The background features a large, semi-transparent blue wireframe gear on the left and two solid yellow gears on the right, set against a dark blue gradient background. The main title is centered in a bold, magenta font.

# **Процеси і апарати хімічних виробництв**

**Лекція 6**

# Тема . Теплові процеси

## Теплопередача

### *Загальна характеристика теплових процесів*

В теплових процесах беруть участь не менш як два середовища з різними температурами. Середовище з більш високою температурою, яке віддає при теплообміні тепло, називається теплоносієм, середовище з більш низькою температурою – холодильним агентом (холодоагентом).

Основною характеристикою будь-якого теплового процесу є кількість теплоти, що передається; від цієї величини залежать розміри теплообмінної апаратури. Основним розміром є поверхня теплообміну. Зв'язок між кількістю тепла, що передається в апараті, і поверхнею теплообміну  $F$  визначається основним кінетичним рівнянням.

Основними способами розповсюдження тепла є теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання.

*Теплопровідністю* називається процес розповсюдження тепла між частинками тіла, які знаходяться у безпосередньому контакті. Спостерігається в твердих тілах і в тонких шарах рідин або газів.

*Конвекція* – процес перенесення тепла внаслідок руху й перемішування макроскопічних об'ємів газів або рідин.

*Теплове випромінювання* – процес розповсюдження тепла у вигляді електромагнітних коливань.

На практиці, як правило, доводиться мати справу зі складним теплообміном.

## ***Конвективний теплообмін (тепловіддача)***

Під конвективним теплообміном розуміють процес розповсюдження тепла у рідині (газі) від поверхні твердого тіла або до його поверхні одночасно конвекцією і теплопровідністю. Конвективний теплообмін інакше називається тепловіддачею зіткненням або просто тепловіддачею.

Тепло розповсюджується від поверхні твердого тіла до рідини крізь граничний шар за рахунок теплопровідності, а від граничного шару в масу рідини - переважно конвекцією. На тепловіддачу суттєво впливає характер руху рідини. Вільний рух рідини, або вільна конвекція, виникає внаслідок різниці густин нагрітих і холодних частинок рідини. Примусовий рух виникає під дією насоса або вентилятору і визначається фізичними властивостями рідини, швидкістю її руху, формою й розмірами каналу. При турбулентному русі теплообмін протікає більш інтенсивно, ніж при ламінарному.

## ***Основний закон тепловіддачі***

Основний закон тепловіддачі – закон Ньютона:

Кількість тепла  $dQ$ , що передається від поверхні теплообміну до оточуючого середовища, прямопропорційна поверхні теплообміну  $dF$ , різниці температур поверхні  $t_w$  і оточуючого середовища  $t_f$  та часу  $d\tau$ . Основною задачею при розрахунках процесу тепловіддачі є визначення  $\alpha$ . Це досить складна задача, оскільки  $\alpha$  залежить від багатьох чинників – режиму і швидкості руху рідини, її фізичних параметрів, форми й розмірів поверхні теплообміну і т. ін.

## ***Диференціальне рівняння конвективного перенесення тепла***

За рахунок теплопровідності відбувається зміна температури нерухомого елемента [дивись **(7.6)** – **(7.7)**].

При конвективному теплообміні температура елемента змінюється як у часі, так і у просторі. У таких випадках зміну величини виражають за допомогою субстаціональної похідної. Позначивши проекції вектору швидкості на відповідні осі  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ , запишемо рівняння для субстаціональної похідної:

величини виражають за допомогою субстаціональної похідної. Позначивши проєкції вектору швидкості на відповідні осі  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ , запишемо рівняння для субстаціональної похідної:

⊕

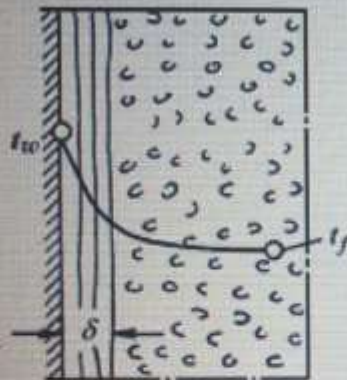


Рис. 31. Будова шару рідини, що примикає до поверхні стінки.

$$\frac{Dt}{\partial \tau} = \underbrace{\frac{\partial t}{\partial \tau}}_I + \underbrace{\left( \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z \right)}_II \quad (7.23)$$

I – локальна зміна температури; II – конвективна зміна температури.

