

## **РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ ЛІТОСФЕРИ**

Накопичення значних мас твердих відходів в промисловості зумовлено існуючим рівнем технології переробки сировини і недостатністю його комплексного використання. У той же час значна частина відходів промислових підприємств може ефективно використовуватись в народному господарстві[21].

Різноманіття видів твердих відходів, значна відмінність складу однойменних відходів ускладнює завдання їх утилізації. У той же час, різні технології рекуперації твердих відходів у своїй основі базуються на методах, сукупність яких забезпечує можливість утилізації вторинних матеріальних ресурсів або їх переробки у цільові продукти[8].

### **4.1. Гідромеханічні методи обробки рідких відходів**

#### **4.1.1. Гідромеханічне обезводнення осадків стічних вод**

У процесі очищення стічних вод утворюються опади. Умовно опади можна розділити на три основні категорії - мінеральні опади, органічні опади і надлишкові активні іли. Основні завдання сучасної технології обробки полягають у зменшенні їх об'єму і в подальшому перетворенні на нешкідливий продукт, який не спричиняє забруднення навколишнього середовища[1].

Хімічний склад опадів надає великий вплив на їх водовіддачу. Сполуки заліза, алюмінію, хрому, міді, а також кислоти, луги та деякі інші речовини, що містяться у виробничих стічних водах, сприяють інтенсифікації процесу зневоднення осадів і знижують витрати хімічних реагентів на їх коагуляцію перед зневодненням. Масла, жири, азотні сполуки, волокнисті речовини, навпаки є несприятливими компонентами. Оточуючи частинки осаду, вони порушують процеси ущільнення і коагуляції, а також збільшують вміст органічних речовин в осаді, що позначається на погіршенні його водовіддачі[1].

Механічне зневоднення осадів промстоків може проводитися екстенсивними і інтенсивними методами. Екстенсивні методи здійснюються різного роду ущільнювачах, інтенсивне зневоднення і згущення проводиться за допомогою фільтрування, центрифугування, гідро - циклонування і т. п[1].

Фільтрування являє собою процес відокремлення твердих речовин від рідини, що відбувається при різниці тисків над фільтруючим середовищем і під нею. Для зневоднення осадів і шламів зазвичай використовують вакуум-фільтри, фільтр-преси. Фільтруючим середовищем на фільтрах є фільтрувальна тканина і шар осаду, прилипає до тканини і утворює в процесі фільтрування додатково допоміжний фільтруючий шар, який

власне і забезпечує затримання найдрібніших частинок суспензії. В міру збільшення шару роль фільтруючої перегородки (тканини) зводиться лише до підтримки допоміжного фільтрувального шару. Збільшення товщини шару забезпечує поліпшення якості фільтрату, але в той же час в результаті збільшення опору проходження води через пори і капіляри шару осаду зменшується швидкість фільтрації[1,2].

Фільтруючі властивості суспензій характеризуються питомим опором осадків. В даному випадку під осадками мається на увазі шар, який відкладається на фільтрувальній перегородці при фільтруванні суспензій[1].

Питомий опір осаду називається опором одиниці маси твердої фази, яка відкладається на одиниці площі фільтру при фільтруванні під постійним тиском суспензії, в'язкість рідкої фази, якої дорівнює одиниці[1].

Під центрифугуванням розуміють розділення неоднорідних фаз за допомогою відцентрових сил. Воно здійснюється в апаратах, які називають центрифугами. Центрифугування суспензій і шламів проводиться двома методами. У першому випадку центрифугування виконується в роторах, що мають суцільну стінку, у другому - перфоровану. Центрифугування в перфорованих роторах є процесом, окремі елементи якого схожі з фільтрацією і пресуванням шламів[1].

Процеси центрифугування у суцільних роторах поділяються на центрифугальне освітлення і осаджувальне центрифугування. Осаджувальне центрифугування є процесом розділення суспензій, що містять значну кількість твердої фази[1].

Серед апаратів для відцентрового поділу різних рідких відходів широкого поширення набули рідинні сепаратори, що працюють за принципом тонкошарового центрифугування. У практиці згущення і зневоднення осадів з очисних споруд малих та середніх промислових і транспортних підприємств найбільше поширення отримали гідроциклони, які застосовуються, як правило, в комбінації із розташованими нижче бункерами - ущільнювачами осаду[1].

