

## Лекція 9. Споруди для сушки осадів

1. Застосування фонтануючого шару.
2. Принцип розрахунку сушарок. Фактори інтенсифікації процесу сушки.
3. Спалення осадів.

1. Термічна сушка осадів дозволяє знезаразити осади, знизити їх масу та об'єм. Її застосування забезпечує можливість ефективного видалення осадів з територій очисних станцій та подальшу їх утилізацію. Після термічної сушки осад представляє собою сипучий матеріал вологістю 5-40% без гельмінтів та патогенних мікроорганізмів.

Термічна сушка осадів виконується на сушильних установах, які складаються із сушильного апарата (сушарки) та допоміжного обладнання, до складу якого належать топки, підігрівачі-теплообмінники, живлювачі, циклони, конвейери та бункери.

Серед багатьох способів сушки перевага надається конвективному способу, при якому необхідна для випарення тепла енергія передається осаді теплоносієм-сушильним агентом. Незалежно від виду сушильного агента усі сушарки конвективного типу можна розділити на дві великі групи:

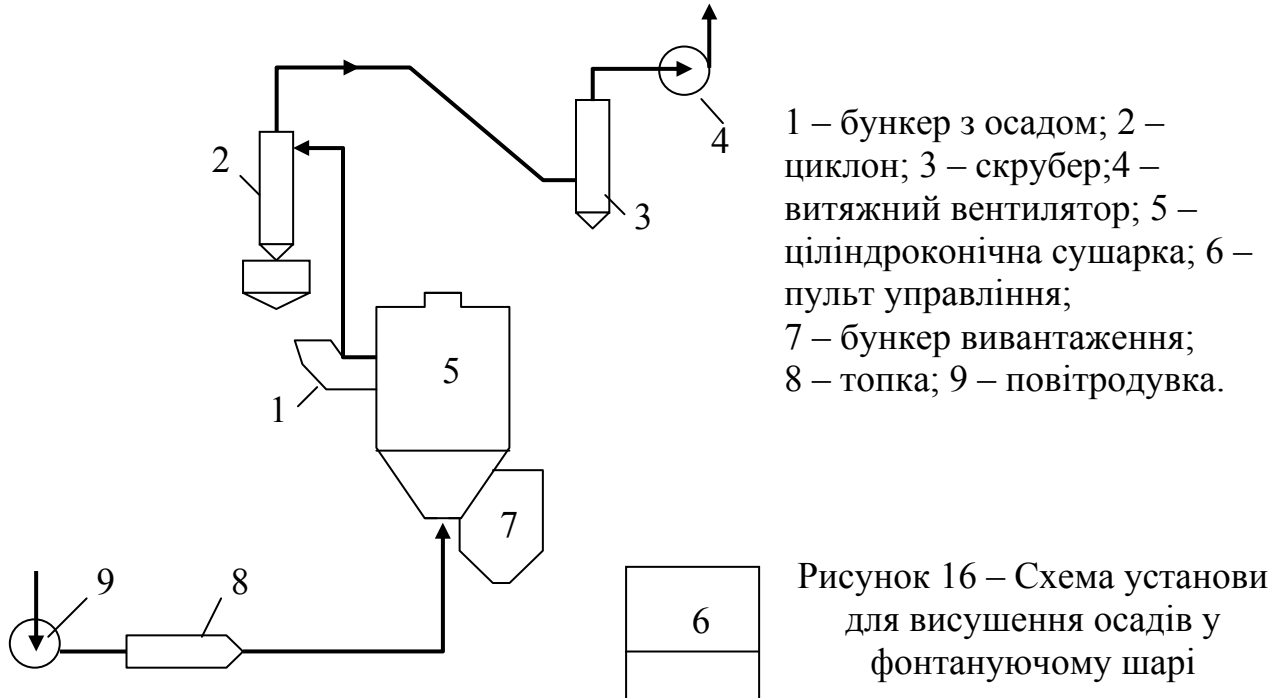
1) в яких під час продувки сушильного агента через шар матеріала частини останнього залишаються нерухомими;

2) в яких частини матеріала переміщуються та перемішуються потоком сушильного агента.

До першої групи належать сушарки з фільтруючим шаром (барабанні, стрічкові та інші), до другої- сушарки із зваженим шаром (киплячим та фонтануючим), а також пневмосушарки.

Якщо через нерухомий шар осаді пропускати знизу уверх потік гарячого газу, при визначеному значенні швидкості весь шар осаді перейде до завислого стану. Такий шар нагадує рідину, що кипить, тому називається **псевдозжиженням**. Характеристики псевдосжиженого шару: значна турбулентність, інтенсивний масо- та теплообмін між газом та частинами осаді. Інтенсивне переміщення сприяє вирівнюванню температур у всьому об'ємі. Фонтануючий шар можна застосовувати при будь-якому процесі створення надійного контакту газу і частин. Умови для якісного висушення

матеріалу слідує: інтенсивне перемішування; велика площа поверхні випарення; максимально можливе підвищення температури сушки; правильний вибір швидкості руху газового потоку. Схема установи для висушення осаду показана на рис. .



Метод сушки в зустрічних струях газового потоку є одним із найбільш ефективних серед можливих методів сушки матеріалів у зваженому стані. Сутність цього методу полягає в тому, що частинки матеріалу, знаходячись у завислому стані в гарячому газовому потоці, рухаються назустріч одна одній і в результаті ударної зустрічі потоків вступають у коливальний рух, проникаючи із одного потоку в інший. Наслідком цього являється збільшення дійсної концентрації матеріалів в зоні сушки. При достатньо високих швидкостях сушильного агента матеріал подрібнюється, сумарна площа поверхні масо- і теплообміну збільшується.

