різних по фізичній природі процесів: теплопередачі при безпосередньому контакті води із (так званий «сухий» теплообмін), і поверхневого випаровування води (так званий «мокрый» теплообмін). Рушійною силою сухого теплообміну є різниця температур між повітрям та водою. Поверхнєве випаровування рідини відбувається, коли парціальний тиск пари, що міститься в повітрі, є меншим від тиску насичення пари при температурі поверхні рідини.

Процес охолодження води не зупиняється, коли її температура знижується до температури навколишнього повітря. Якщо вологість повітря менше 100 % то охолодження буде тривати поки кількість теплоти, що приходить від повітря, не зрівняється з кількістю теплоти, що втрачається за рахунок випаровування. Температура води, за якої настає така рівновага, називається температурою мокрого термометру. Це теоретична межа її охолодження за рахунок повітря заданої температури і вологості. Таким чином, при випарному охолодженні може бути досягнута температура води, нижча, ніж температура повітря.

Фактично ж воду в охолоджувачах не охолоджують до цієї межі. Наприклад, температура води, охолодженої в градирнях, зазвичай на 8–14°C перевищує температуру мокрого термометра у повітрі, але може виявитися нижчою за температури повітря, яка вимірюється звичайним (сухим) термометром.

4.2. Обладнання водооборотних систем охолодження

4.2.1. Водосховища-охолоджувачі

За призначенням, розташуванням і умовами живлення водосховища-охолоджувачі поділяються на такі групи:

1. Водосховища на водотоках, які використовуються не тільки для охолодження циркуляційної води, але і для сезонного або багаторічного регулювання стоку;
2. Водосховища-охолоджувачі на водотоках без регулювання стоку, що споруджуються лише для створення поверхні, достатньою для охолодження циркуляційної води;
3. Водосховища-охолоджувачі на природних озерах і ставках;
4. Наливні водосховища, що споруджуються поза водотоку, з підживленням з найближчих річок.

На рис. 4.1 наведено зовнішній вигляд водосховища-охолоджувача. Його вільна поверхня не вся однаково ефективно бере участь у віддачі тепла, що надходить з нагрітою циркуляційною водою. Кількість тепла, що відводиться з одиниці площі тієї чи іншої ділянки поверхні водосховища, залежить від температури води на цій ділянці.



Рис. 4.1 – Водойма-охолоджувач

При термічному розрахунку водосховища-охолоджувача необхідно представити картину розподілу температур по його поверхні. Тому необхідно представляти схему розподілу потоку теплої води від точки її скидання до місця її прийому.

Схема циркуляції в водосховище-охолоджувач визначається його формою, взаємним розташуванням водоскидних і водоприймальних споруд, а також споруд струменерозподілення та струменеспрямування. Для забезпечення роботи сучасних потужних електростанцій будують великі водосховища-охолоджувачі з глибинами, що досягають десятків метрів, з об'ємами води в сотні мільйонів кубічних метрів. Для того, щоб створити площу активної зони, достатню для охолодження розрахункової витрати нагрітої на промисловому підприємстві води, її скидають на значній відстані від водоприймальних споруд, а також застосовують струменеспрямовуючі і струменерозподільчі споруди.

4.2.2. Бризкальні басейни

Зовнішній вигляд бризкального басейну наведено на рис. 4.2. Обладнання для розбризкування води являє собою систему сопел, що розбризкують підведену до них під напором воду. Сумарна поверхня крапель повинна бути достатньою для охолодження води, яке відбувається в результаті її випаровування при контакті з повітрям. Останнє поступає до бризкального пристрою завдяки вітру і природній конвекції.



Рис. 4.2 – Бризкальний басейн

Бризкальні пристрої розміщують над басейном. Глибину води в бризкальних басейнах, зазвичай, приймають рівною 1,5 м. Бровка басейну повинна бути вищою рівня води не менше ніж на 0,3 м. Одяг укосів і дна басейнів повинен

запобігати фільтрації води. Навколо басейну влаштовують асфальтований майданчик шириною 3–5 м з ухилом в бік басейну.

4.2.3. Градирні

Необхідна для охолодження води площа поверхні її контакту з повітрям створюється в градирнях на зрошувальних пристроях (зрошувачах), які можуть бути крапельними, плівковими або комбінованими. Є градирні без зрошувачів, в яких над водозбірними басейнами усередині вежі встановлюються високонапорні розбризкуючі сопла. Ці так звані бризкальні градирні менш ефективні, ніж градирні з крапельним або плівковим зрошувачем, оскільки площа поверхні контакту води з повітрям в них відносно менша.

У поперечноточному зрошувачі повітря проходить через нього горизонтально – поперек плівок або падаючих крапель води, що стікають вниз. У протитечійному, повітря рухається вгору назустріч воді, що стікає.

Зрошувальні пристрої градирень. Вода, що потребує охолодження розподіляється над зрошувачем градирні по системі дерев'яних або залізобетонних лотків, в дні яких є отвори зі вставленими в них трубочками (гідравлічними насадками). Струмені води, що витікають з насадок, падають на розбризкуючі тарілки, утворюючи фонтани бризок, що зрошують розташований нижче зрошувач. Гідравлічні насадки і тарілки виготовляють з порцеляни або пластмаси. Їх розташовують над зрошувачем з таким розрахунком, щоб факели бризок, які створюються сусідніми тарілками, перекривали один одного. Застосовують також напірний водорозподільний пристрій з нержавіючих труб, наприклад азбестоцементних. В цьому випадку вода розбризкується над зрошувачем за допомогою спеціальних низьконапірних сопел.

Крапельний зрошувач складається з великого числа дерев'яних рейок трикутного або прямокутного перетину, розташованих горизонтальними ярусами. При падінні крапель води з верхніх рейок на нижні утворюються факели дрібних бризок, що створюють велику поверхню контакту з повітрям.

Плівковий зрошувач складається з щитів, що встановлюються вертикально або під невеликим кутом до вертикалі. По поверхні щитів стікає вода, утворюючи плівку завтовшки 0,3–0,5 мм. Щити виконують з окремих дощок, що розташовуються горизонтально на деякій відстані одна від одної. Ці суцільні щити застосовують з матеріалів, що добре змочуються, наприклад з азбестоцементних пресованих листів товщиною 6–8 мм. Для створення суцільної плівки на нижній кромці щита роблять трикутні вирізи (фестони), які збирають стікаючу воду в окремі струмки, які як би розтягують плівку по поверхні щита. При стіканні плівки зі щитів окремими цівками зменшується опір проходу повітря під зрошувачем. Застосовують також комбіновані крапельно-плівкові зрошувачі. З точки зору інтенсифікації охолодження води плівковий зрошувач краще крапельного, так як він чинить менший опір руху повітря, однак для його виготовлення потрібна більша витрата матеріалів.

Постійний контакт з проточною теплою водою і вологим повітрям призводить до швидкого зносу дерев'яних конструкцій зрошувачів, тому термін їх служби невеликий і потрібні часті ремонти. В даний час поширення набули зрошувачі градирень, що виконуються з плоских або хвилястих азбестоцементних листів з несучим каркасом із збірних залізобетонних конструкцій.

Відкриті градирні. Відкриті градирні бувають двох типів: бризкальні і з крапельним зрошувачем. Перші являють собою невеликий бризкальний басейн 3 (рис. 4.3), огорожений з усіх боків жалюзійними ґратами 2, що перешкоджають значній втраті води за рахунок виносу бризок за межі градирні.

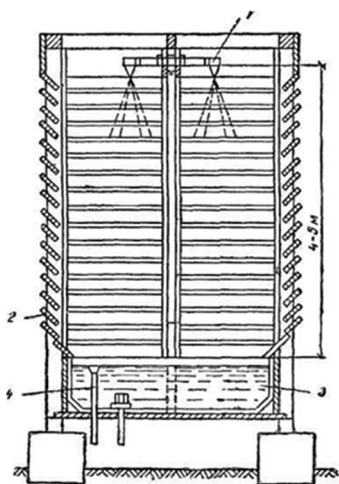


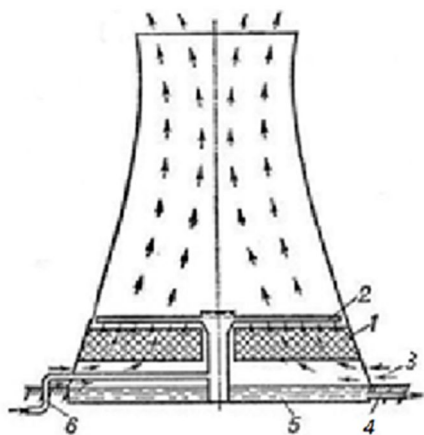
Рис. 4.3 – Відкрита бризкальна градирня:

1 – розприскувач, 2 – жалюзійні ґрати, 3 – басейн, 4 – перелив.

Для розбризкування води застосовують спрямовані вниз сопла *1* невеликої продуктивності, які розташовуються на висоті 4–5 м над рівнем рідини в басейні. Щільність зрошення для таких градирень приймають від 1,5 до 3 м³/год на 1 м².

Відкриті градирні крапельного типу мають зрошувач з дерев'яних брусків, укладений в жалюзійні стінки, які виконуються зі щитів, що встановлюються під кутом 45° до вертикалі. Водорозподільний пристрій роблять у вигляді лотків з гідравлічними насадками і розбризкувальними тарілочками або у вигляді системи труб з соплами. Щільність зрошення в таких градирнях приймається від 2 до 4 м³/год на 1 м².

Баштові градирні. Витяжні башти градирень служать для створення природної тяги за рахунок різниці густини зовнішнього повітря, що надходить в градирню, та нагрітого і зволоженого повітря, що виходить з неї. Протитечійні зрошувачі *1* (рис. 4.4, а) розташовують в середині витяжної башти, а поперекоточні – кільцем навколо неї.



а



б

Рис. 4.4 – Баштова градирня:

а – схема, *б* – зовнішній вигляд;

1 – зрошувач, *2* – розподільювач води, *3* – вхід повітря, *4* – відвід води,
5 – резервуар, *6* – підвід води.

Башти градирень малої і середньої продуктивності можуть бути циліндричними або мати форму усіченого конуса або усіченої багатогранної піраміди. Вежі великих градирень виконуються, як правило, у вигляді оболонок

гіперболічної форми, яка найбільш раціональна за умов стійкості і внутрішньої аеродинаміки.

Башта, зазвичай, спирається на рамну конструкцію (колонаду), між стійками 3 якої проходить повітря, що надходить в градирню. Внизу під зрошувачем градирні влаштовується водозбірний резервуар 5 (басейн), що виконується з монолітного залізобетону з гідроізоляцією внутрішньої поверхні. Резервуар обладнується трубопроводом 4 з лійкою для переливу надлишків води, а також випуском для його спорожнення.

Вода, що підлягає охолодженню, подається в водорозподільний пристрій 2 по стояках 6, які розміщені, зазвичай, в центрі градирні. Часто в зв'язку з нерівномірним розподілом повітря по площі протитечійного зрошувача застосовують і диференційовану щільність зрошення, збільшуючи гідравлічне навантаження на периферії і зменшуючи її в центральній частині зрошувача. Взимку при зниженні гідравлічного навантаження зрошення на центральній частині повністю відключають.