У гідроциклонах, як і в центрифугах, розділення суспензій відбувається під дією відцентрової сили, але за способом дії вони значно відрізняються. В центрифугах суспензія разом з барабаном при постійній кутовій швидкості зовсім або майже не рухається відносно барабана. При цьому на частинки не діють ніякі дотичні сили. У гідроциклоні ж на частинки суспензії діють великі тангенціальні сили, що підтримують їх у безперервному відносному русі. Між шарами суспензії виникає напруження зсуву, яка діє на тверду частку як поперечна сила. Відомо, що для збільшення глибини відбору частинок в центрифугах при постійній частоті обертання барабана необхідно збільшити його діаметр. В гідроциклоні, навпаки, це прямо пропорційно пов'язано із зменшенням діаметра апарата.

В той же час зменшення діаметра гідроциклону веде до зниження його продуктивності. Тому в тих випадках, коли потрібно домогтися більш тонкого очищення необхідного продукту при значних витратах останнього, використовують батарейні гідроциклони (мультигідроциклони), що представляють собою декілька паралельно включених елементарних гідроциклонів[1].

#### 4.1.2. Фільтрування осадів стічних вод

Фільтрування застосовують для виділення із стічних вод тонко дисперсні тверді або рідкі речовини. Розділення проводять за допомогою пористих або зернистих перегородок, які пропускають рідину, та затримуючих дисперговану фазу. Процес йде під дією гідростатичного тиску стовпа рідини, підвищеного тиску над перегородкою або вакууму після перегородки[2].

В якості перегородок використовують металічні перфорировані листи та сітки, перегородки із природного матеріалу, штучного та синтетичного волокна. Фільтрувальні перегородки повинні мати мінімальний гідравлічний опір, механічну проникність і гнучкість, хімічну стійкість, вони не повинні набухати та руйнуватися при заданих умовах фільтрування[1].

Різниця тисків по обидві сторони фільтрувальної перегородки створюють різними способами. Якщо простір над суспензією повідомляють із джерелом зжатого газу або простір під фільтрувальною перегородкою приєднують до джерела вакууму, то відбувається процес фільтрування при сталій різниці тисків. При цьому швидкість процесу зменшується у зв'язку із збільшенням опору шару осаду зростаючої товщини[1].

Процес фільтрування проводять з утворенням осаду на поверхні фільтруючої перегородки або із закупоркою пор фільтруючої перегородки[1].

Фільтрування з утворенням осаду спостерігається при достатньо високій концентрації твердої фази в суспензії.

Фільтрування із закупореними порами фільтруючої перегородки називають освітленням, але відбувається при концентрації твердої фази меншій ніж 0,7 об'ємних % [1].

При розділенні суспензій з невеликою концентрацією тонкодисперсованої твердої фази часто застосовують фільтрувальні допоміжні речовини, які перешкоджають проникненню твердих частинок в пори фільтрувальної перегородки[1].

При додаванні допоміжної речовини до розділювальної суспензії концентрація твердих частинок в ній збільшується, що запобігає закупорюванню пор фільтруючої перегородки.

Фільтрування протікає у ламінарному режимі внаслідок невеликого розміру пор у шарі осаду та фільтрувальної перегородки, а також малої швидкості руху рідкої фази в порах. Швидкість фільтрування в загальному випадку виражають у диференціальній формі[1]:

$$w_{\phi} = \frac{dV}{S \cdot d\tau} \quad (4.1)$$

де  $V$  - об'єм фільтрату;  $S$  - поверхня фільтрування;  $\tau$  - тривалість фільтрування.

Для фільтрування при постійній швидкості похідну  $\frac{dV}{d\tau}$  можна замінити відношенням кінцевих величин  $\frac{V}{\tau}$  [1].

Після такої заміни знаходять розв'язок основного рівняння фільтрування відносно  $\Delta P$  [1]:

$$\Delta P = \mu_0 \cdot r_0 \cdot x_0 \cdot \frac{V_2}{S^2 \cdot \tau} + \mu_0 \cdot R_{\phi n} \cdot \frac{V}{S \cdot \tau}. \quad (4.2)$$

Це рівняння застосовують для нестисливих осадів.