Ефективний (розрахунковий) коефіцієнт теплообміну в зустрічних потоках є прямо пропорційним квадрату швидкості газового потоку. Внаслідок цього швидкість практично обмежена тільки умовами подрібнення частинок матеріалу та зношенням стінок сушильної камери.

До загальних переваг використання сушарок можна віднести слідує фактори: повне використання об'єму; можливість регуляції тривалості перебування осаду, інтенсивність теплообміну.

2. Для проектування установи для сушки осаду треба знати зовнішній вигляд осаду – в шматках, або у вигляді суспензії, початкову та кінцеву вологість, температуру газу, продуктивність сушарки за вологою, тривалість висушення осаду.

Нижче приведені параметри розрахунку матеріального балансу сушарки.

### Розрахунок матеріального балансу

#### Надходження

Маса вологого осаду,  $G_1$

Сухе повітря,  $L$

Волога з повітря,  $LX_0$

$X_0$  - вологість повітря, що надходить,

$X_2$  - вологість виробленого повітря.

#### Витрата

Маса висушеного осаду,  $G_2$

Сухе повітря,  $L$

Волога з повітря,  $LX_2$

Рівняння матеріального балансу сушарки:

$$G_1 + L + LX_0 = G_2 + L + LX_2$$

Кількість випареної вологи  $W_6$ :

$$W_6 = G_1 - G_2 = L (X_2 - X_0)$$

Витрата абсолютно висушеного повітря:

$$L = W_6 / (X_2 - X_0)$$

Вологість виробленого повітря:

$$X_2 = (LX_0 + W_6) / L$$

Під час сушки кількість абсолютно сухого осаду не змінюється:

$$G_1 (100 - W_1) / 100 = G_2 (100 - W_2) / 100 ,$$

Де  $W_1, W_2$ - вологість осаду відповідно до та після сушки, %.

Кількість висушеного осаду:

$$G_2 = G_1 (100 - W_1) / (100 - W_2)$$

Кількість вологи, що випарюється під час сушки:

$$W_6 = G_1 (W_1 - W_2) / (100 - W_2)$$

Кількість пилу  $P$ :

$$P = 0,1 G_2$$

Питома витрата тепла  $q_m$ , кДж/кг:

$$q_m = (\theta_2 - \theta_1) G_2 C_2 / W_e$$

де  $\theta_1, \theta_2$  – температура осаду, що надходить до сушки та вивантажується, °С,

$C_2$  - теплоємність осаду, кДж/кг×т.

Процес сушки гранульованого осаду можна уявити у вигляді двох явищ: переміщення вологи із внутрішньої порожнини гранули до її поверхні та видалення вологи з поверхні гранули в навколишнє середовище.

Під час першого періоду сушки, коли поверхня осаду насичена вологою, швидкість переміщення вологи з глибинних шарів не впливає на швидкість сушки. Отже, швидкість сушки залежить від інтенсивності випарення вологи з поверхні осаду  $Q$ :

$$Q = \alpha F (T_e - T_o)$$

де  $[T_e - T_o]$  – температурний напір (різниця температур теплоносія  $T_e$  та осаду  $T_o$ ),

$\alpha$  - коефіцієнт, що залежить від умов обтікання частинок осаду теплоносієм.

Під час другого періоду сушки швидкість сушки знижуються та різко підвищується температура осаду внаслідок поглиблення зони випарення. Інтенсивність процесу сушки обмежується швидкістю переміщення вологи із внутрішніх шарів до поверхні гранул осадів.

До загальних факторів інтенсифікації процесу сушки осадів можна віднести наступні:

- застосування теплоносіїв з більш високою температурою (температурний напір);
- подріблення осадів – формування гранул оптимальних розмірів;
- підвищення температури газу, що надходить;
- застосування речовин, що розрихляють структуру випарюваної вологи;
- повторне використання тепла виробленого газу;
- теплоізоляція.

3. Спалення – це процес окислення органічної частини осадів при підвищеній температурі до утворення нетоксичних газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ), та видалення мінеральної частини у вигляді розплаву або сухого порошку

(попіл) Осади міських стічних вод доцільно спалювати у тих випадках, коли вони не можуть бути утилізовані як добрива.

Спалення зневоднених осадів завжди випереджає ендометричний процес їх теплової підготовки: прогрів матеріала, випарення вологи, видалення летких речовин. Витрати теплоти на цей процес достатньо великі і в деяких випадках можуть перевищувати кількість теплоти, що видалається при спаленні осадів.

Для спалення осадів за кордоном застосовують в основному багатоподові печі та печі з киплячим шаром інертного носія, а також барабанні печі, камерні топки.

Барабанна піч (рис. ) являє собою сталевий циліндр, футерований вогнетривними матеріалами. Барабан обертається з частотою  $0,8-2 \text{ хв}^{-1}$ . Схильність зневоднених осадів до утворення клейких кульок викликає значне недовипалення органічних речовин, тому на виході з печі встановлена камера довипалення, яка одночасно є камерою для осаджування попелу. Футеровка печі при обертанні знаходиться в умовах постійних змін температури, що викликає утворення розколин. Крім того, для зменшення маси барабану футеровку печі виконують невеликої товщини, тому втрати тепла в зовнішнє середовище є значними, для їх поповнення необхідно додаткове паливо.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Який спосіб сушки застосовують найчастіше і чому?
2. В чому полягає принцип дії сушарок з псевдозжиженим шаром?
3. З яких елементів складається установка для висушення осадів?
4. Які параметри визначають при розрахунку матеріального балансу сушарки?
5. Які осади підлягають спаленню?