В даний час широко застосовуються протитечійні градирні продуктивністю до $30000 \text{ м}^3/\text{год}$. Їх башти заввишки 100 м мають гіперболічну форму і виконуються з залізобетону або у вигляді металевих каркасів, обшитих алюмінієм. Зрошувачі цих градирень площею до 4000 м^2 , як правило, монтуються з азбестоцементних листів, що встановлюються на каркасі із збірних залізобетонних конструкцій.

Вентиляторні градирні. Є два основних типи вентиляційних градирень: баштові (рис. 4.5, а), які обладнані вентиляторами великої продуктивності, і секційні (рис. 4.5, б), що складаються з ряду стандартних секцій, кожна з яких обслуговується окремим вентилятором.

На рис. 4.6 наведено схему баштової вентиляторної градирні. Порівнюючи її зі схемою баштової градирні, яку наведено на рис. 4.4, а можна помітити що єдине чим вони відрізняються – це вентилятор 6, якій замість башти забезпечує продувку повітря крізь зрошувач.



а



б

Рис. 4.5 – Зовнішній вигляд градирень:

а – баштова вентиляторна градирня, *б* – одна секція секційної градирні.

Також для зменшення виносу крапель води за межі градирні, що пов'язано з підвищеними швидкостями руху повітря в її зрошувачі, у вентиляторних градирнях застосовують бризковловлювачі 7 у вигляді жалюзійної решітки.

Рис. 4.6 – Схема баштової вентиляторної градирні:

1 – зовнішнє повітря, *2* – тепла вода, *3* – басейн охолодженої води, *4* – повітря, насичене вологою, *5* – дифузор, *6* – вентилятор, *7* – бризковловлювач, *8* – розподільник води, *9* – зрошувач.

У горловині башти одновентиляторних градирень (рис. 4.6) над зрошувачем встановлюють великі вентилятори *6* з діаметром лопатей від 10 до 18 м. Вентилятор приводиться в дію електродвигуном через редуктор і гідромурфту, що

служить для зміни частоти обертання вентилятора. Зниженням частоти обертання при сприятливих метеорологічних умовах досягається скорочення витрат електроенергії на привід вентиляторів.

Технологічні процеси деяких підприємств (наприклад, хімічних цехів) вимагають стабільної температури охолоджуючої води. У цих випадках на лініях труб охолодженої води встановлюють термопари, що впливають на гідромуфту. Це дає можливість автоматично регулювати температуру охолодженої води.

Радіаторний охолоджувач (суха градирня або драйкулер). За останні роки, в зв'язку зі зростаючим дефіцитом прісної води, в багатьох промислово розвинених регіонах почали отримувати поширення радіаторні охолоджувачі (рис. 4.7), так звані сухі градирні. У них вода, яка охолоджується, на відміну від випарних охолоджувачів, не має безпосереднього контакту з повітрям, тому не відбуваються її витрати на випаровування і на винесення крапель повітряним потоком.

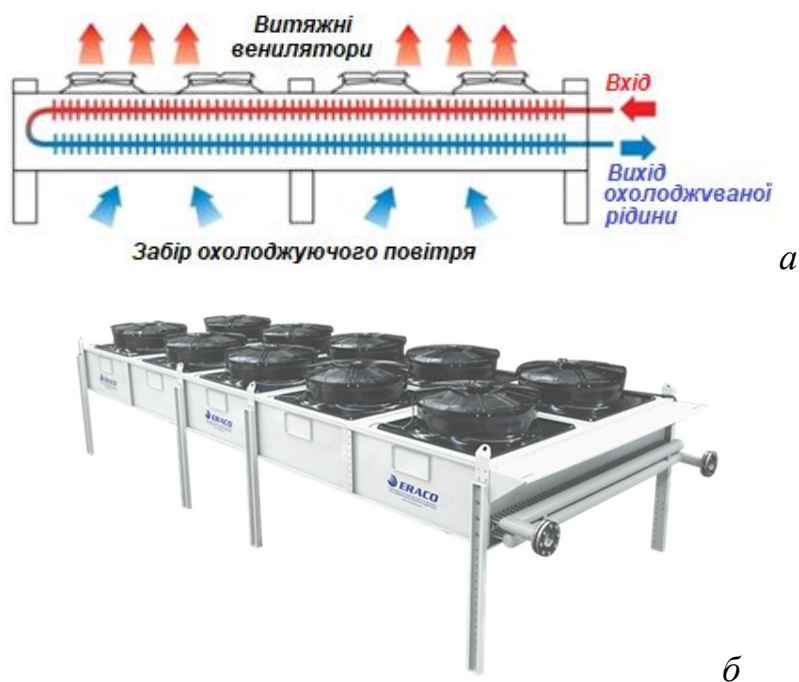


Рис. 4.7 – Сухая градирня:

а – схема; *б* – зовнішній вигляд

Суха градирня – це теплообмінник, який зроблено з алюмінієвих трубок з насадженими на них алюмінієвими ребрами. Необхідність оребрення трубок

викликана низьким коефіцієнтом тепловіддачі від повітря до стінки трубки. Оребрення збільшує зовнішню поверхню трубки, компенсуючи цей недолік. Зовнішнє повітря (охолоджувач) продувається крізь теплообмінник осьовим або відцентровим вентилятором. У зв'язку з малою теплоємністю повітря потрібна велика його витрата. У деяких випадках вентилятори оснащуються регуляторами швидкості обертання для точного підтримання температури рідини.

Зазвичай, сухі градирні встановлюються на відкритому повітрі, проте деякі виробники випускають моделі і для внутрішньої установки, розраховані на підключення до систем повітроводів, що дозволяє використовувати їх у разі, коли з яких-небудь причин зовнішня установка є неможливою (підземні приміщення, бункери, тощо).

4.3. Водний режим в системах оборотного охолодження

В результаті випаровування в охолоджувачах частини циркуляційної води, в ній підвищується концентрація мінеральних солей. При певних концентраціях солі тимчасової жорсткості (головним чином, карбонат кальцію CaCO_3) можуть утворювати накип на теплообмінних поверхнях апаратів різко знижуючи коефіцієнт теплопередачі. Це погіршує експлуатаційні показники обладнання. Найбільш поширеним методом запобігання випаданню солей жорсткості є постійне продування системи оборотного водопостачання, тобто скидання частини циркуляційної води.

Витрати води на продувку, винесення і випаровування повинні бути компенсовані подачею в систему свіжої (додаткової) води. Сольовий вміст циркуляційної води стабілізується, якщо кількість солей, що видаляється з системи під час продування і в результаті віднесення води з охолоджувачів, буде дорівнює кількості солей, принесених з додатковою водою.

Продування системи є ефективним лише в тому випадку, коли жорсткість додаткової води є значно нижче жорсткості, допустимої за умовою невинесення солей при нагріванні циркуляційної води в теплообмінній апаратурі. В іншому випадку буде потрібна настільки велика витрата додаткової води, що подача її

виявиться неекономічною і вигідніше буде застосувати хімічну обробку води (фосфатування, підкислення, пом'якшення або декарбонізація).

Крім солей жорсткості в трубках теплообмінних апаратів можуть відкладатися продукти кисневої корозії, механічні суспензії і біологічні організми, що містяться у воді. Це також різко знижує коефіцієнт теплопередачі апаратури. Тому необхідно запобігати проникненню в теплообмінні апарати механічних і біологічних забруднень. Це як правило, роблять за допомогою сіток, а іноді відстійників, механічних або піщаних фільтрів.

Порівняно висока протягом усього року температура циркуляційної води в системах оборотного водопостачання створює сприятливі умови для розвитку біологічних організмів, що надходять у систему з додатковою водою. Ці організми розвиваються та відкладаються в трубках теплообмінників, а також в водоводах і на зрошувачі градирень. Для боротьби з біологічним обростанням застосовують хлорування. Утворення водоростей можна попередити обробкою води мідним купоросом. Бактеріальному обростанню запобігають одночасне введення мідного купоросу та додатковим хлоруванням води.

В системах оборотного водопостачання з водосховищами-охолоджувачами біологічне забруднення трубок теплообмінних апаратів пов'язано з проникненням в трубки водоростей («цвітіння» води). Тому для запобігання біологічного забруднення трубок теплообмінних апаратів слід організовувати забір охолодженої води з водосховища з глибини більше 3 м.

Водний баланс водосховища-охолоджувача визначається припливом або підкачкою в нього свіжої води, фільтрацією через ложе ставка, тіло греблі і нещільності затворів, природним випаровуванням, додатковим випаровуванням від підігріву циркуляційної води і безповоротними відборами на промислові та питні потреби.

Якщо водосховище непроточне або слабо проточне, щоб уникнути неприпустимого збільшення мінералізації води, доводиться здійснювати його продування. З метою продувки раціонально скидати частину води відбираючи її з глибинних найбільш мінералізованих шарів водосховища.

Питання для самоперевірки

Системи охолодження води

1. Яким чином вода, що скидається з охолоджувальних систем виробництв, впливає на екологію водойм?
2. Як працює водооборотна система?
3. Як поділяються охолоджувачі води за способом передачі тепла повітря?
4. На які групи поділяються випарні охолоджувачі? Опишіть, як у цих гупах організовао контакт води з повітрям.
5. На які групи поділяються радіаторні охолоджувачі? Опишіть, як вони працюють
6. Опишіть процес охолодження води у випарних охолоджувачах.
7. Що таке температура мокрого термометра?
8. Чому, на відміну від радіаторних охолоджувачів, температура води у випарних теоретично може бути понижена до рівня меншого за температуру оточуючого повітря?

Побудова та конструкції охолоджувачів води.

9. Які типи водосховищ охолоджувачів ви знаєте?
10. Опишіть побудову водосховищ-охолоджувачів на природних озерах і штучних ставках. Від чого залежить холодопродуктивність озера або ставка.
11. Опишіть конструкцію бризкальних басейнів. Яким чином забезпечується достатня холодопродуктивність для охолодження потрібної кількості води?
12. Яким чином у градирнях створюється розвинута поверхня контакту води з повітрям?
13. Опишіть конструкцію та роботу пристроїв для розподілу нагрітої води по площі градирні.
14. Різновиди конструкція та робота.

- 15.Опишіть конструкцію та роботу крапельного зрошувального пристрою градирні
- 16.Опишіть конструкцію та роботу плівкового зрошувального пристрою градирні
- 17.Побудова баштової градирні та її робота. Призначення та різновиди башт.
- 18.Конструкції різновидів вентилятозних градирень та їх робота.
- 19.Конструкція сухої градирні. Її особливості та переваги у порівнянні з випаровувальними системами охолодження

Водний режим в системах оборотного водоохолодження

- 20.В наслідок чого у системі оборотного охолодження води підвищується концентрація мінеральних солей, чому це небезпечно та як з цим борються.
- 21.Які небезпеки для роботи технологічного обладнання та трубопроводів несе використання води з оборотної системи.
- 22.Які методи боротьби з небезпеками, що виникають при використанні охолоджувальної води з водообороту ви знаєте.

5. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

5.1. Загальна інформація

Процеси подрібнення відіграють істотну роль у хімічній технології, а також у промисловості будівельних матеріалів, у металургії, гірничодобувній промисловості і т. д.