Такий вид фільтрування здійснюється, якщо чиста рідина фільтрується крізь шар осаду незмінної товщини при сталій різниці тисків.

Взявши рівність  $x_0 \cdot V / S = h_{oc}$  і заміну  $\frac{dV}{d\tau}$  на стале значення  $\frac{V}{\tau}$  при

$\Delta P = const$  знайдемо[1]:

$$V = \frac{\Delta P \cdot S}{\mu_0 (r_0 \cdot h_{oc} + R_{\phi n})} \cdot \tau. \quad (4.3)$$

Це рівняння дає залежність об'єму фільтрату від тривалості фільтрування чистої рідини, у тому числі промивної рідини.

Для найбільшого виробництва фільтратів періодичної дії доцільно, як можна частіше повторювати цикли його роботи, подаючи на фільтр невелику порцію суспензії. Однак часте повторення циклів роботи фільтру по основним операціям, включаючи само фільтрування, промивку і продувку осаду, тягне за собою таке ж часте повторення допоміжних операцій завантаження суспензії та видалення осаду. У кожному випадку оптимальна тривалість циклу роботи фільтру, при якій фільтр має найбільше виробництво[1].

#### 4.1.3. Відцентрове фільтрування осадів стічних вод

Відцентрове фільтрування осадів стічних вод досягається обертанням

суспензії у перфорованому роторі – барабані[2,5].

Фільтрування під дією відцентрової сили проводять на фільтруючих центрифугах. Розділення суспензії у фільтруючих центрифугах складається із стадії утворення, щільності і механічної сушки осаду із можливою промивкою осаду, тобто швидкість відцентрового фільтрування змінюється з часом[1].

Під дією відцентрової сили в масі фільтрованої суспензії розвивається тиск, який забезпечує відцентрове фільтрування. В результаті відбувається відкладення осаду на внутрішні поверхні барабану ротора та видалення освітленої води крізь фільтруючу перегородку та дірки у барабані[1].

Застосовуючи до відцентрового фільтрування, яке протікає при  $\Delta P = const$ , основне рівняння для швидкості відцентрового фільтрування буде мати вигляд[1]:

$$w_{\phi} = \frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta P_{\phi}}{\mu_0 (r \cdot h + R_{\phi n})}. \quad (4.4)$$

Центрифуги можуть бути періодичними або неперервної дії, горизонтальними, вертикальними або похилими; по способу вивантаження осаду із ротора[1]: з ручним, ножовим, поршневим, шнековим або з відцентровим вивантаженням.

Центрифуги періодичної дії застосовують при витратах суспензії менших ніж  $5 \text{ м}^3/\text{год}$  у широкому діапазоні концентрацій з частинками діаметром більше 10 мкм[1].

Центрифуги неперервної дії із шнековим вивантаженням осаду застосовують для розділення концентрованих суспензій з розміром частинок більшим за 100 мкм. В системах очищення стічних вод використовують горизонтальні шнекові центрифуги для виділення частинок гідравлічної крупності 0,2 мм (протиструминна) і 0,05 мм (прямоструминна) [1].

## 4.2. Механічна переробка твердих відходів

Утилізація твердих відходів приводить до необхідності або їх розділення на компоненти із подальшою переробкою сепарированих матеріалів різними методами, або надання їх певного виду[21].

Для тих промислових відходів, утилізація яких не пов'язана з необхідністю проведення фазових перетворень або дії хімічних реагентів, але які не можуть бути використані безпосередньо, застосовуються два види механічної обробки: подрібнення або компактування (пресування). Це також в рівному ступені відноситься до відходів, як органічного так і неорганічного походження. Після подрібнення, за яким може слідувати фракціонування, відходи перетворюються на продукти, готові для

подальшого використання. Твердий матеріал можна зруйнувати і подрібнити до частинок бажаного розміру роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням та різними комбінаціями цих способів. За розмірами кусків вихідної сировини та кінцевого продукту подрібнення умовно поділяють на декілька класів, виходячи із яких вибирають подрібнююче обладнання[21,1].