Якщо в рівнянні теплопровідності (7.6) замінити <sup>I</sup> локальну зміну температури на повну, то отримуємо диференціальне рівняння конвективного перенесення тепла Фур'є-Кірхгофа:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (7.24)$$

(7.24) – математичне описання процесу розповсюдження тепла в



## *Тепловіддача при зміні агрегатного стану*

В процесі теплообміну може відбуватись випаровування, конденсація, плавлення, кристалізація та ін. Особливості таких процесів теплообміну полягають у тому, що тепло підводиться до матеріалів або відводиться від них при постійній температурі й розповсюджується не в одній, а у двох фазах. Ці особливості враховуються введенням в критеріальне рівняння додаткового критерію, який враховує теплоту зміни агрегатного стану  $K$ .

Розглянемо *процес теплообміну при конденсації пари*.  $dF$  – елементарна площадка на поверхні розділу Р-П; лінійна швидкість рідини, яка утворюється при конденсації, -  $\omega$ ; теплота пароутворення –  $r$ .

## *Теплопередача*

В теплових процесах здійснюється теплопередача від одного теплоносія до іншого, причому, теплоносії розділені перегородкою.

Коефіцієнт теплопередачі в рівнянні або є сумарним; він враховує перехід тепла від ядра першого потоку до стінки (тепловіддача), через стінку (теплопровідність) і від стінки до ядра другого потоку (тепловіддача). При сталому процесі кількість тепла, що передається в одиницю часу через площадку  $F$  від ядра першого потоку, дорівнює кількості тепла, яке передається через стінку і від стінки до ядра другого теплоносія.

## *Нагрівання водяною парою*

Використовують насичену водяну пару з тиском 10 – 12 ат. При цьому можна досягти температури нагрівання 180<sup>0</sup>С. При нагріванні пара конденсується, виділяючи тепло, яке дорівнює теплоті випаровування рідини.

Переваги цього теплоносія:

Велика кількість тепла, що виділяється при конденсації ( $\approx 2000$  кДж на 1 кг пари).

Високий коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки ( $\alpha = 20000 - 40000$  кДж/м<sup>2</sup>год.К).

Рівномірність нагріву, оскільки конденсація пари здійснюється при постійній температурі.

Нагрівання можна проводити “гострою” і “глухою” парою.

“Гострою” називають пару, яка поступає в рідину, що нагрівається, через отвори в трубі або стінці судини (барботер) і барботує крізь товщу рідини.

## *Нагрівання топковими, або димовими, газами*

При використанні топкових газів можна досягти температури 180 – 1000<sup>0</sup>С. Димовий газ утворюється при спаленні твердого, рідкого або газоподібного палива в топках або печах різних конструкцій.

Особливості процесу: значний перепад температур між теплоносіями і невеликі коефіцієнти тепловіддачі від димових газів до стінок апаратів (60-120 кДж/м<sup>2</sup>год.К); перегрівання матеріалів внаслідок нерівномірного обігріву призводить до їх окислення; процес пов'язаний з пожежною небезпекою.

При нагрівання до 420<sup>0</sup>С для виготовлення апаратури використовують звичайні вуглецеві сталі, до 420-520 – леговані сталі, до 520-1000 – спеціальні жаротривкі сталі.

Нагрівання топковими газами здійснюється в трубчастих печах, в печах для реакційних котлів або в автоклавах.

Нагрівання топковими газами здійснюється в трубчастих печах, в печах для реакційних котлів або в автоклавах.