Результат подрібнення характеризується ступенем подрібнення, що дорівнює відношенню середнього розміру шматка матеріалу до подрібнення до середнього розміру шматка після подрібнення.

Види подрібнення орієнтовно розрізняють, в залежності від розмірів шматків вихідного та подрібненого матеріалу (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Види подрібнень твердих матеріалів

Вид подрібнення	Розмір шматків до подрібнення, мм	Розмір шматків після подрібнення, мм	Ступінь подрібнення
Велике дроблення	1500–300	300–100	2–6
Середнє дроблення	300–100	50–10	5–10
Дрібне дроблення	50–10	10–2	10–50
Тонке подрібнення	10–2	$2-7,5 \cdot 10^{-2}$	100
Надтонке подрібнення	$10-7,5 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}-10^{-4}$	—

Машини для великого, середнього та дрібного дроблення називають дробарками, а для тонкого та надтонкого подрібнення – млинами.

На рис. 5.1 наведені методи подрібнення матеріалів.

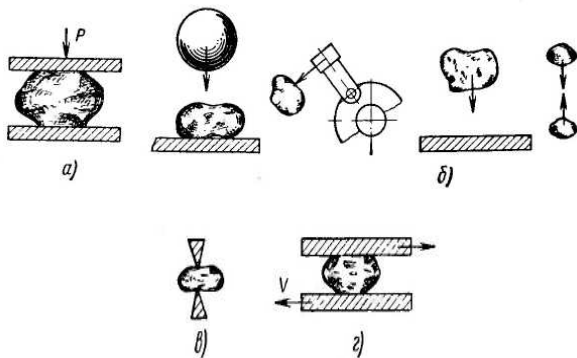


Рис. 5.1 – Методи подрібнення матеріалів:

a – роздавлювання, *б* – удар, *в* – розколювання, *г* – істирання.

В залежності від властивостей матеріалу, розміру шматків і конструкції машини, подрібнення проводиться шляхом роздавлювання шматка матеріалу (рис. 5.1, *a*), удару (рис. 5.1, *б*), розколювання, (рис. 5.1, *в*), переважають процеси стирання (рис. 5.1, *г*).

За принципом дії та конструктивним особливостям подрібнювальні машини ділять на: щоківні дробарки, конусні (гіраційні) дробарки, валкові дробарки, бігуни, ударні подрібнюючі машини (молоткові дробарки, дисмембратори та дезінтегратори), барабанні млини, вібраційні млини, повітряні млини, пісочні млинці.

Елементами, що здійснюють дроблення, можуть бути деталі самої машини (щокви, конуси, валки і т. д.) або спеціальні тіла, що мелють, наприклад кулі в кульових млинах. У повітряних млинах подрібнення відбувається внаслідок зіткнення частинок матеріалу між собою в потоці повітря. Тонке подрібнення часто проводять мокрим способом (з використанням води).

На подрібнення витрачається велика кількість енергії, тому необхідно прагнути зменшення кількості подрібнюваного матеріалу, для чого з нього виділяють «дрібницю», тобто шматки, менші того розміру, до якого проводиться подрібнення. Для виділення дрібниці застосовують, зазвичай, ситову класифікацію, тобто просівання матеріалу через одне або кілька сит.

Подрібнення виконують у відкритому (рис. 5.2, *а*) або замкнутому циклах (рис. 4.2, *б*). Коли потрібен великий ступінь подрібнення, його проводять у кілька стадій, спочатку на машинах великого, а потім дрібного подрібнення (рис. 4.2, *в*).

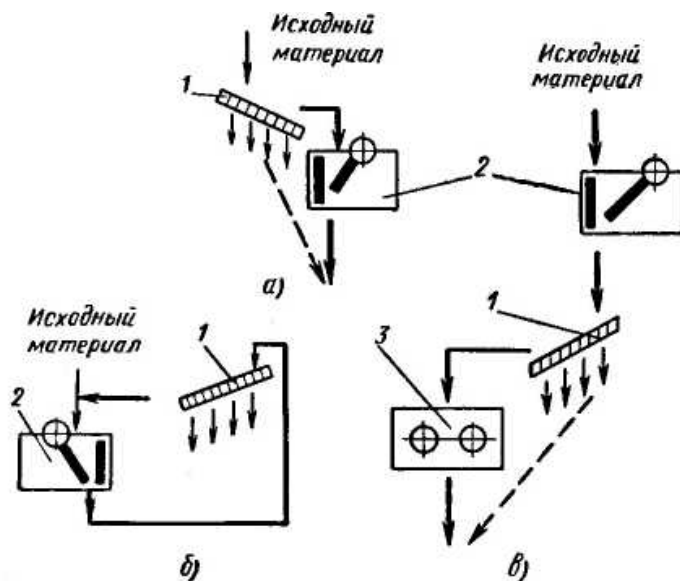


Рис. 5.2 – Схеми подрібнення:

а – відкритий цикл, *б* – замкнутий цикл, *в* – у два прийоми:

1 – грохот, *2* – щоківу дробарку, *3* – валкову дробарку.

Іноді послідовно встановлюють кілька машин з проміжною класифікацією матеріалу.

5.2. Машини для подрібнення матеріалів

5.2.1. Дробарки

Щоківі дробарки. Дроблення матеріалу в щоківих дробарках проводиться роздавлюванням у поєднанні з розколюванням між двома щокми – рухомою та нерухомою.

На рис. 5.3 показана щоківу дробарку з верхнім підвісом щок. Працює вона таким чином: головний вал *9*, що проходить через корпус *1* дробарки, приводиться в обертання від електродвигуна через знижувальну клиноремennу передачу (на малюнку вони не показані). На головному валу є ексцентрикове потовщення, за допомогою якого наводиться в коливальний рух шатун *10*. Шатун

пов'язаний з рухомою щогою 7 через ліву опорну плиту 14. Рухома щока 7 підвішена на осі 6. Клиноподібна щілина, де відбувається подрібнення шматкового матеріалу, плитою 2, бічними плитами 3 і рухомою щогою 7. Для вирівнювання крутного моменту на головний вал 9 насаджений масивний маховик 8. Для запобігання робочих частин дробарки від поломок при випадковому попаданні в неї шматків металу або матеріалу підвищеної твердості одна з розпірних плит робиться менш міцною або складається з двох частин, з'єднаних болтами або заклепками, які руйнуються при перевантаженнях і легко можуть бути замінені новими. Для утримання щоки при руйнуванні розпірної плити служить тяга 15 з пружиною 16. Ширина вихідної щілини, а отже, і подрібнення регулюється за допомогою клинів 11 і 12.

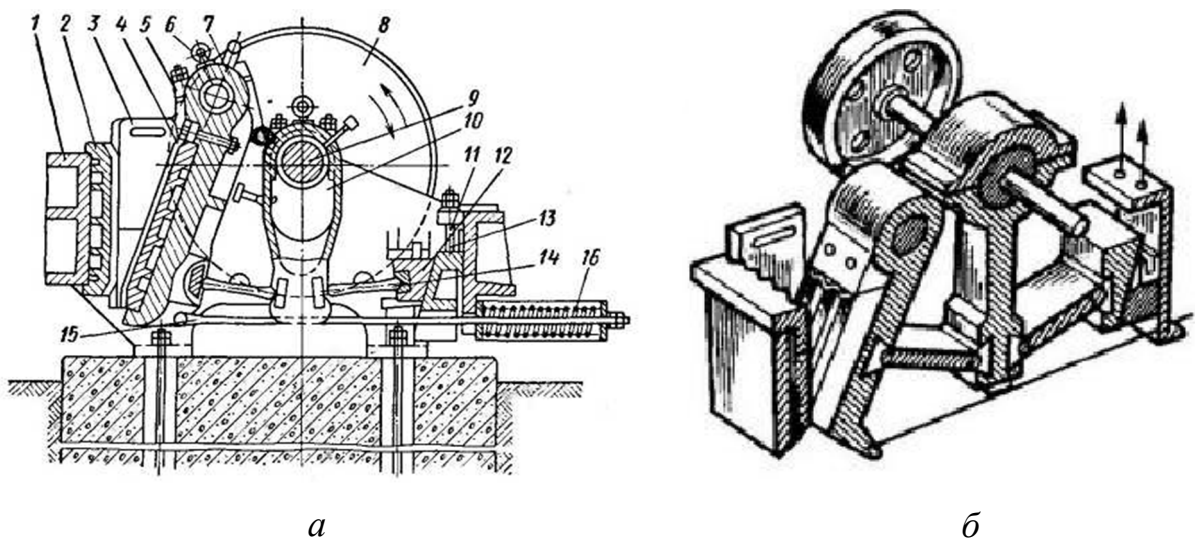


Рис. 5.3 – Щогова дробарка:

а – схема, *б* – зовнішній вигляд.

Достоїнствами щогових дробарок є простота і надійність конструкції, а також можливість дроблення шматків у широкому діапазоні розмірів. Недоліком їх є невірноваженість мас, що рухаються.

У конусних (гіраційних) дробарках матеріал подрібнюється роздавлюванням між зовнішнім нерухомим і внутрішнім рухомим конусами. Рухомий конус

насаджений на вал ексцентрично і при обертанні притискає шматки матеріалу до нерухомого конуса внаслідок чого і відбувається роздавлення.

До переваг конусних дробарок відносяться велика продуктивність внаслідок безперервності дроблення, спокійна робота і відсутність динамічних навантажень.

Валкові дробарки (рис. 5.4) складаються з двох паралельно розташованих валків, що обертаються назустріч один одному. Валки можуть бути гладкими, рифленими та зубчастими. Щоб уникнути поломок при попаданні шматків великої твердості, один валок (на рис. 4.4 правий) роблять рухомим, тобто встановлюють у підшипниках, які можуть ковзати по напрямних під час проходження недрібного предмета між валками.

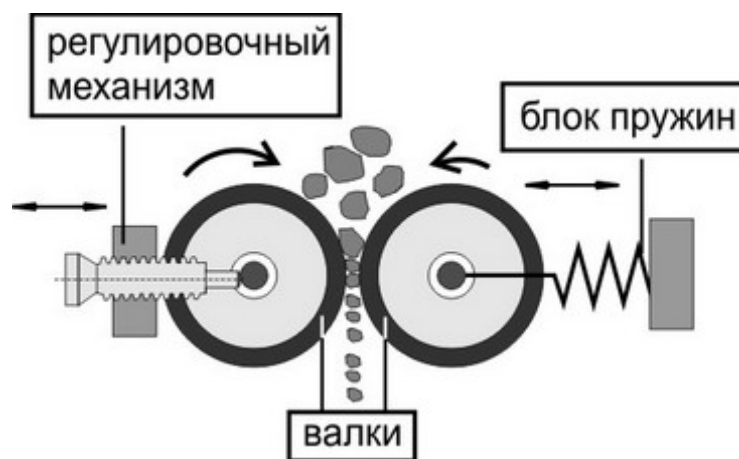


Рис. 5.4. – Валкова дробарка

Другий валок (лівий) можна переміщати за допомогою регулювальних гвинтів і тим самим змінювати відстань між валками, що дозволяє регулювати ступінь подрібнення матеріалу. Щоб збільшити стиральну дію валків, при подрібненні м'яких та вологих матеріалів конструкція дробарки дозволяє обертати валки з різними швидкостями.