Одним із недоліків, які виникають при подрібненні в'язких, пружних та в'язкопружних матеріалів, полягає у тому, що при кімнатній температурі енергозатрати на їх переробку дуже великі, хоча безпосередньо на подрібнення витрачається не більше 1 % енергії, основна ж її частина перетворюється на теплоту. Тому в останні 15...20 років все більше застосування має техніка кріонного подрібнення, яка дозволяє охолоджувати матеріал нижче температури крихкості. Як правило, в якості охолоджуючого агента використовують рідкий азот, що має температуру - 196°C, що нижче температури крихкості більшості полімерних матеріалів[1,2].

Інтенсивність і ефективність хімічних дифузійних та біохімічних процесів зростає із зменшенням розмірів кусків перероблюваних матеріалів. Метод подрібнення використовується для отримання із крупних кусків перероблюємих матеріалів продуктів крупністю до 5 мм. В якості основних технологічних показників подрібнення розглядають степінь і енергоємність подрібнення[1,2,21].

Метод подрібнення використовують для отримання із кускових відходів зернових і мілко дисперсних фракцій крупністю менше 5 мм. При переробці твердих відходів використовують агрегати грубого та тонкого подрібнення: стрижневі, шарові та ножеві млини, дезінтегратори, дискові кільцеві млини, бігуни. В якості несучого середовища при сухому подрібненні частіше за все застосовують повітря, рідше димові або інертні гази, а при вологому - воду. Подрібнення відходів пластмаси та резиновихі технічних виробів проводять при низьких температурах[1].

У ряді випадків переробка подрібнених відходів повинна супроводитися їх розділенням на фракції по крупності. Для розділення кускових та сипучих матеріалів застосовують різні способи[1]:

- просіювання та грохочення;
- розділення під дією гравітаційно-інерційних сил;
- розділення під дією гравітаційно-центробіжних сил.

Грохочення представляє собою процес розділення на класи за крупністю різних за розмірами кусків (зерен) матеріалу при його переміщенні на ячеїстих поверхнях. Для розділення твердих матеріалів у вигляді пульп використовуються класифікатори грубої і тонкої класифікації[1].

При гравітаційному та відцентровому способах розділення подрібнених продуктів на класи або виділення цільового продукту

відбувається методом роздільного висажування частинок із середовища під дією гравітаційно-інерційних або гравітаційно-відцентрових сил. Розділення сипучих матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил проводиться в газових осаджувальниках та гідравлічних класифікаторах, а під дією гравітаційно-відцентрових сил – в сепараторах циклонного типу, з обертовими лопастями[1].

У тому випадку, якщо відходи можуть мати металічні включення, їх зазвичай пропускають через магнітний сепаратор. У магнітному полі, яке створюється за допомогою електромагнітів, відбувається відокремлення магнітних металів від органічної частини відходів[1].

Наряду з методами зменшення розмірів кускових матеріалів і їх розділення на класи крупності в рекуперативній технології твердих технологій твердих відходів розповсюджені методи, які пов'язані з укрупненням мілкодисперсних частинок, використанні прийоми гранулювання, брикетування та високотемпературної агломерації[1].

Гранулювання – це процес формування агрегатів шароподібної або циліндричної форми із порошків, паст, розплавів та розчинів перероблюємих матеріалів. Ці процеси основані на різних прийомах обробки матеріалів: відкатування, пресування порошків в дисперсних потоках, гранулювання розплавів[1].

Брикетування – підготовчі та самостійні операції у практиці утилізації твердих відходів. Брикетування дисперсних матеріалів проводять без зв'язуючого тиску пресування. На процес брикетування дисперсних матеріалів суттєвий вплив має склад, вологість і крупність матеріалу, температура, питомий тиск та тривалість пресування. Необхідний питомий тиск пресування зазвичай знаходять у зворотній залежності від вологості матеріалу[1].

Пресування при високих тисках – один із способів покращення умов експлуатації полігонів (звалищ). Ущільнені відходи дають меншу кількість фільтрату та газових забруднюючих речовин, при цьому знижується ймовірність виникнення пожег, ефективніше використовується земельна площа полігону[1].