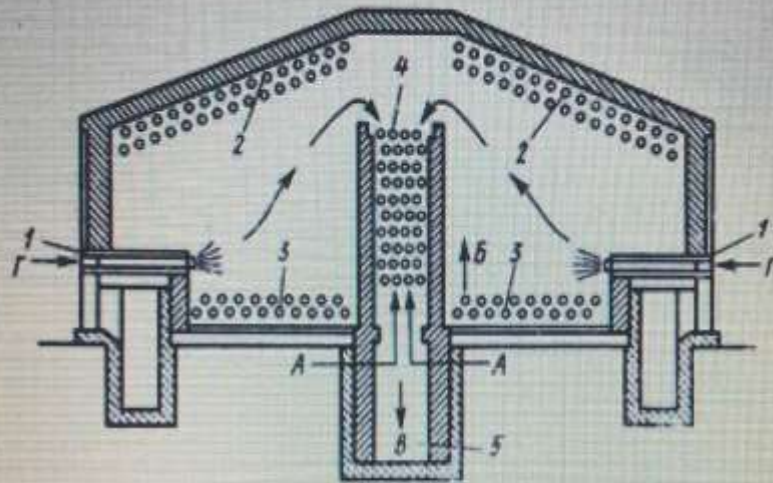


Рис. 33. Схема двокамерної печі з нахиленим склепінням:

Г - форсунка для палива; 2 - стельові екрани (радіантні труби); 3 - подові екрани; 4 - конвекційна камера; 5 - димар. А - вхід сировини; Б - продукт на вихід; В - вихід топкових газів; Г - паливо.

## *Нагрівання електричним струмом*

Для цього використовують електричні печі, які бувають печі опору, індукційні та дугові.

*Печі опору* підрозділяють на печі прямої дії і печі непрямої дії. В печах прямої дії нагрівальний елемент включається безпосередньо в електричний ланцюг. В печах непрямої дії тепло виділяється при проходженні струму по спеціальним нагрівальним елементам. Тепло передається променевипромінюванням, теплопровідністю і конвекцією. Нагрівати можна до 1000-1200<sup>0</sup>C. Нагрівальними елементами є дріт або стрічка, виготовлені з ніхрому (20% Cr, 30-80% Ni і 0,5-50% Fe) або хром-залізо-алюмінієвих сплавів.

При проектуванні електропечей розраховують кількість тепла, яке необхідне для нагріву речовини і потужність нагрівального електричного пристрою.

В *індукційних печах* нагрівання здійснюється індукційними струмами. Апарат, який обігривається, є сердечником соленоїда, який охоплює апарат. По соленоїду пропускають перемінний електричний струм, при цьому навколо соленоїда утворюється магнітне поле, котре викликає в стінках апарату ЕРС. Під дією вторинного струму, що виникає, стінки апарату нагріваються. Соленоїд виготовляється з мідного або алюмінієвого дроту.

В *дугових печах* відбувається нагрівання електричною дугою до температур 1300-1500<sup>0</sup>С. Використовуються для плавлення металів, отримання карбіду кальцію, фосфору.

## ***Охолодження до звичайних температур***

Для цього використовують такі холодоагенти, як вода і повітря. Охолодження ведеться в теплообмінниках різних типів, які розглядають далі. Крім конструктивних розмірів теплообмінників, розраховують витрату води  $W$  (повітря  $L$ ) на охолодження з рівняння теплового балансу.

Існують два типи конденсації:

1) ***Поверхнева*** (просто конденсація) – пари, що конденсуються, і охолоджуючий агент поділені стінкою, і конденсація парів відбувається на внутрішній або зовнішній поверхні холодної стінки.

2) ***Конденсація змішуванням*** – пари, які конденсуються, безпосередньо стикаються з охолоджуючим агентом. Як *поверхневі конденсатори* використовуються теплообмінники різних типів. В *конденсаторах змішування* відбувається безпосередній контакт пари з охолоджуючим агентом (водою). При розрахунках конденсаторів визначають необхідну кількість охолоджуючої води з рівняння теплового балансу. Крім витрати води розраховують висоту барометричної труби для відведення води й конденсату, а також кількість повітря, яке відсмоктується з конденсатору.



**Дякую за увагу!**