5.2.2 Млини

Бігуни. Бігуни складаються, зазвичай, з двох важких валків (бігунів), які катаються по дну чаші. Подрібнення матеріалу відбувається за рахунок роздавлювання під дією маси валків, а також внаслідок стирання при їх ковзанні по дну. Млини описаного типу виконують з нерухомою чашею і рухомими

валками (рис. 5.5) або, навпаки, з чашею, що обертається, і нерухомими осями валків.

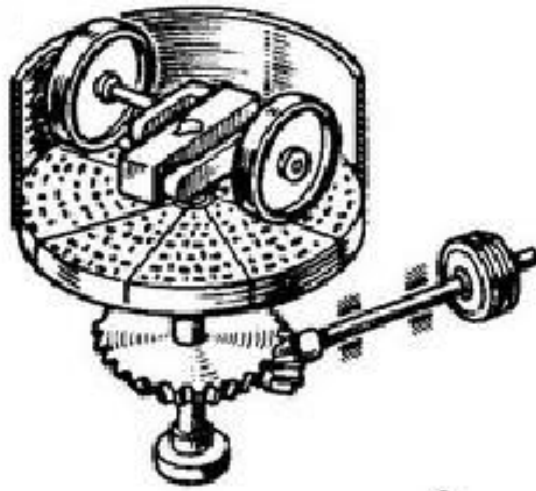


Рис. 5.5 – Бігуни

Молотковий млин відноситься до групи ударних подрібнювачів, тобто таких, що подрібнюють матеріал ударом. Молотковий млин (рис. 5.6) має корпус 1, футерований бронзовими плитами 7.

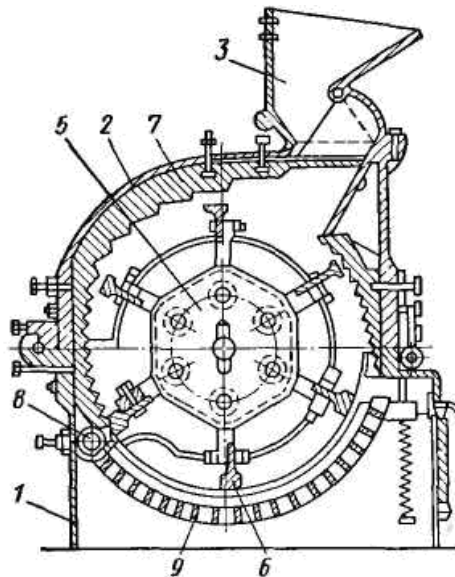


Рис. 5.6 – Молотковий млин:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – лійка; 4 – підшипник; 5 – диск; 6 – молоток;

7 – бронзова плита; 8 – шарнір; 9 – колосникові ґрати.

Усередині млина з великою частотою обертається ротор, на якому шарнірно закріплені молотки 6. Вихідний матеріал надходить через воронку 3 і

подрібнюється внаслідок ударів молотків і ударів об броньові плити. Подрібнений матеріал просіюється через щілини колосникових ґрат 9.

Дезінтегратори та дисмембратори. У дезінтеграторі два диски обертаються у протилежні сторони. На дисках закріплені пальці, розташовані по концентричних кіл таким чином, що кожен ряд пальців одного ротора входить між пальцями іншого ротора. Окружна швидкість пальців на зовнішньому колі становить 20–40 м/с. Вихідний матеріал подається через завантажувальну лійку до центру ротора і силою інерції відкидається до периферії, причому матеріал подрібнюється при ударах об пальці роторів. Дисмембратор (рис. 5.7) має той самий принцип дії, але один з двох його дисків є нерухомим.

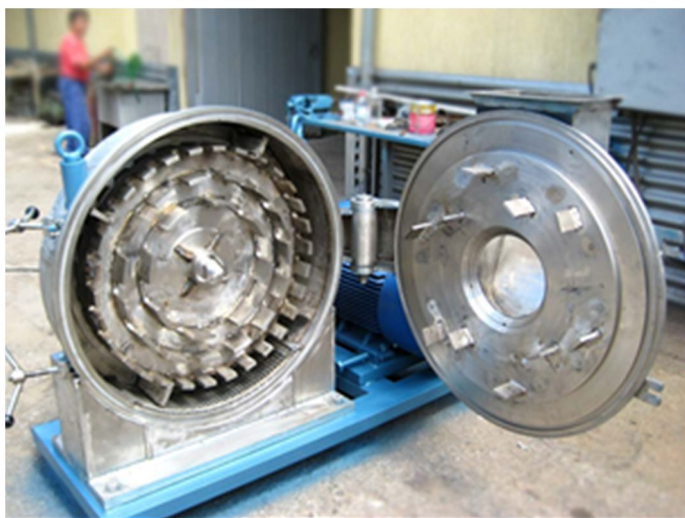


Рис. 5.7. – Дисмембратор

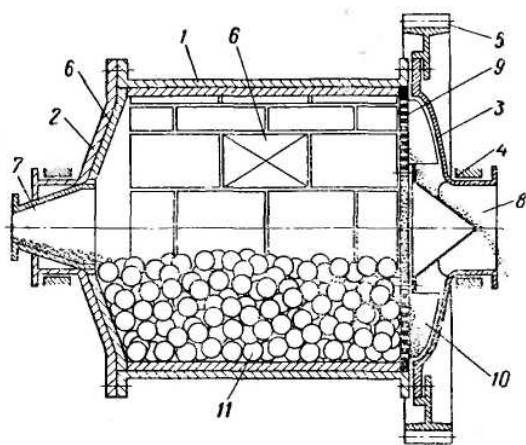
Продуктивність та ступінь подрібнення дезінтеграторів та дисмембраторів залежать від числа рядів пальців та частоти обертання ротора. Зі збільшенням частоти обертання збільшується ступінь подрібнення, але зменшується продуктивність, оскільки затруднюється проходження матеріалу через ряди пальців.

Барабанні млини – це машини, в яких матеріал подрібнюється всередині корпусу, що обертається під дією мелючих тіл, якими служать металеві або фарфорові кулі, стрижні і т. д.

При обертанні барабана, тіла, що мелють, захоплюються під дією централізованої сили на певну висоту, а потім падають і подрібнюють матеріал.

За принципом дії розрізняють млини періодичної та безперервної дії, з подрібненням матеріалу сухим і мокрим способом. В залежності від форми барабана розрізняють млини циліндричні, трубчасті і конічні. Циліндричні млина виготовляють з діаметром барабана 1–2,4 м із ставленням довжини до діаметра від 1,5 до 6. Чим більше діаметр шматків вихідного матеріалу, тим більше повинен бути діаметр барабана.

На рис. 5.8 показано так званий кульовий діафрагмовий млин. Він складається з корпусу 1 і двох днищ (торцевих кришок) 2 та 3 з порожнистими цапфами 7 та 8, за допомогою яких вона монтується на підшипниках. Всередині барабан футерується броньовими плитами 6 і на 25–40 % заповнюється тілами, що мелють 11. Подрібнений продукт проходить через ґрати (діафрагму) 9 і ковшами 10 вивантажується через праву цапфу 8.



а



б

Рис. 5.8 – Кульовий діафрагмовий млин:

а – схема, б – зовнішній вигляд;

1 – корпус (барабан), 2, 3 – торцеві кришки, 4 – підшипник, 5 – зубчастий вінець, 6 – плити, 7 – завантажувальна цапфа, 8 – розвантажувальна цапфа, 9 – діафрагма, 10 – ковші, 11 – кулі.

Барабанні млини великої довжини розділяють поперечними ґратами на ряд секцій, у кожен з яких завантажують кулі різного діаметра, причому розмір куль зменшується від входу до виходу.

Вібраційний млин має циліндричний або коритоподібний корпус, заповнений на 75–80 % об'єму кулями або стрижнями. В корпус вмонтований вібратор (вал з дебалансами), який змушує його коливатися з амплітудою 2–4 мм. Ці рухи передаються тілам, що мелють, які подрібнюють матеріал. Частота коливань вібромлинів становить 1500–3000 1/хв. Вібромлини дуже тонко подрібнюють продукт, однак мають низьку продуктивність.

Струменеві млини. У струменевих млинах енергія, необхідна для подрібнення матеріалу, постачається струменем повітря або інертного газу, що рухається зі звуковою або надзвуковою швидкістю. Один з млинів такого типу являє собою замкнутий трубчастий контур, в який через сопла надходить повітря. Матеріал подрібнення подається через інжектор. Розподіл частинок по крупності проводиться при повороті потоку в коліні. Великі частинки відцентровою силою відкидаються до периферії, а дрібні засмоктуються потоком повітря.

Струменеві млини, як дуже енергоємні апарати, застосовують в основному для надтонкого подрібнення дорогих продуктів.

Колоїдні млини. Колоїдні млини та диспергатори застосовують для надтонкого подрібнення матеріалу. Подрібнення проводиться, зазвичай, мокрим способом. Рідина зі зваженими частинками твердого матеріалу протікає через отвори між статором і ротором, що обертається з окружною швидкістю до 125 м/с.

Для цієї ж мети застосовують так звані пісочні або перлинні млини, в яких зубчастий диск обертається з великою швидкістю в суспензованому продукті, змішаному з піском.

Питання для самоперевірки

Устаткування для подрібнення матеріалів

1. Яким показником характеризується результат подрібнення?
2. Які види подрібнення ви знаєте? Як називаються машини в залежності від виду подрібнення

3. Які методи подрібнення матеріалів ви знаєте. В залежності від яких факторів обирають потрібний метод подрібнення
4. На які групи ділять подрібнювальні машини за принципом дії та конструктивним особливостям.
5. Опишіть відомі вам цикли подрібнення матеріалів.

Конструкції та принципи дії дробарок та млинів

6. Опишіть конструкцію, роботу шокової дробарки та її достоїнства.
7. Що є робочою деталлю конструкції конусних дробарок (гіраторів), як вона працює? Які ця дробарка має переваги?
8. Опишіть конструкцію та роботу валкової дробарки.
9. Опишіть конструкцію та роботу млину типу «бігуни»
10. Опишіть конструкцію та роботу млину молоткового типу
11. Опишіть конструкцію та роботу млину типу дезінтегратор
12. Опишіть конструкцію та роботу барабанних млинів.
13. Опишіть принципи дії вібраційних, струменних та колоїдних млинів

6. ЄМНІСНЕ ОБЛАДНАННЯ

6.1 Влаштування резервуарів та ємнісного обладнання

У різних галузях промисловості застосовується велика кількість резервуарів і ємнісного обладнання: напірних баків, мірників, розділюючих (флорентійських) судин і т. д. У зв'язку з цим висуваються певні вимоги до конструкції ємнісного обладнання. Найбільш відповідальними є резервуари великої ємності, оскільки аварія таких резервуарів може призвести до значної шкоди для людини та довкілля, техногенної катастрофи. У той самий час прагнення максимально збільшити об'єм резервуарів зумовлено тим, що із збільшенням обсягу зменшуються питома витрата металу на одиницю Об'єм, площа, яку займає резервуар, і довжина комунікацій. Тобто чим більше резервуар, тим менші питомі витрати на його будівництво та експлуатацію, тим він економічніший.