### **4.3. Фізико-хімічні основи обробки і утилізації відходів**

#### **4.3.1. Реагентна обробка осадів стічної води**

Більшість осадів, що утворюються в процесі очищення промислових і міських стічних вод, гальванічні шлами та ін. являють собою важкороздільні суспензії. Для їх успішного зневоднення необхідна попередня підготовка - кондиціонування. Мета кондиціонування - поліпшення водовіддаючих властивостей осадів шляхом зміни їх структури і форм зв'язку води. Від умов кондиціонування залежить продуктивність обезводнених апаратів, чистота відокремлюваної води і

вологість зневодненого осаду. Кондиціонування може здійснюватися кількома способами, що розрізняються за своїм фізико-хімічним впливом на структуру оброблювального осаду. Найбільшого поширення з них набули: хімічна (реагентна) обробка; тепла обробка; рідкофазне окислення; заморожування і відтавання[1,2].

Реагентна обробка - це найбільш відомий і поширений спосіб кондиціонування, за допомогою якого можна зневоднювати більшість опадів стічних вод. При реагентній обробці відбувається коагуляція - процес агрегації тонкодисперсних і колоїдних частинок, утворення великих пластівців із розривом сольватних оболонок і зміна форм зв'язку води, що призводить до зміни структури осаду та покращенню його водовіддаючих властивостей. Для реагентної обробки використовуються мінеральні та органічні сполуки - коагулянти і флокулянти[1,2].

Хімічний механізм взаємодії коагулянтів з осадом такий. Введений у водне середовище сірчаноокислий алюміній взаємодіє із бікарбонатами, які містяться у воді, утворюючи спочатку гелеподібний гідрат оксиду алюмінію[1].

Утворені пластівці гідрату захоплюють суспендовані і які знаходяться у водному середовищі в колоїдному стані речовини і при сприятливих гідродинамічних умовах швидко осідають в ущільнювачі і добре віддають воду на апаратах для механічного зневоднення шляхом фільтрації або центрифугування[1].

Сірчаноокисне оксидне залізо менш ефективний, зате більш дешевий і доступний реагент. Вапно використовують не тільки в поєднанні з солями заліза, але і як самостійний коагулянт, який опиняється в ряді випадків досить ефективним. При використанні в якості коагулянту спостерігається тенденція до її регенерації із золи після спалювання зневоднених осадів. Недоліками мінеральних реагентів є дефіцитність, висока вартість, коррозійність, а також труднощі при їх транспортуванні, зберіганні, приготуванні та дозуванні[1,2].

Синтетичні поліелектроліти, або полімери, вводяться в осад безпосередньо перед центрифугуванням або фільтруванням. Ці полімери знищують або зменшують відштовхуючі зусилля суспендованих твердих частинок, які прагнуть утримати їх на відстані. За рахунок тяжіння цих частинок утворення пластівців і сепарування відбуваються значно швидше і ефективніше[1].

#### **4.3.2. Фізико-хімічні методи витягання компонентів з відходів**

Багато процесів утилізації твердих відходів засновані на використанні методів вилуговування (екстрагування), розчинення і кристалізації перероблених матеріалів.

Вилуговування (екстрагування) засноване на отриманні однієї або



декількох компонентів з комплексного твердого матеріалу шляхом його виборчого розчинення в рідині - екстрагентів. Розрізняють просте розчинення і вилугування з хімічною реакцією[1].

Розчинення полягає в гетерогенній взаємодії між рідиною і твердою речовиною, що супроводжується переходом твердої речовини в розчин[1].

Кристалізація - це процес виділення твердої фази у вигляді кристалів з насичених розчинів, розплавів чи парів[1].

Створення необхідного для кристалізації пересичення розчину забезпечують охолодженням гарячих насичених розчинів і видаленням частинок розчинника шляхом випарювання (ізотермічна кристалізація) або комбінацією цих методів (вакуум - кристалізація, фракційна кристалізація, кристалізація з випаровуванням розчинника в струмі повітря або іншого газу - носія) [1].

У практиці кристалізації із розчинів іноді використовують кристалізацію висолуванням (введення в розчин речовин, що знижують розчинність солі), виморожуванням (охолодженням розчинів до негативних температур з виділенням кристалів солі або їх концентрування видаленням частинок розчинника у вигляді льоду) або за рахунок хімічної реакції, що забезпечує пересичення розчину, а також високотемпературну (автоклавної) кристалізацію, що забезпечує отримання кристалогідратів із мінімальним вмістом вологи[1,2].

#### **4.3.3. Збагачення при рекуперації твердих відходів**

У практиці рекуперації твердих відходів промисловості використовують методи збагачення перероблювальних матеріалів: гравітаційні, магнітні, електричні, флотаційні, і спеціальні.

Гравітаційні методи - засновані на відмінності в швидкості у рідкому (повітряному) середовищі частинок різного розміру і щільності. Вони об'єднують збагачення відсадкою під дією змінних за напрямом вертикальних струменів води (повітря); збагачення у важких суспензіях, щільність яких є проміжною між щільністю розділяємих частинок; збагачення у переміщуючихся по похилим поверхнях потоках, а також промивання для руйнування і видалення глинистих, піщаних та інших мінеральних, а також органічних домішок[1,2].

Магнітне збагачення використовують для відокремлення парамагнітних і феромагнітних компонентів сумішей твердих матеріалів від їх діамагнітних складових[1].

Електричні методи збагачення, основані на різниці електрофізичних властивостей розділювальних матеріалів і включають сепарацію у електростатичному полі, полі коронного розряду, коронно-електростатичному полі і трибоадгезійну сепарацію. Електростатична сепарація базується на різниці електропровідності і здатності до

електризації тертям (трибоелектричний ефект) мінеральних частинок розділеної суміші. При невеликій різниці в електропровідності частинок, використовують електризацію їх тертям. Наелектризовані частинки направляють в електричне поле, де відбувається їх сепарація[1,2].

Сепарація у полі коронного розряду, що створюється між коронуючим і осаджувальним електродами, заснована на іонізації перетину цього поля мінеральними частинками, які осідають на них іонами повітря і на відмінності інтенсивності передачі отриманого заряду поверхні осаджувального електрода, що виражається в різних траєкторіях руху частинок[1,2].

Трибоадгезійна сепарація заснована на розходженні в адгезії (прилипанні) до поверхні наелектризованих тертям частинок розділюваного матеріалу[1].

#### **4.4. Термічні методи обробки відходів**

##### **4.4.1. Термічні методи знешкодження мінералізованих стоків**

Найбільш розповсюдженими методами, які дозволяють очистити мінералізовані стоки є термічні. Тут можливі такі напрями[1]:

- значне зменшення об'ємів стоків при їх граничній концентрації та зберіганні цих розчинів в штучних та природних сховищах;
- виділення із стоків солей та інших цінних речовин та застосування опрісненої води для потребностей промисловості сільського господарства.

Процес розділення води та мінеральних речовин може відбуватися у дві стадії: концентрування початкового розчину та виділення із нього сухого залишку. Якщо виконується перша стадія, то концентрований розчин направляється на подальшу переробку або, у крайньому випадку, на захорення. Можна подавати стічні води, минаючи стадію концентрування, безпосередньо на виділення із них сухих речовин, наприклад, у розпилювальну сушилку або в камеру згорання, наприклад циклонний реактор.

Концентрування розчинів може відбуватися у випарювальних, виморожувальних, кристалогідратних установках неперервної і періодичної дії[1,2].

У випарювальних установках концентрація розчину підвищується унаслідок видалення парів розчину при випаровуванні рідини. Ці установки найбільш розповсюджені у техніці концентрування розчинів. Вони поділяються на випарювальні установки, в яких кипіння відбувається на поверхні нагріву або у винесеній зоні, та установки адіабатного випаровування, у яких випаровування перегрітої рідини відбувається у адіабатній камері. Випарювальні установки можна умовно поділити на установки, в яких розчин контактує з поверхнею нагрівання, і установки, в яких розчин не контактує з поверхнею нагрівання. В установках першого

типу утворюються відкладення солей з відповідним зниженням щільності теплового потоку та виробництва установок. Це зумовлює періодичні зупинки агрегатів для очищення поверхні нагрівання, що знижує техніко-економічні показники та ускладнює їх експлуатацію. Ступінь концентрування розчину в них суттєво обмежений через різке збільшення відкладів зі зростанням концентрації розчину. Для покращення умов роботи доводиться застосовувати спеціальні заходи зі зниження відкладів[1,2].