Конструкції резервуарів прийнято поділяти на:

- циліндричні (вертикальні та горизонтальні);
- краплеподібні;
- кульові;
- спеціальних типів.

Обмежене застосування знаходять прямокутні резервуари. За способом встановлення резервуари можуть бути:

- наземними;
- напівпідземними;

- підземними.

Найбільш широко застосовують вертикальні циліндричні резервуари з плоским дном та конічним дахом. Їх виготовляють ємністю до 50 000 м³.

6.1. Типи та особливості побудови резервуарів

6.1.1. Циліндричні резервуари

Вертикальні циліндричні резервуари (рис. 6.1) складаються з кількох царг (циліндричних поясів), товщина металу яких зростає зверху вниз зі зростанням гідростатичного тиску. Найменшу товщину листа за умов жорсткості приймають 4 мм. Раніше, коли резервуари збирали з окремих сталевих листів прямо на будмайданчику, окремі пояси зварювали внахлест і мали телескопічну конструкцію, як показано на рис. 6.1.

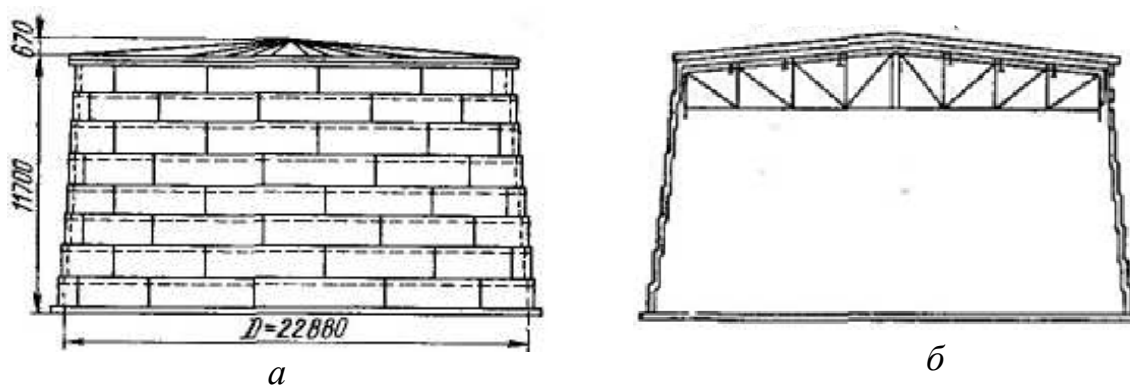


Рис. 5.1 – Вертикальний циліндричний резервуар

а – загальний вид, б – поперечний розріз.

Нині циліндричні резервуари майже виключно збирають на будівельному майданчику із рулонних заготовок. Цей спосіб полягає в тому, що окремі зварені на заводі виробники заготовки (полотнища) бічних стінок і днища згортаються в рулони. Після транспортування рулонів на будівельний майданчик розгортають, а потім зварюють стики.

Рулонний спосіб у кілька разів скорочує обсяг складально-зварювальних робіт на монтажному майданчику. При виготовленні резервуарів рулонним способом зварювання провадиться встик. Плоске днище резервуара спирається на спеціально підготовлену бетонну або піщану основу.

Верхній край резервуара забезпечують кільцем жорсткості з кутка або смуги. Конічний дах резервуара спирають на балки, пов'язані у центрі кільцем. При великих розмірах резервуару дах спирається на проміжні колони, які встановлені всередині резервуару.

При зберіганні летких нафтопродуктів використовують резервуари з понтонами. Понтони (поплавці, плаваючі дахи) зменшують поверхню випаровування, що суттєво знижує втрати продукту при зберіганні.

Горизонтальні циліндричні резервуари (рис. 6.2) знаходять різне застосування. Їх виготовляють об'ємом до 200 м^3 та довжиною до 20 м.

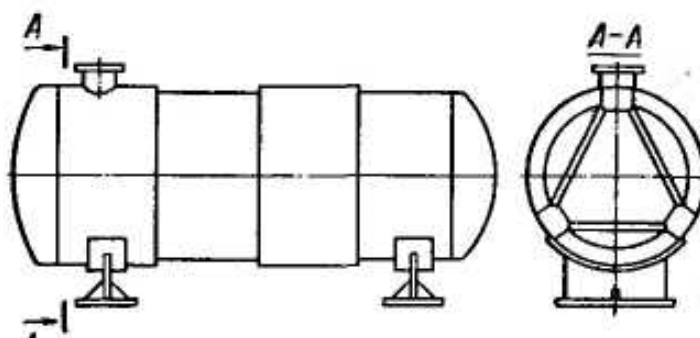


Рис. 6.2. – Горизонтальний циліндричний резервуар

Опори під горизонтальні резервуари роблять сталевими, привареними до корпусу резервуара, або у вигляді бетонних тумб із сідловиною. Переважні сталеві опори.

Горизонтальні резервуари великих розмірів зміцнюють кільцями жорсткості, що розташовуються всередині резервуару (якщо це можливо) або ззовні. При внутрішньому розташуванні кільця жорсткості їх іноді зміцнюють розпірками у формі трикутника (рис. 6.2 переріз А-А). Кільця жорсткості розташовують над опорами.

Горизонтальні циліндричні резервуари виготовляють із плоскими, тарілчастими, напівкульовими або еліптичними днищами. Плоскі та тарілчасті днища застосовують при тиску в резервуарі до $0,05 \text{ МПа}$. При вищому тиску встановлюють напівкульові або еліптичні днища.

Недоліком вертикальних та горизонтальних резервуарів (за винятком резервуарів з плаваючим дахом) при зберіганні летких нафтопродуктів та нафти з

високим вмістом бензинової фракції є велика втрата продукту внаслідок «дихання». «Диханням» резервуара називається випуск з нього газу внаслідок розширення при підвищенні навколишньої температури, наприклад, вдень і втягування в нього повітря при зниженні температури, наприклад, вночі.

6.1.2. Краплевидний резервуар.

Прагнення уникнути або хоча б знизити ці втрати призвело до конструкції краплеподібного резервуара, показаної на рис. 6.3.

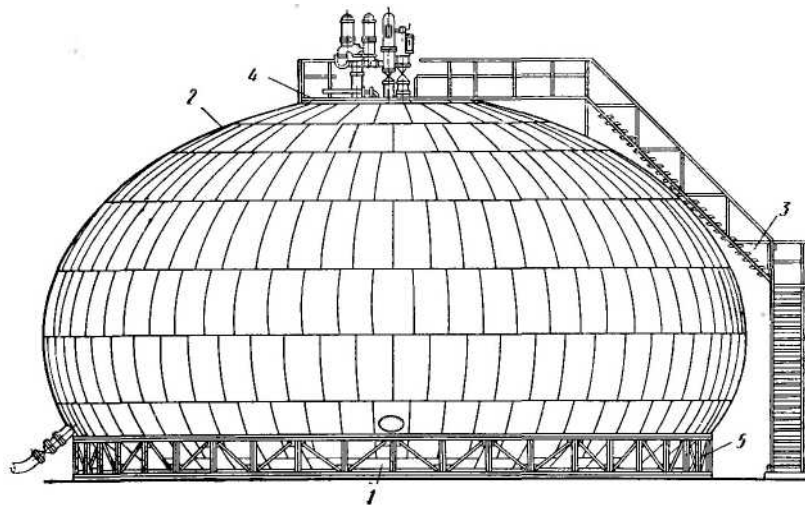


Рис. 5.3 – Краплевидний резервуар з кільцем опори:

1 – днище, 2 – корпус, 3 – драбина, 4 – площадка, 5 – кільце опори.

Краплевидний резервуар застосовується для зберігання нафтопродуктів, що мають значну пружність парів. Він розрахований на надлишковий тиск 40 кПа і більше і вакуум до 500 мм вод. ст. Це дозволяє уникнути так званого «малого дихання», викликаного добовою зміною температур і пов'язаних з ним втрат продукту.

Днище краплевидного резервуара укладають на щільно утрамбовану піщану подушку. Оболонку резервуара 2 зварюють встик з окремих пелюсток складної форми. За допомогою радіальних ребер нижня частина оболонки (корпусу) спирається на кільцеву плиту 5. Жорсткість оболонці надається внутрішнім каркасом, що складається з ферм та косинок.

Недоліком краплевидних резервуарів є складність виготовлення елементів різної форми.

6.1.3. Кульові резервуари

Кульові резервуари (рис. 6.4) використовують для зберігання під тиском легколетких рідин, зріджених газів а також створення аварійних запасів газів: повітря для систем КВП та автоматики, азоту для систем пожежогасіння, повітря та азоту для продування технологічних апаратів та ін. Кульові резервуари спираються на екваторіальну опору. Резервуари, що працюють при підвищеному тиску і мають внаслідок великої товщини стінки значну жорсткість, спирають на нижні опори, приварені до посиленого нижнього пояса.

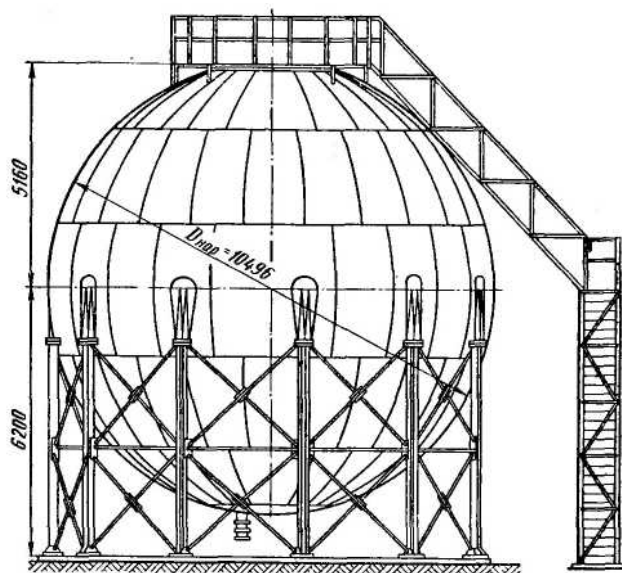


Рис. 5.4 – Кульовий резервуар

Кульові резервуари виготовляють ємністю до 2000 м^3 , надлишковий тиск становить до 1,4 МПа.

Прямокутні резервуари (коробки) є найпростішими у виготовленні і дозволяють якнайкраще використовувати площу приміщення, в якому вони встановлені. Однак витрата металу на одиницю об'єму у них у 3–4 рази більша, ніж у циліндричних, внаслідок значних згинальних моментів, що виникають у плоских стінках. Тому прямокутні резервуари великої ємності виготовляти

недоцільно. Прямокутні резервуари застосовують для зберігання невеликих обсягів рідини, як кожухи та для інших допоміжних цілей.

Для підвищення жорсткості конструкції стінки прямокутних резервуарів зазвичай зв'язують кутами. При значних розмірах коробки на бічних стінках встановлюють горизонтальні і вертикальні ребра жорсткості. Якщо це допускають внутрішні пристрої, прямокутні резервуари великих розмірів забезпечують внутрішні зв'язки, які виконують з прокату або стрижнів зі стяжними гайками.