В установках другого типу тепло передається проміжковому гідрофобному рідкому, твердому або газовому теплоносію, який потім при безпосередньому контакті нагріває або випаровує розчин. Нагрітий розчин подається в камери адіабатного випаровування. Ступінь концентрування розчину у таких установках суттєво підвищується, тому що небезпечність відкладів на поверхнях нагрівання практично виключається[1].

В установках, де використовують методи виморожування, концентрування мінералізованих стоків засноване на тому, що кількість солей у кристалах льоду значно менше, ніж у розчині, і утворюється прісний лід. Внаслідок цього, по мірі утворення льоду, концентрація солей у розчині підвищується. Концентрування мінералізованих вод можна здійснити двома способами: виморожуванням при випаровуванням під вакуумом або заморожуванням за допомогою спеціального холодильного агенту[1].

У кристалогідратних установках концентрування стічних вод засноване на здатності деяких речовин (фреони, хлор та ін.) при певних умовах утворювати кристалогідрати. При цьому молекули води переходять у кристалогідрати, а концентрація розчинів підвищується. При плавленні кристалів знову виділяється вода, яка є гідратоутворюючим агентом. Процес гідратоутворення може відбуватися при температурі нижче і вище навколишнього середовища. У першому випадку, як правило, необхідно застосування холодильних установок, а в другому випадку кристалогідратна установка може використовувати низькопотенційне тепло[1,2].

Холодильні та кристалогідратні методи опріснення і концентрування мінералізованих стоків застосовуються ще порівняно рідко, але в силу своїх позитивних якостей можуть набути у майбутньому широкого застосування.

#### **4.4.2. Термічні методи кондиціонування осадів стічних вод**

До методу термічного кондиціонування належать теплова обробка, рідкофазне окислення, заморожування та відтавання (останнє в основному для кондиціонування осадів водопровідних станцій) [21].

Теплова обробка є одним із перспективних методів кондиціонування.

Вона застосовується для кондиціонування осадів міських та промислових стічних вод. У технологічних схемах, що завершуються стадією зневоднення, її переваги, крім підготовки до зневоднення опадів, полягають у забезпеченні надійної стабілізації та повної стерилізації опадів[6-8].

Сутність методу теплової обробки полягає у нагріванні опадів до температури 150-200°C та витримці при цій температурі у закритій ємності протягом 0,5-2 ч. В результаті такої обробки відбувається різка зміна структури осаду, близько 40 % сухої речовини переходить у розчин, а частина набуває водовіддаючих властивостей. Осад після теплової обробки швидко ущільнюється до вологості 92-94 %, і його об'єм становить 20-30 % початкового[1].

Рідкофазне окислення його сутність полягає в окисненні органічної частини осаду киснем повітря при високій температурі та тискові. Ефективність процесу оцінюється глибиною окислювання органічної частини осаду. Ця величина залежить в основному від температури обробки. Для окислення на 50 % необхідна температура близько 200°C, на 70 % і більше - температура 250.800°C[1].

Окислення осаду супроводжується виділенням тепла. При вологості осаду близько 96 % виділеного тепла досить для самопідтримки температурного режиму і основна енергія витрачається на подачу стисненого повітря[1].

#### **4.4.3. Сушка вологих матеріалів**

Сушка являє собою процес видалення вологи із твердого або пастоподібного матеріалу шляхом випаровування рідини, яка в ньому міститься за рахунок підведеного до матеріалу тепла. Це термічний процес, що вимагає значних витрат тепла. Процеси термічного видалення тієї частини вологи, яку неможливо видалити механічним шляхом, можуть також знайти застосування при обробці промислових відходів, які необхідно підготувати до транспортування і подальшої переробки, а також при обробці деяких відходів хімічної, харчової та інших галузей промисловості. Сушка здійснюється конвективним, контактним, радіаційним і комбінованими способами[1,2].

Процес сушіння здійснюється за рахунок теплової енергії, що виробляється в генераторі тепла. Генератором тепла можуть служити парові або газові калорифери, топки, що працюють на твердому, рідкому або газоподібному паливі, інфрачервоні випромінювачі та генератори електричного струму[1].

Сушка - процес тепломасообмінний. Видалення вологи із поверхні тісно пов'язане з просуванням її зсередини до поверхні. Сушка відрізняється від випаровування тим, що у першому випадку видалення

вологи відбувається при будь-якій температурі, а в другому - якщо тиск створених парів дорівнює тиску навколишнього середовища. Випаровування відбувається з усієї маси рідини, при сушінні ж волога видаляється з поверхні висушуваного матеріалу. Випаровування - більш інтенсивний процес, ніж сушка, однак не всі матеріали можна піддавати випаровуванню. Так, волога із твердих матеріалів видаляється тільки тепловим сушінням[1].

Конвективне сушіння повітрям або газом є найбільш поширеним. У повітряному сушінні, так само як і в газовому, тепло передається від теплоносія безпосередньо до висушуваної речовини. Для одержання матеріалу необхідної якості особливу увагу потрібно приділяти технологічному режиму сушіння, правильного вибору параметрів теплоносія та режиму процесу (вибір оптимальної температури нагріву матеріалу, його вологості і т. д.). Оптимальний режим сушіння, що впливає на технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом[1].

По мірі видалення вологи із поверхні матеріалу за рахунок різниці концентрації вологи усередині матеріалу і на його поверхні, відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має місце так звана термодифузія, коли рух вологи усередині матеріалу відбувається за рахунок зменшення різниці температур на поверхні та всередині матеріалу. При конвективній сушці обидва процеси мають протилежний напрямок, а при сушінні струмами високої частоти - однаковий[1].

При сушінні деяких матеріалів до низької кінцевої вологості тепло витрачається не тільки на підігрів матеріалу і випаровування вологи з нього, а й і на подолання зв'язку вологи з матеріалом. У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, однак, у хімічній промисловості іноді доводиться видаляти пари органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина буде випаровуватися, закономірності процесу ті ж самі.

#### **4.4.4. Термохімічна обробка твердих відходів**

При утилізації та переробці твердих відходів використовують різні методи термічної обробки вихідних твердих матеріалів та отриманих продуктів: це різні прийоми піролізу, переплаву, випалювання та вогневого знешкодження (спалювання) багатьох видів твердих відходів на органічній основі[21].

Піроліз являє собою процес розкладання органічних сполук під дією високих температур за відсутності або нестачі кисню. Характеризується протіканням реакцій взаємодії і ущільнення залишкових фрагментів вихідних молекул, в результаті чого відбувається розщеплення органічної маси, рекомбінація продуктів розщеплення з отриманням термодинамічно стабільних речовин: твердого залишку, смоли, газу. Застосовуючи термін

"піроліз" до термічного перетворення органічного матеріалу, мають на увазі не тільки його розпад, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно пов'язані і протікають одночасно з тим лише розходженням, що кожна з них переважає в певному інтервалі температури або часу[1,2].

Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічної переробки з газифікуючими агентами, в результаті чого органічна частина або продукти її термічної переробки перетворюються на горючі гази. У якості газифікуючих агентів застосовують повітря, кисень, водяну пару, діоксид вуглецю, а також їх суміші[1,2].

Агломерація полягає в тому, що дрібні зерна шихти нагріваються до температури, при якій відбувається їх розм'якшення і часткове плавлення. При цьому зерна злипаються, подальше швидке охолодження призводить до їх кристалізації і утворення пористого, але досить міцного кускового продукту придатного для металургійної переробці[1].

Обпалювання котунів проводять при обгрудкуванні залізрудних дрібнодисперсних концентратів із розміром частинок менше 100 мкм. Матеріали такої крупності добре обгрудковуються, особливо при введенні в шихту 0,5...2,0% пластичної сполучної домішки - бентоніту (особливого сорту високоякісної глини). З метою отримання офлюсованих котунів у шихту вводять також необхідну кількість вапна[1].