Прямокутні резервуари встановлюють на суцільну основу або ряд паралельних балок. Найбільша відстань між балками визначається розрахунковим шляхом.

6.2. Особливості конструкції та додаткове обладнання резервуарів

Резервуари для кислот та різних агресивних продуктів захищають антикорозійними покриттями. Кислотні резервуари є відповідальними конструкціями та вимагають надійного антикорозійного захисту. Зазвичай, кислотні резервуари футерують кислототривкою цеглою з непроникним підшаром з поліізобутилену або гуми. Кислотні резервуари встановлюють не на суцільну основу, а на стрічкові фундаменти або балки, щоб мати доступ до днища для огляду. Товщину стінок футерованих резервуарів, зазвичай, дещо збільшують проти розрахункової надання їм додаткової жорсткості.

Влаштування нижніх спусків на кислотосховищах є небажаним, оскільки пошкодження спускного штуцера або запірної арматури за наявності кислоти в резервуарі становить суттєву небезпеку. Рідину кислотних резервуарів зливають, зазвичай, через сифон. Кислота засмоктується в сифон під дією вакууму.

Для видалення рідини з резервуарів невеликої висоти застосовують також відцентрові заглибні насоси. Робоче колесо цього насоса насаджено на довгий вал, пропущений через корпус насоса. Привід знаходиться на кришці резервуару. Всмоктуючий патрубок насоса опущений у рідину, відстань його від дна апарата, зазвичай, приймають 40–60 мм. Глибина занурення насоса досягається до 3 м. Занурювальні насоси застосовують, зазвичай, у тих випадках, коли пристрій

нижнього спуску є небажаним через властивості продукту (наприклад, при високій температурі рідин), а також у випадку, коли резервуар заглиблений в землю або встановлений на нульовій відмітці і установка відцентрового насоса нижче дна резервуара становить проблеми.

Резервуари для зберігання застигаючих рідин забезпечують пристроями для обігріву. Для обігріву застосовують теплообмінні елементи (змійовики, напівтруби, куточки), приварені до корпусу або внутрішні підігрівачі. Внутрішні підігрівачі виготовляють у вигляді U-подібних теплообмінників, які вставляють у бічні люки, або у вигляді секційних труб (трубчастих секційних підігрівачів), що укладаються на дно резервуара.

Резервуари для зберігання суспензій, схильних до випадання осаду, забезпечують мішалками. Мішалки можуть бути стаціонарними та знімними.

На **резервуарах для легколетких горючих рідин** встановлюють так звані **дихальні клапани**, які призначені для роз'єднання внутрішнього простору резервуару з атмосферою дихальні. У корпусі 1 дихального клапана (рис. 5.5) встановлені дві тарілки 2, одна з яких піднімається над сідлом 3 при виході повітря з резервуару, а інша при вході повітря в резервуар. У період, коли рух повітря («дихання» резервуара) у клапані відсутній, тарілки клапана знаходяться в закритому стані. Для захисту тарілок клапана від примерзання їх поверхню покривають фторопластовою плівкою.

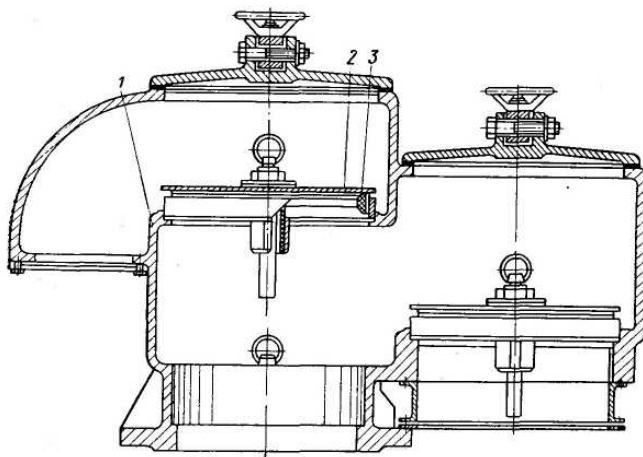


Рис. 6.5 – Дихальний клапан:

1 – корпус, 2 – тарілки, 3 – сідло.

Для запобігання проникненню всередину резервуару вогню та іскор перед дихальним клапаном встановлюють вогнезапобіжник – це коробка, заповнена мідними кільцями, комплектом сіток чи гофрованими мідними чи алюмінієвими стрічками. Полум'я, що потрапило в вогнеперешкодник, гасне внаслідок швидкого охолодження.

У нижній частині резервуара, зазвичай, влаштовують люк для очищення та ремонту резервуара.

6.3. Допоміжна ємнісна апаратура.

Поряд із резервуарами, призначеними для зберігання великих обсягів рідини, в промисловості застосовується допоміжна ємнісна апаратура: напірні баки, мірники, флорентійські судини, фазорозділювачі та ін.

Напірні баки служать для підтримки постійного напору рідини. Мірники застосовують переважно в періодичних процесах для відмірювання заданого обсягу рідини. Відмірювання проводять за виміром рівня рідини, для чого мірники забезпечують поплавковим рівнеміром або мірним склом. Для більш точного визначення обсягу, що замірюється, відношення висоти до діаметра у мірників більше, ніж у звичайних ємнісних апаратів. Мірники та напірні баки крім патрубків наповнення та зливу мають, зазвичай, переливні лінії (на випадок переповнення резервуара) та крани для спуску повітря (повітряники).

Флорентійські (розділові) судини служать для поділу двох рідин, що не змішуються. Після розшаровування через нижній штуцер зливається важча рідина, а через бічний штуцер відбирається легка рідина.

Фазорозділювачі служать для поділу рідкої та газової фази. Вони є невеликими ємнісними апаратами, в яких газорідинна суміш розшаровується, що дає можливість розділити її на два потоки.

6.3. Газгольдини

Місткості для зберігання газоподібних продуктів називають **газгольдерами**.

Газгольders – споруди для зберігання газів під надлишковим тиском. За його величиною розрізняють:

- Газгольders низького тиску (до 4–5 кПа);
- Газгольders високого (до 3 МПа) тиску.

За способом герметизації газового простору газгольders поділяються на:

- мокрі;
- сухі.

У перших герметизація здійснюється за допомогою гідравлічного (зазвичай, водяного) затвора, по-друге – різними способами (наприклад, із застосуванням сальникових ущільнень).

Мокрий газгольдер (рис. 6.6) складається із сталевого резервуару для води 6 із зовнішніми 9 і внутрішніми 11 напрямними, одного (дзвін) або двох (дзвін 8 і телескоп 7) рухомих ланок для зберігання газу, так званої камери газового введення (виводу) 1, автоматичної системи вказівки обсягу газу та сигналізації положення дзвону.

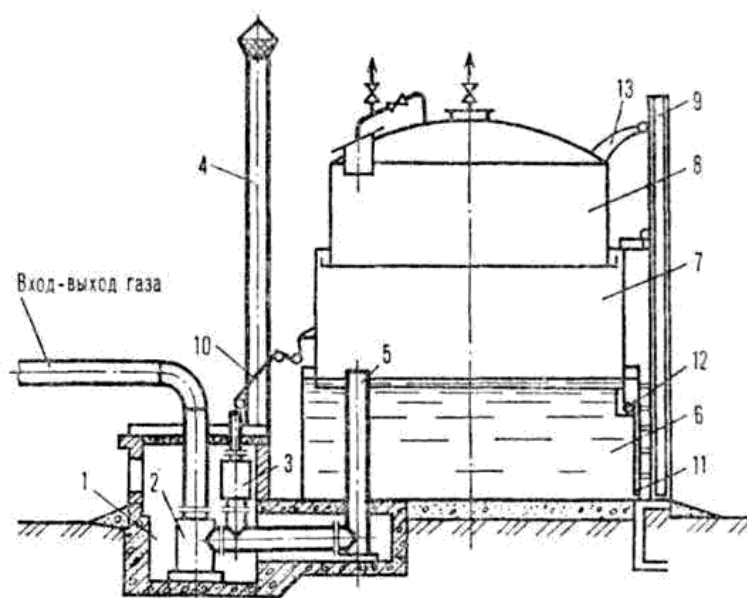


Рис. 5.6 – Мокрий газгольдер:

1 – камера газового введення (виходу), 2 – гідравлічний затвор, 3 – клапанна коробка автоматичного скиду газу, 4 – труба скидання газу, 5 – газовий стояк, 6 – резервуар з водою, 7 – телескоп, 8 – дзвін, 9, 11 – зовнішня та внутрішня напрямні, 10 – підйомний пристрій, 12, 13 – нижній і верхній ролики.

Також конструкція газгольдера передбачає наявність запобіжних пристроїв, засобів опалення та вентиляції камери та підігріву води у резервуарі газгольдера у зимовий час. Дзвін 8 і телескоп 7 встановлюють в іншому вертикальному циліндричному резервуарі 6 більшого діаметра, заповненого водою, яка забезпечує герметизацію газового простору всередині рухомих ланок при роботі газгольдера.

Подача газу під дзвін та телескоп проводиться по трубопроводу через гідравлічний затвор, який розташований у камері, та газовий стояк; забір газу з газгольдера здійснюється у зворотному порядку. Гідравлічний затвор служить також для відведення конденсату з газу та відключення газгольдера від газових мереж на період ремонтів та зупинок. При заповненні газом простору під дзвоном 8 останній спливає, переміщаючись вертикально вгору по напрямних 9 і 11, входить в зачеплення з телескопом 7, піднімає його і продовжує переміщатися під тиском газу, що надходить. Дзвін і телескоп спираються на напрямні 9 і 11 за допомогою верхніх 13 і 12 нижніх роликів. Коли тиск газу під дзвоном врівноважується його вагою або одночасно вагою дзвона та телескопа, підйом дзвона припиняється. Вага дзвона з телескопом врівноважує тиск газу до 1,5–2,0 кПа. Для збільшення тиску газу дзвін довантажують спеціальними вантажами. Максимальна вага вантажів обрана таким чином, щоб забезпечити тиск газу під дзвоном в діапазоні 4–5 кПа.

Позитивні якості мокрих газгольдерів:

- висока експлуатаційна надійність;
- простота обслуговування.

Недоліки мокрих газгольдерів:

- необхідність обігріву в зимовий час;
- відносно велика металомісткість і відповідно обмеженість обсягу газу, що зберігається (до 100 тис. м³).

Мокрі газгольдери застосовують, як правило, як буферні ємності на всмоктуючих лініях компресорів.

Сухі газгольдери служать для зберігання газів під низьким чи високим тиском. Герметизація газгольдерів низького тиску здійснюється, в основному, за допомогою еластичних сальників. До переваг таких газгольдерів можна віднести невелику металомісткість, значні обсяги газу, що зберігається (до 500 тис. м³); до недоліків – порівняно малу надійність ущільнювальних елементів.

В якості газгольдерів високого тиску застосовують кульові газгольдери об'ємом 600 м³ для зберігання повітря і шляхетних газів під тиском 0,8 МПа. Переваги: простота конструкції та обслуговування; недолік: обмеженість обсягу газу, що зберігається, через підвищений тиск.

Питання для самоперевірки

Типи та особливості побудови резервуарів

1. На які типи і різновиди поділяють резервуари?
2. Вертикальні циліндричні резервуари. Конструкція. Технологія виготовлення.
3. Горизонтальні циліндричні резервуари. Конструкція. Технологія виготовлення.
4. Недоліки циліндричних резервуарів.
5. Краплевидні та сферичні резервуари. Конструкція, монтаж, для чого застосовують та технологія виготовлення.
6. Кульовидні резервуари. призначення
7. Прямокутні резервуари. Переваги та недоліки. У яких випадках використовують

Особливості конструкції та додаткове обладнання резервуарів

8. Допоміжне обладнання резервуарів.
9. Резервуари для кислот. Особливості конструкції.
10. Резервуари для зберігання застигаючих рідин. Особливості конструкції.
11. Що таке «дихання» резервуара. Конструкція та робота дихального кларану.

Газгольders

12. Що таке газгольдер? На які групи їх поділяють за величиною тиску газів, що в них зберігають та засобом герметизації?
13. Конструкція та робота «мокрого» газгольдера.
14. Опишіть позитивні та негативні якості мокрого газгольдера.
15. Які типи резервуарів використовують у якості сухих газгольдерів.
16. Особливості конструкції, переваги та недоліки сухих газгольдерів.

.

7. РЕАКТОРИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

7.1. Класифікація реакторів

Апарати, у яких проводять хімічні реакції, називають реакторами.

Конструкція реактора залежить від таких основних факторів:

- агрегатного стану реагуючих речовин та тих, що утворюються;
- температури та тиску в реакційній зоні;
- теплового ефекту та інтенсивності теплообміну;
- хімічних властивостей речовин, що переробляються;
- інтенсивності перемішування реагуючих речовин;
- безперервності чи періодичності ведення процесу;
- наявності каталізатора та його стану.

Температура та тиск відносяться до найважливіших спонукачів хімічних процесів. Обидва ці фактори помітно впливають на конструкцію реактора. В залежності від температури ведення процесу доводиться застосовувати ті чи інші теплоносії чи холодоагенти. Тип теплоносія дуже впливає на конструкцію реактора. Якщо, наприклад, обігрів ведеться паром високого тиску або радіацією від факела вогню, то раціонально формувати поверхню теплообміну реактора у вигляді змійовика, а при обігріванні рідинами – у вигляді сорочки.

Тиск середовища визначає форму і габаритні розміри апарату, його матеріал, конструкцію пристроїв, що перемішують, і сальників. Апаратам, які працюють під високим тиском, зазвичай, надають циліндричну або кульову форму. Чим вищий тиск середовища, тим менший діаметр корпусу апарату.

Тепловий ефект реакції визначає необхідність теплообмінної поверхні реактора, її розміри. Іноді інтенсивність тепловиділень буває настільки великою, що наявних способів відведення тепла не вистачає для підтримки заданої температури реакції. І тут доводиться відповідними методами знижувати швидкість реакції.

При взаємодії, наприклад, рідин, що не змішуються, або рідин з твердою речовиною, перемішування є одним з головних факторів інтенсифікації процесу. В інших випадках перемішування забезпечує найкращий теплообмін, зменшує можливість пригорання. Реакційна маса перемішується, в основному, за допомогою спеціальних пристроїв, конструкція яких залежить від необхідної інтенсивності перемішування та від консистенції продуктів, що переробляються.

Безперервність та періодичність ведення процесу позначаються на конструктивному рішенні реактора менше, ніж розглянуті вище фактори.

Каталізатор, його активність, фізичний стан (рідина, газ або тверде), форма і, особливо, рухливість або нерухомість в реакційній зоні істотно впливають на конструкцію реактора. Реакційний апарат з псевдозрідженим шаром пилоподібного каталізатора помітно відрізняється по конструкції від реакційного апарату, в якому зернистий каталізатор знаходиться в нерухомому шарі або виконаний каталізатор у вигляді сітки.

Розгляд всього різноманіття реакційних апаратів, що знайшли застосування в промисловості, показує, що складені вони з окремих елементів, в яких протікають ті чи інші фізичні процеси (гідродинамічні, теплові, дифузійні), що мають на меті створити оптимальні умови для хімічної реакції.

В залежності від фізичного процесу, елемент реактора може бути теплообмінником, конденсатором, мішалкою, змішувачем тощо. Тому всі хімічні реактори можна розглядати як комплексні апарати, що складаються з відомих конструктивних елементів, більшість з яких окремо використовуються для проведення технологічних операцій, що не супроводжуються хімічною реакцією. Отже, кількість таких конструктивних поєднань, і типів реакторів, дуже велика.

Зручно розглядаючи конструкції реакторів використовувати таку класифікацію:

- грегатним станом реагентів;
- явністю каталізатора.

При подібній класифікації всі хімічні реактори можна розбити на великі групи:

- реактори каталітичних газофазних процесів;
- реактори некаталітичних газофазних процесів;
- реактори рідкофазних процесів;
- реактори для хімічного перетворення твердих речовин.

У наступному розділі будуть розглянуті приклади конструкцій реакторів кожної групи.

7.2. Конструкції реакторів для проведення хімічних процесів

7.2.1. Реактор для газофазного каталітичного процесу

Реактори з каталізаторними сітками. У реакторі цього типу проводять, наприклад, окислення аміаку в оксид азоту. Конструктивно він виконаний дуже просто (рис. 7.1).

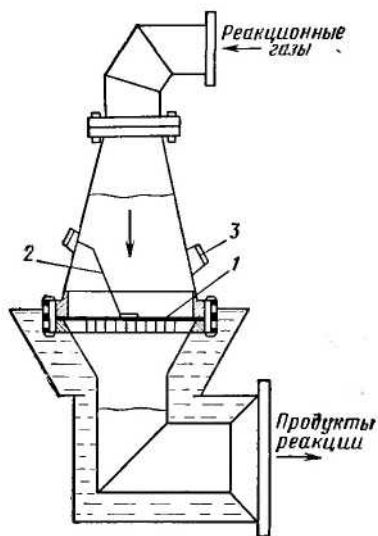


Рис. 7.1 – Схема апарату для окислення аміаку:

1 – каталізатор (платинова сітка), 2 – пусковий елемент,
3 – оглядове вікно.

У циліндричній частині апарату закріплена платинова сітка 1, що служить каталізатором. У процесі пуску реактора сітка розігрівається до температури реакції електричною дугою за допомогою електроду 2. Після прогріву сітки реакційні гази подаються зверху, їх температура доведена до необхідної для реакції. Для цього використовують спеціальний теплообмінник. Наведений на рис. 7.1 реактор застосовується в тих випадках, коли реакція протікає практично миттєво і каталізатор забезпечує не так прискорення, як селективність (прискорює цільову реакцію і не прискорює побічні) процесу, забезпечуючи максимальний вихід цільового продукту.

Більшість хімічних реакцій, здійснених у промисловості, вимагають певного часу контакту з каталізатором. Найбільше просто це здійснити, пропускаючи реагенти через шари зернистого каталізатора. Реактори цього типу (рис. 7.2) багато в чому аналогічні розглянутому вище. Але циліндрична частина у них є більшою і замість сіток у ній розміщені один або кілька шарів (1) зернистого каталізатора, розділених полицями, що підтримують. Полиці виконані у вигляді листів з отворами (у вигляді сита) для проходу газу.

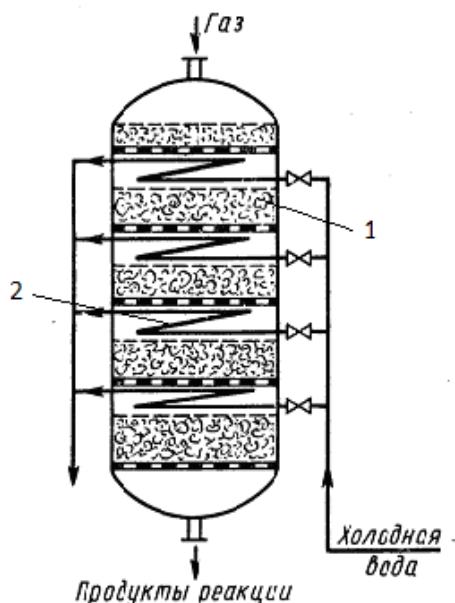


Рис. 7.2 – Схема полочного апарату каталітичних реакцій:

1 – полиця з каталізатором, 2 – змійовиковий холодильник.

Поділ на кілька шарів застосовується в тому випадку, якщо необхідно регулювати температуру у процесі реакції. Для цього газ між секціями нагрівається чи охолоджується за допомогою спеціальних пристроїв. На рис. 7.2 ці пристрої виконані у вигляді змійовиків (2), в які подається холодна вода.

Але циліндрична частина у них є більшою і замість сіток у ній розміщені один або кілька шарів (1) зернистого каталізатора, розділених полицями, що підтримують. Полиці виконані у вигляді листів з отворами (у вигляді сита) для проходу газу. Поділ на кілька шарів застосовується в тому випадку, якщо необхідно регулювати температуру у процесі реакції. Для цього газ між секціями нагрівається чи охолоджується за допомогою спеціальних пристроїв. На рис. 7.2 ці пристрої виконані у вигляді змійовиків (2), в які подається холодна вода.

7.2.2. Реактори для газофазних некаталітичних реакцій

Типовим представником реакторів для проведення некаталітичних газофазних реакцій є трубчаста піч із вогневим обігрівом. Трубчасті печі набули широкого поширення в нафтохімічній промисловості, де їх використовують для високотемпературного нагріву та реакційних перетворень рідких та газоподібних нафтопродуктів (піролізу, крекінгу). Знайшли вони застосування і в хімічній промисловості.

Трубчаста піч відноситься до апаратів безперервної дії із зовнішнім вогневим обігрівом. Її основними частинами (рис. 7.3) є: корпус (кладка) 3, металевого каркаса 4, труб 2, 7, 10, форсунок 1, пічної гарнітури (трубні підвіски та решітки, вікна, глядалки тощо), димоходу 12 і димової труби 13.

Корпус трубчастої печі складається з двох камер – радіантної (ліворуч від перегородки) та конвекційної (праворуч від неї). Таку назву вони отримали через те, що нагрівання в першій з них (радіантній) відбувається, головним чином, за рахунок випромінювання (радіації) факела, створюваного форсункою 1. У конвекційній камері нагрівання здійснюється при обтіканні труб (конвекції) гарячими топковими газами. Радіантну камеру від конвекційної відокремлює перегородка – перевальна стінка.

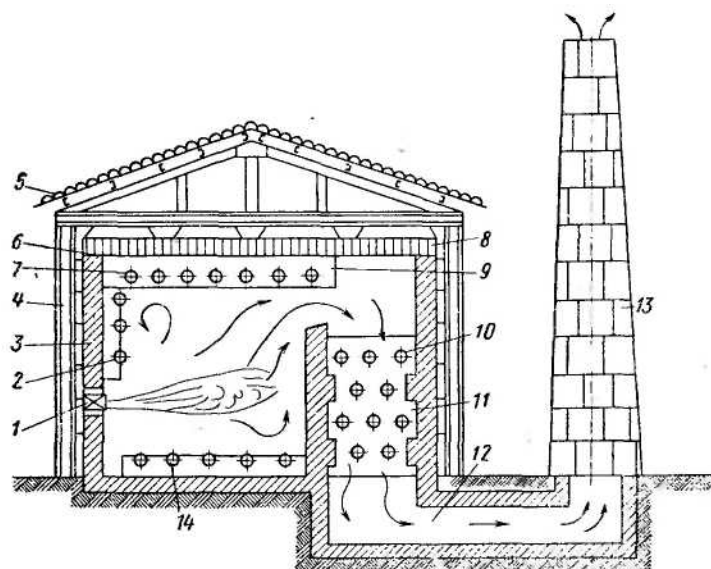


Рис. 7.3 – Конструктивна схема трубчастої печі:

1 – форсунка, 2 – труби бічного екрану радіантної камери, 3 – кладка печі, 4 – каркас печі, 5 – покрівля печі, 6 – підвісне склепіння, 7 – труби стельового екрану радіантної камери, 8 – підвіски, 9 – трубні підвіски, 10 – труби конвекційної камери, 11 – трубні ґрати конвекційної камери, 12 – димар, 13 – димова труба, 14 – труби подового екрану радіантної камери.

Принцип роботи трубчастої печі: сировина, що підлягає нагріванню або реакційному перетворенню в печі, подається в пічний змійовик, на початку труби, розташованій в конвекційній камері. Тут сировиною передається основна частка теплоти (до 70 %). Потім частково прореагована сировина надходить в труби конвекційної камери. У радіантній камері, за допомогою форсунок (або пальників), спалюється паливо. Утворені димові гази, пройшовши над перевальною стінкою, надходять у конвекційну камеру, звідки, віддавши частину теплоти конвекційним трубам через димар (борів) 12 надходять у димар 13, а звідти в атмосферу.

7.2.3 Реактори для проведення рідкофазних процесів.

Реактори цієї групи є порожнистими судинами різного об'єму, в яких реагенти перемішуються мішалками. Ємнісні апарати, що працюють під високим внутрішнім тиском, називають автоклавами. Для обігріву або охолодження ці реактори можуть забезпечуватись зовнішніми сорочками або внутрішніми

змійовиками. Присутність (або відсутність) каталізатора в рідкофазних процесах не впливає на конструкцію апарату, оскільки каталізатор вводиться як суспензія.

На рис. 7.4 показаний типовий вертикальний ємнісний апарат з мішалкою.

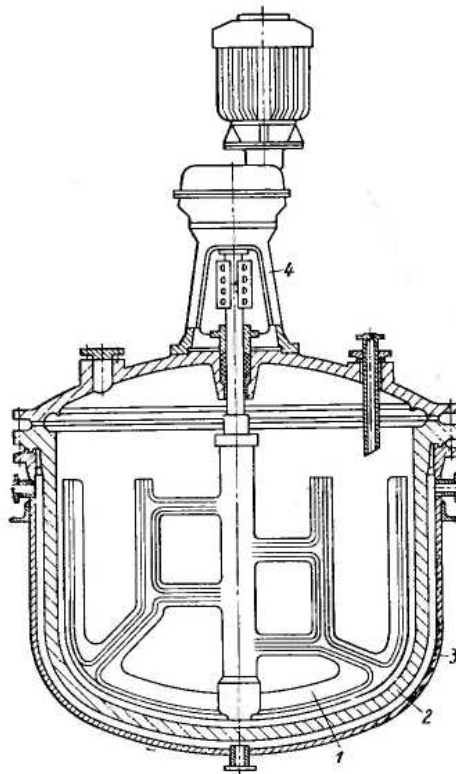


Рис. 7.4 – Ємнісний реактор з якірною мішалкою:

1 – мішалка, *2* – чавунний корпус, *3* – сорочка, *4* – привід мішалки.

Такі апарати широко поширені у промисловості й застосовуються, переважно, щодо періодичних процесів. В залежності від процесу, їх виготовляють із чавуну, сталі, міді або алюмінію. Невеликі ємнісні апарати виготовляють із пластмас. Внутрішні пристрої (змійовики, мішалка та ін.) та поверхні апарату часто покривають антикорозійними покриттями, зокрема, емальують.

Ємнісні апарати можуть мати верхню кришку, що знімається, або бути цільносвареними. Роз'ємними роблять апарати невеликих розмірів діаметром до 1400 мм. Апарати великої ємності доцільно виготовляти цільносварними,

оскільки наявність фланцевого роз'єму ускладнює апарат, ускладнює його конструкцію та погіршує герметичність.

На кришці апарату розміщують бобишку для сальника, плиту для стійки приводу мішалки, люк та штуцера. Штуцери служать для наповнення апарату, підведення повітря, пари, встановлення контрольно-вимірювальних приладів та інших технологічних цілей.

Видаляється рідина з апарата через нижній спуск або трубою передавлення. Апарати з мішалками, призначені для складних технологічних процесів, доцільно постачати оглядовими вікнами для спостереження за процесом та контролю справності внутрішніх пристроїв та футерування.

Сорочки, призначені для обігріву або охолодження апарату, зазвичай, приварюють до корпусу реактора.

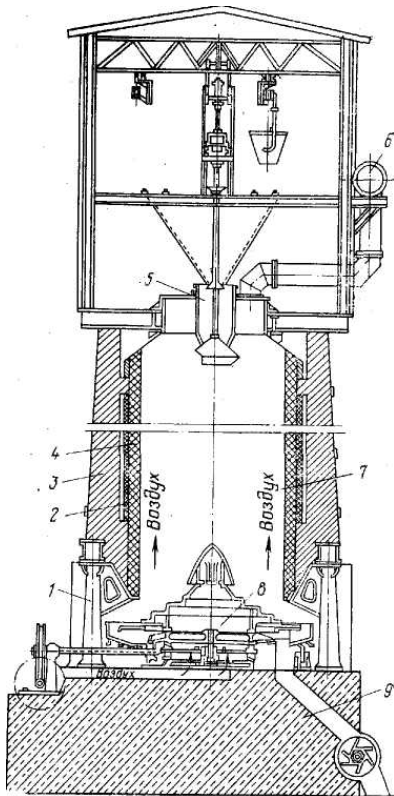
7.2.4. Реактори хімічного перетворення твердих речовин.

Найбільш часто зустрічається процес хімічного перетворення твердої речовини – називається випал, а призначені для цього процесу реактори називають печами. Типовими представниками реакторів такого роду є шахтні печі, які широко використовуються в промисловості, зокрема для випалу вапняку. Шахтна вапняно-палююча піч представлена на рис. 6.5. Вона складається з трьох основних частин: шахти 6, 5 завантажувального і 8 розвантажувального механізмів.

Піч, показана на рис. 6.5 має внутрішній діаметр 4,7 м і висоту шахти 18 м. Усередині шахта викладена вогнетривкою шамотною або хромомагнетитовою цеглою 4. Зовнішня частина шахти викладена звичайною червоною цеглою 3. Шахту, зазвичай, оточує сталевий кожух. Між кожухом та кладкою печі залишено зазор шириною 60 мм, заповнений побитим шамотом. В цьому випадку, зазор виконує роль теплоізоляції.

Піч, показана на рис. 6.5 має внутрішній діаметр 4,7 м і висоту шахти 18 м. Усередині шахта викладена вогнетривкою шамотною або хромомагнетитовою цеглою 4. Зовнішня частина шахти викладена звичайною червоною цеглою 3.

Шахту, зазвичай, оточує сталевий кожух. Між кожухом та кладкою печі залишено зазор шириною 60 мм, заповнений побитим шамотом. В цьому випадку, зазор виконує роль теплоізоляції.



а



б

Рис. 7.5 – Шахтна вапняно-палююча піч:

а – пристрій, *б* – зовнішній вигляд установки із двох печей;

1 – опорна колона, *2* – зазор з теплоізоляційним прошарко, *3* – кладка червоної цегли; *4* – кладка вогнетривкої цегли, *5* – завантажувальний пристрій, *6* – загальний колектор, *7* – шахта печі, *8* – вивантажувальний пристрій, *9* – фундамент.

Шахта печі спирається на чавунне кільце, яке розташоване на восьми опорних колонах *1*, які стоять на бетонному фундаменті *9* і приймають він все навантаження. Зверху шахта закрита залізобетонним склепінням, до якого кріпиться завантажувальний пристрій *5*. Воно, по-перше, сприяє рівномірному розподілу шихти перерізу печі, а по-друге, перешкоджає попаданню газів з печі в навколишнє середовище.

Працює завантажувальний пристрій в такий спосіб: шихта, що є сумішшю шматків вапняку і палива (коксу), з вагонеток висипається в завантажувальну лійку, яка знизу прикривається конусним затвором, що оберігає робоче приміщення від проникнення пічного газу, що містить оксид вуглецю. При опусканні конусного затвора, шихта із завантажувальної лійки падає у проміжний бункер, який також закритий знизу конусним затвором, що називається розподільним конусом. Після того, як шихта повністю пересипається в проміжний бункер, конусний затвор піднімається, герметизуючи проміжний бункер, а розподільний конус опускається і шихта висипається в шахту печі. Шахта заповнена шихтою. Знизу в піч подається повітря, яке необхідне для процесу горіння палива. Утворені в результаті горіння топкові гази і продукти розкладання вапна відсмоктуються з верхньої частини печі колектор 6.

В результаті горіння палива температура в середній частині печі досягає 1000–1100°C, при якій відбувається розкладання вапняку та утворення вапна.

Вапно вивантажується знизу вивантажувальним пристроєм 8. Його основна деталь – чавунна спіраль, яка називається улиною. Улита, обертаючись, скидає вапно на круговий транспортер, який, у свою чергу, скидає її у вивантажувальний канал.

Шахтна піч забезпечує високу якість випалу та має хороші теплотехнічні показники. Її недоліком є жорсткі вимоги до розміру шматків вапняку та неможливість випалення шматків розміром менше 60 мм.

Питання для самоперевірки

Реактори для проведення хімічних процесів

1. Основні вимоги до реакторів та їх класифікація
2. Реактори для некаталітичних процесів
3. Основні конструкції реакторів для каталітичних процесів.
4. Основні конструкції реакторів для некаталітичних процесів

5. Класифікація та призначення печей. Типи та конструкції печей
6. Конструкції та обладнання шахтних печей.
7. Рекуперація теплоти пічних газів та матеріалів, що обробляються у печах.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Устаткування та основи проектування природоохоронних технологій з використанням САПР»
для студентів усіх форм навчання спеціальності
101 «Екологія» другого (магістерського) рівня вищої освіти, освітня програма
«Інженерна екологія»,
263 «Цивільна безпека» другого (магістерського) рівня освіти, освітня програма
«Охорона праці»

Укладачі: Цейтлін Мусій Абрамович
Райко Валентина Федорівна
Шестопалов Олексій Валерійович
Забіяка Наталія Анатоліївна.

Відповідальний за випуск доц. Байрачний В.Б.
Роботу до виконання рекомендувала проф. Самойленко Н.М.
В авторській редакції

План 2024 р., поз.63

Підп. до друку .2024. Формат 60x84 1/16. Папір офсет.
Друк – різнографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,25.
Наклад 30 прим. Зам. №. Ціна договірنا.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання