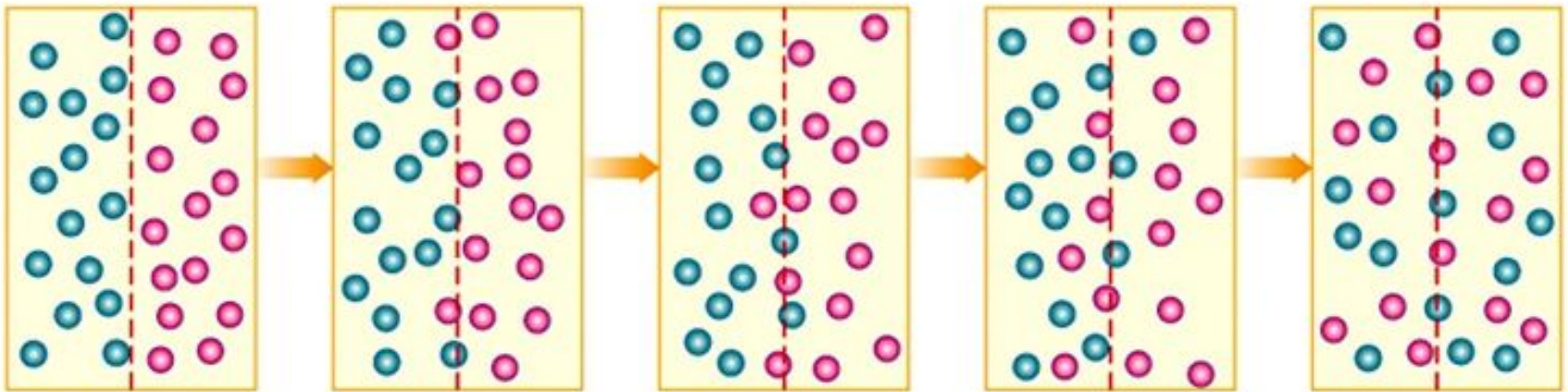


ОСНОВИ МАСООБМІНУ

Процеси **масообміну** характеризують **перехід одного або декількох компонентів із однієї фази в іншу**. Саме тому такі процеси називають **дифузійними**

Процес переходу відбувається через **рухому або фіксовану поверхню розділу фаз**



ПРОЦЕСИ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ З РУХОМОЮ ПОВЕРХНЕЮ КОНТАКТУ ФАЗ:

Абсорбція – процес поглинання рідкою фазою одного або декількох компонентів із газової фази. Зворотній процес виділення газу із рідини – десорбція.

Екстракція (в системі рідина – рідина) – селективне поглинання речовини розчинної в рідині іншою рідиною, яка практично не змішується або частково змішується з першою. При цьому цільовий компонент переходить із однієї рідкої фази в іншу.

Ректифікація – розділення гомогенних рідинних сумішей шляхом багаторазового взаємного обміну компонентами рідкою і паровою фазами, що рухаються в основному протитоком.

ПРОЦЕСИ МАСОПЕРЕНОСЕННЯ З ФІКСОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ КОНТАКТУ ФАЗ:

Адсорбція – поглинання компоненту газу, пари або розчину твердим поглиначем. Процес характеризується переходом речовини із газу чи розчину в тверду фазу. Зворотній процес – десорбція і використовується для регенерації речовини, що поглинулася.

Різновидністю адсорбції є іонний обмін – процес розділення, оснований на здатності деяких твердих матеріалів обмінювати свої рухомі іони на іони розчину.

Сушіння – процес виділення вологи із твердих матеріалів, головним чином, її випаровуванням. При цьому волога переходить із твердої фази в газову.

Кристалізація – виділення твердої фази у вигляді кристалів із розчинів або розплавів. Кристалізація характеризується переходом речовини із рідкої фази в тверду внаслідок зміни її розчинності.

Розчинення і екстракція (в системі тверде тіло – рідина). Розчинення характеризується переходом твердої фази в рідку і представляє собою процес обернений до кристалізації.

Селективне розчинення того чи іншого компоненту із твердого пористого матеріалу називається екстракцією із твердого тіла або вилуговуванням.

Мембранні процеси – процеси селективного переходу речовин крізь напівпроникну мембрану

Масопередача, подібно до теплопередачі, представляє собою складний процес, який включає в себе:

- 1)перенесення маси речовини в межах однієї фази,
- 2)перенесення через поверхню розділу фаз
- 3)перенесення в межах іншої фази.

Перенесення речовини із фази до границі розділу фаз або в зворотному напрямку називається **масовіддачею**

ПРАВИЛО ФАЗ

Знання рівноваги в процесах масопередачі дозволяє встановити границі, до яких можуть протікати ці процеси.

В основі рівноваги лежить відоме правило фаз $\Phi + C = K + 2$

де Φ – число фаз;

K – число компонентів;

C – число степеней свободи або число незалежних змінних, значення яких можна змінювати без порушення числа і виду фаз в системі.

Правило фаз показує число параметрів, які можна змінювати довільно в процесах масообміну.

Розрізняють процеси масопередачі по двом групам:

$$C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$$

процеси масопередачі, в яких приймає участь мінімально три компонента і третя речовина (компонент) розподіляється між двома першими фазами.

Перші дві фази речовини - це лише фази-носії, між якими розпроділена третя речовина (абсорбція, екстракція, процеси з твердою фазою).

$$C = K + 2 - \Phi = 2 + 2 - 2 = 2$$

процеси масопередачі (ректифікація, перегонка), в яких речовини, що складають дві фази обмінюються між собою компонентами, самі безпосередньо беруть участь в процесі масопередачі і не можуть розглядатися як інертні носії.

Речовина, що дифундує на границі фази, переміщається із точки з більшою концентрацією до точки з меншою концентрацією, прагнучи при цьому до рівноваги.

Тому, в розрахунках, **рушійну силу** процесу масопередачі виражають через **різницю концентрацій робочих і рівноважних (або навпаки)**.

Методи вираження складу фаз. Зазвичай кількісний склад фаз виражають через:

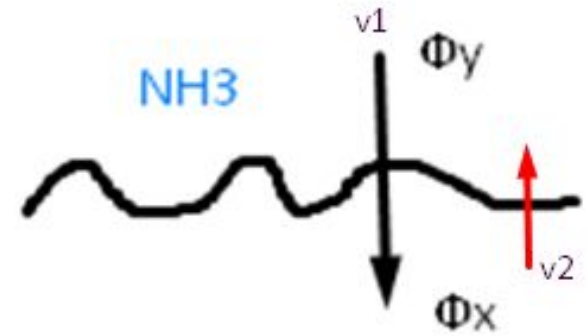
1. Об'ємну концентрацію – число кілограмів або молей, що приходить на одиницю об'єму фази (\bar{C}_x, \bar{C}_y кг/м³; C_x, C_y кмоль/м³).

2. Вагові або мольні долі – відношення кількості кілограмів або кіломолей даного компонента до маси всієї фази, вираженої загальним числом \bar{x}, \bar{y} кілограмів або x, y кіломолей.

3. Відносні концентрації – відношення кількості кілограмів даного компонента, що є розподілюючою речовиною до числа кілограмів компонента-носія, кількість якого є величиною постійною в процесі масопередачі. (\bar{X}, \bar{Y} кг/кг; X, Y кмоль/кмоль).

РІВНОВАЖНИЙ СТАН

В якості прикладу розглянемо процес масопередачі, за якої аміак є розподілюючим компонентом і поглинається із його суміші з повітря чистою водою і при відхиленні від стану рівноваги переходить:



із газової фази Φ_y (аміак + повітря) де його концентрація y^* в рідку фазу Φ_x (чиста вода), де його початкова концентрація $X = \hat{y}^* = f(x)$

На початку процесу швидкість прямого перенесення (v_1) максимальна. Проте, в перші секунди починає зростати швидкість зворотнього процесу (v_2).

В певний час система зрівноважиться ($\hat{x}^* = f_1(y)$)

Отже, рівноважний стан:

певній робочій концентрації розподільчої речовини (NH_3) в рідкій фазі (X) відповідає

рівноважна концентрація тої самої розподільчої речовини (NH_3) в газовій фазі (y^*)

Відношення концентрацій фаз при рівновазі називається коефіцієнтом розподілення.

$$m = \frac{\bar{y}^*}{\bar{x}}$$

наприклад:

абсорбція $C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$

наприклад:

ректифікація $C = K + 2 - \Phi + 2 + 2 = 2 = 2$

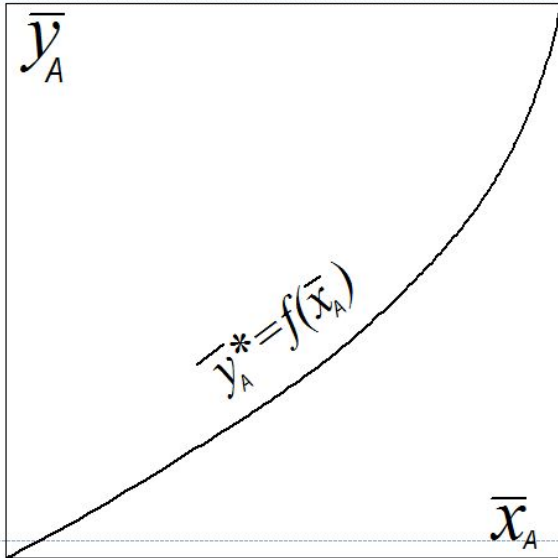


Рис. 1.1. Діаграма рівноваги.
При $P = \text{const}$; $t = \text{const}$, $C = 3$

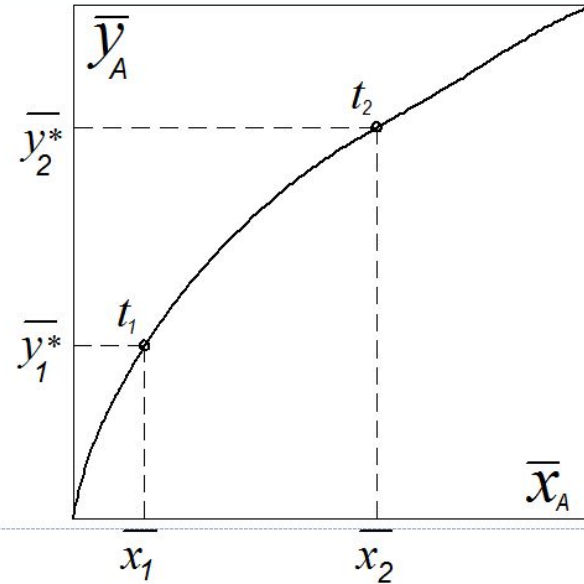
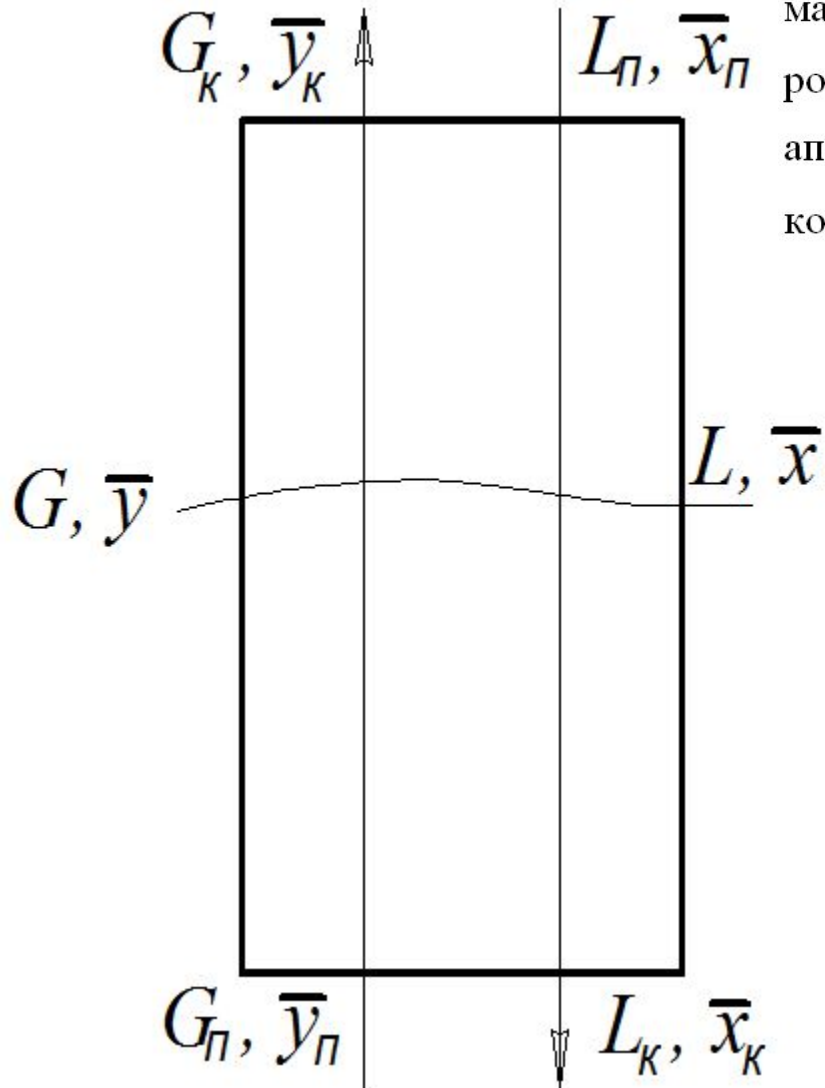


Рис. 1.2. Діаграма рівноваги. При $P = \text{const}$, $C = 2$



Зверху в апарат поступає L кг/с рідкої фази, яка має початкову масову концентрацію (мас. доля) розподільчого компоненту \bar{x}_n і кінцеву \bar{x}_k . Знизу в апарат поступає G кг/с газоподібної фази з масовими концентраціями розподільчого компоненту \bar{y}_n і \bar{y}_k .

$$G_n \cdot \bar{y}_n + L_n \cdot \bar{x}_n = G_k \cdot \bar{y}_k + L_k \cdot \bar{x}_k$$

$$M = G \cdot (\bar{y}_n - \bar{y}_k) = L \cdot (\bar{x}_k - \bar{x}_n)$$

M – кількість розподільчої речовини, кг/с

$$G_n \cdot \bar{y}_n + L \cdot \bar{x} = G \cdot \bar{y} + L_k \cdot \bar{x}_k$$

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \cdot \bar{x} + \frac{G_n \cdot \bar{y}_n - L_k \cdot \bar{x}_k}{G}$$

Ця залежність визначає рівняння робочої лінії, що виражає зв'язок між робочими концентраціями розподільчого компоненту по фазах для довільного січення апарату

МОЛЕКУЛЯРНА ДИФУЗІЯ ПЕРШИЙ ЗАКОН ФІКА

$$dM = -D \cdot dF \cdot d\tau \cdot \frac{dC}{dn}$$

де dM – кількість розподільчої речовини, кг;

$\frac{dC}{dn}$ – градієнт концентрації;

D – коефіцієнт молекулярної диффузії.

Знак мінус показує, що при молекулярній диффузії концентрація зменшується в напрямку переміщення речовини

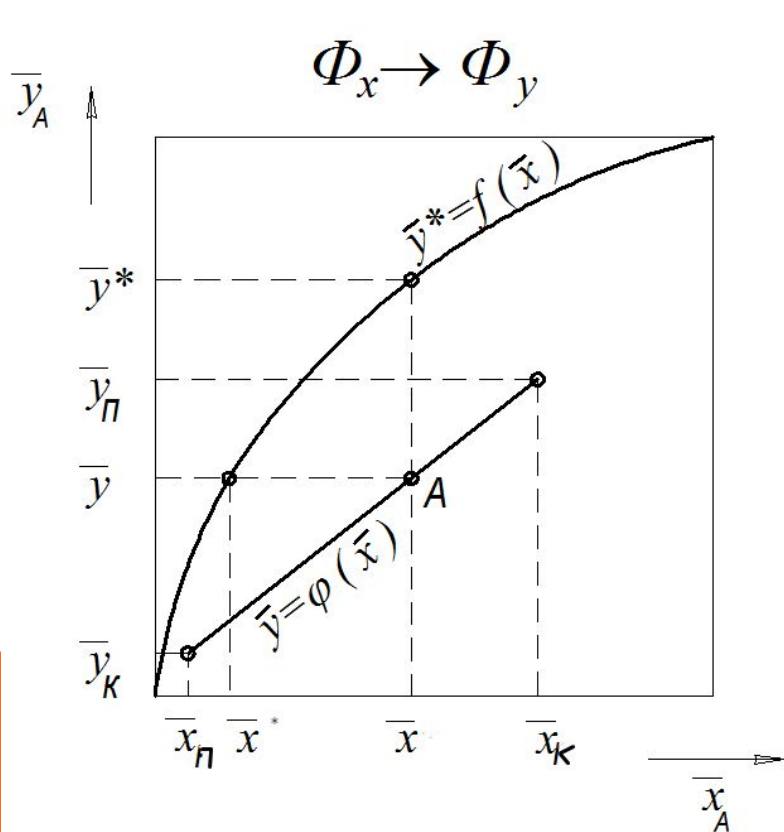
$$[D] = \left[\frac{M \cdot dn}{dc \cdot F\tau} \right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коефіцієнт молекулярної дифузії

- Коефіцієнт молекулярної дифузії D залежить від природи речовини, яка дифундує, не пов'язаний з динамікою процесу та характеризує властивість рідини проникати в будь яке середовище.
- Коефіцієнт дифузії залежить від агрегатного стану системи, температури та тиску.
- Показує, яка кількість речовини дифундує через поверхню 1 м^2 протягом 1 с при різниці концентрації на відстані 1 м , що дорівнює одиниці.
- Значення D знаходять по довідникам:
- Приблизно $D_{\text{газу}}=0,1-1\text{ см}^2/\text{с}$
 $D_{\text{рід}}=0,01\text{ см}^2/\text{с}$

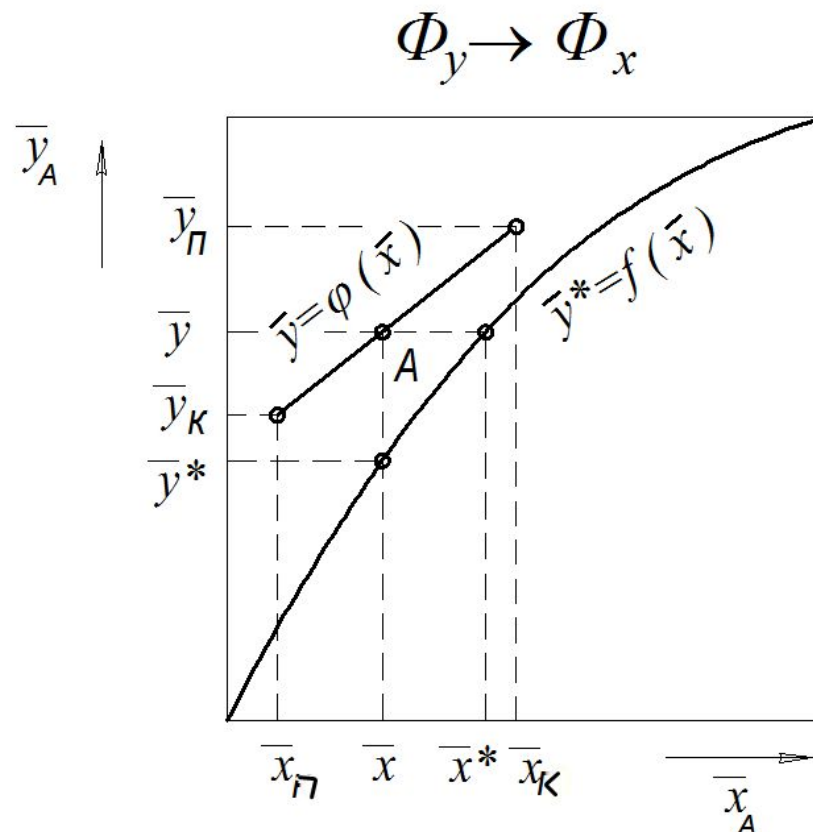
НАПРЯМ МАСОПЕРЕДАЧІ

Розподіляюча речовина завжди переходить із фази, де її концентрація вище рівноважної у фазу, в якій концентрація нижче рівноважної.



$\bar{y} < \bar{y}^*$ $\bar{x} > \bar{x}^*$

ректифікаці



$\bar{y} > \bar{y}^*$ $\bar{x} < \bar{x}^*$

абсорбція,

ТУРБУЛЕНТНА ДИФУЗІЯ

$$dM_T = -E_g \cdot dF \cdot d\tau \cdot \frac{dC}{dn} \quad E_g = [\text{м}^2/\text{с}]$$

На відміну від D , коефіцієнт турбулентної дифузії E_g не є фізичною константою і залежить від гідродинамічних умов, які визначаються в основному швидкістю потоку і масштабом турбулентності.

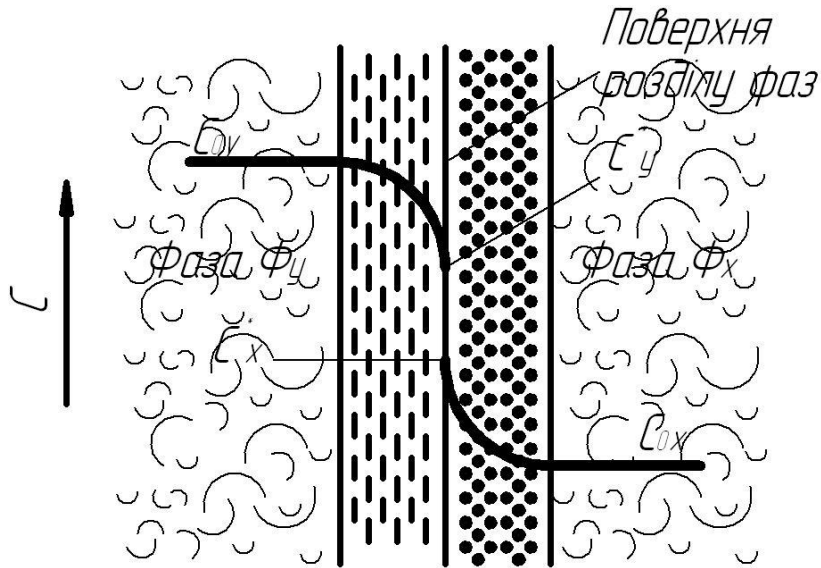
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНЕ РІВНЯННЯ МАСООБМІНУ В РУХОМОМУ СЕРЕДОВИЩІ. ДРУГИЙ ЗАКОН ФІКА

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial C}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial C}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

Диференціальне рівняння молекулярної
дифузії

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

МЕХАНІЗМ ПРОЦЕСУ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ



У ядрі потоку речовина переноситься в основному турбулентними пульсаціями і концентрація речовини постійна.

В пограничному шарі проходить поступове затухання турбулентності. Концентрація по ядрі приближена до поверхні розділу фаз.

Безпосередньо біля поверхні розділу процес дуже сповільнюється і вже визначається швидкістю молекулярної дифузії

Таким чином при турбулентному русі в ядрі потоку перенесення речовини до границі розділу фаз (або в протилежному напрямку) відбувається шляхом турбулентної дифузії.

В пограничному шарі швидкість перенесення лімітується швидкістю молекулярної дифузії. **Для інтенсифікації масоперенесення необхідно зменшити товщину пограничного шару, збільшуючи ступінь турбулентності.**

РІВНЯННЯ МАСОВІДДАЧІ

Фаза Φ_y

$$M = \beta_y F (\bar{y} - \bar{y}_{zp})$$

Фаза Φ_x

$$M = \beta_x F (\bar{x}_{zp} - \bar{x})$$

$\bar{y} - \bar{y}_{zp}$ та $\bar{x} - \bar{x}_{zp}$ - рушійна сила процесу масовіддачі відповідно в фазі Φ_y та в фазі Φ_x ;

\bar{y} та \bar{x} - середні концентрації в основній масі (ядрі) кожної з фаз;

\bar{y}_{zp} та \bar{x}_{zp} - концентрації у границі відповідної фази.

β_y - коефіцієнт масовіддачі з ядра потоку фази «у» до границі розділу фаз

β_x - коефіцієнт масовіддачі від границі розділу фаз у фазу «х»

Коефіцієнт масовіддачі не є фізичною константою, а представляє собою кінетичну характеристику, що залежить від фізичних властивостей фази (густини, в'язкості та ін.), гідродинамічних умов в ній (режиму руху), а також від геометричних факторів (конструкцій та розмірів масообмінних апаратів).

ПОДІБНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ МАСИ

Подібність граничних умов можна встановити, допускаючи, що на границі розділу фаз перенесення маси здійснюється як шляхом масовіддачі, так і молекулярною дифузією.

$$M = \beta_{sp} F (\bar{y} - \bar{y}^*) \qquad M = -D \cdot F \cdot \frac{dy}{dn}$$

$$\beta_{sp} \cdot (\bar{y} - \bar{y}^*) = -D \cdot \frac{dy}{dn}$$

Враховуючи, що для подібних процесів відношення подібних величин дорівнює відношенню величин їм пропорційних, заміняємо dy на Δy та dn - деяким характерним лінійним розміром l .

Згідно теорії подібного перетворення рівнянь, ділимо ліву частину рівняння на праву, скорочуємо подібні члени та нехтуємо знаком «мінус». В результаті отримаємо для подібних систем:

$$\frac{\beta_y \cdot l}{D} = idem$$

Такий комплекс носить назву *дифузійний критерій Нуссельта* (Nu')

$$Nu' = \frac{\beta \cdot l}{D}$$

дифузійний критерій Нусельта (або критерій Шервуда Sh) виражає відношення інтенсивності перенесення в ядрі фази до інтенсивності перенесення в дифузійному пограничному підшарі, де вона визначається молекулярною дифузією.

З другого закону

Фіка:

$\frac{\partial c}{\partial \tau}$ виражає зміну концентрації в часі, тобто нестановлений характер процесу,

$\omega_y \cdot \frac{\partial c}{\partial z}$ характеризує розподілення концентрацій, що обумовлено конвективним перенесенням,

$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$ - розподілення концентрацій за рахунок молекулярної дифузії.

Отже
е

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} \sim \frac{c}{\tau}$$

$$\omega_y \cdot \frac{\partial c}{\partial z} \sim \omega \cdot \frac{c}{l}$$

$$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \sim D \frac{c}{l^2}$$

$$Fo' = \frac{\tau \cdot D}{l^2}$$

Рівність критерієв Фур'є дифузійних в подібних точках подібних систем – необхідна умова подібності невстановлених процесів масовіддачі.

$$Pe' = \frac{\omega \cdot l}{D}$$

Критерій Пекле дифузійний є мірою співвідношення маси речовини, що переміщується шляхом конвективного перенесення та молекулярної дифузії, в подібних точках подібних систем.

$$Pr' = \frac{Pe'}{Re} = \frac{\omega \cdot l / D}{\omega \cdot l / \nu} = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho D}$$

В критерій Прандтля (критерій Шмідта Sc) входять тільки величини, що відображають фізичні властивості потоку. Таким чином, цей критерій виражає постійність відношення фізичних властивостей рідини (газу) в подібних точках подібних процесів.

Величина β є функцією багатьох змінних, що значно ускладнює розрахунок або дослідне визначення коефіцієнтів масовіддачі. Величинами останніх враховується як молекулярне так і конвективне перенесення речовини в фазі.

За своїм змістом коефіцієнт масовіддачі є аналогом коефіцієнту тепловіддачі в процесах перенесення тепла, а основне рівняння масовіддачі ідентичне за структурою основному рівнянню тепловіддачі.

Тому, врахуємо коефіцієнти гідродинамічної подібності:

$$Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} = idem$$

$$Fr = \frac{\omega^2}{g \cdot l} = idem$$

Та похідний від Критерія Фруда:

$$Ga = Re^2 / Fr = gl^3 / \nu^2$$

$$\frac{\beta \cdot l}{D} = A \cdot \left(\frac{\omega \cdot l \cdot \rho}{\mu} \right)^m \cdot \left(\frac{\mu}{\rho \cdot D} \right)^n \cdot \left(\frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \right)^o \cdot \left(\frac{l_1}{l_0} \right)^p \cdot \left(\frac{l_2}{l_0} \right)^q \quad \boxtimes$$

$$Nu' = f \left(Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \boxtimes \right)$$

Розрахункові залежності є критеріальними рівняннями масовіддачі. Числові значення коефіцієнтів A, m, n, o, p, q , знаходять узагальненням дослідних даних.

ОСНОВНІ РІВНЯННЯ

МАСОПЕРЕДАЧІ

$$M = K_y F (y - y^*)$$

$$M = K_x F (x^* - x)$$

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta y_{сер}$$

$$M = K_x \cdot F \cdot \Delta x_{сер}$$

За допомогою рівнянь знаходять поверхню контакту фаз **F** та по її значенню розраховують основні розміри апарату.

Для визначення **F** необхідно попередньо розрахувати коефіцієнти масопередачі (**K_x**, **K_y**) та середню рушійну силу (**Δ_{yсер}**, **Δ_{xсер}**).

Величина **M** – кількість речовини, що переходить з фази в фазу в одиницю часу, або навантаження апарату. Задається при розрахунку, або визначається з матеріального балансу.

Зв'язок між коефіцієнтом масовіддачі і масо передачі

Щоб встановити зв'язок між коефіцієнтом масопередачі і коефіцієнтами масовіддачі, зазвичай приймають, що на границі розділу фаз досягається рівновага.

Це означає, що опором перенесення через границю розділу фаз можна знехтувати.

Звідси виникає положення про *адитивність фазових опорів*, яке використовується для розрахунку коефіцієнтів масопередачі.

Розглянемо випадок, коли рівноважна залежність між концентраціями в фазах лінійна, тобто лінія рівноваги описується рівнянням: $y^* = mx$, де m – тангенс кута нахилу лінії рівноваги.

Виражаємо рушійну силу в рівнянні масовіддачі в концентраціях фази Φ_y , приймаючи, що концентрації речовини, що розподіляється в фазах, безпосередньо на границі (x_{zp}, y_{zp}) рівноважні одна одній. Тоді з рівняння лінії рівноваги випливає, що $x_{zp} = y_{zp} / m$ та $x = y^* / m$, де як і вказувалося, x_{zp}, y_{zp} - концентрації на границі кожної фази відповідно і y^* - концентрація фази Φ_y , рівноважна з концентрацією x фази Φ_x .

Рівняння
масоваддачі:

$$M = \beta_{xp} F (y - y^*) \quad \text{та} \quad \text{масопередачі}$$

$$M = K_y F (y - y^*)$$

якщо $y^* = mx$ $x_{zp} = y_{zp} / m$ $x = y^* / m$ тоді
о і

$$M = \beta_x \cdot F \cdot \frac{y_{zp} - y^*}{m} \Rightarrow y_{zp} - y^* = \frac{M \cdot m}{\beta_x \cdot F} \quad \text{або з р-ня масовіддачі}$$

$$y - y_{zp} = \frac{M}{\beta_y \cdot F}$$

Додаючи вирази:

$$y - y^* = \frac{M}{F} \cdot \left(\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x} \right)$$

З рівняння масопередачі
отримаємо:

$$y - y^* = \frac{M}{F} \cdot \frac{1}{K_y}$$

Прирівнюючі праві частини отриманих виразів рушійної сили $(y - y^*)$ та скорочуючи подібні члени, отримаємо:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}$$

Виражаючи коефіцієнт масопередачі в концентраціях фази Φ_x , аналогічні судження приводять до залежності:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m\beta_y}$$

За фізичним змістом коефіцієнти масопередачі відрізняються від коефіцієнтів масовіддачі, але виражені з ними в однакових одиницях вимірювання, що залежать від одиниць, в яких виражена рушійна сила і кількість розподілюючої речовини. Таким чином, коефіцієнти масопередачі можуть виражатися в m/c , $кг/(м^2 \cdot c)$, $кг/[м^2 \cdot c \cdot (моль.доли)]$, $с/м$. ¶

$$\begin{cases} \frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x} \\ \frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m\beta_y} \end{cases}$$

$$K_x = mK_y$$

де m – тангенс кута нахилу лінії рівноваги.

Ліва частина рівнянь являє собою загальний опір перенесенню речовини із фази в фазу, тобто опір масопередачі, а права – суму опорів масовіддачі в фазах.

$$\begin{cases} \frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x} \\ \frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m\beta_y} \end{cases}$$

за рушійної сили $\Delta y_{сер}$

за рушійної сили $\Delta x_{сер}$

$\frac{1}{K_y} \left(\frac{1}{K_x} \right)$ – дифузійні опори масопередачі за рушійної сили $\Delta y_{сер}$ ($\Delta x_{сер}$)

$\frac{1}{\beta_y}$ – дифузійний опір масовіддачі в Φ_y за рушійної сили $\Delta y_{сер}$

$\frac{m}{\beta_x}$ – дифузійний опір масовіддачі в $\Phi_{сер}$ за рушійної сили Δy

$\frac{1}{\beta_x}$ – дифузійний опір масовіддачі в Φ_x за рушійної сили $\Delta x_{сер}$

$\frac{1}{m \cdot \beta_y}$ – дифузійний опір масовіддачі в $\Phi_{сер}$ за рушійної сили Δx

$$\text{дифузійні опори: } \frac{1}{K_y} \left(\frac{1}{K_x} \right); \frac{1}{\beta_y} \left(\frac{m}{\beta_x} \right); \frac{1}{\beta_x} \left(\frac{m}{m \cdot \beta_y} \right) =$$

(динамічних умов умов рівноваги коефіцієнта дифузії)

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}$$

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m\beta_y}$$

якщо опір $\Phi_x \downarrow \Rightarrow \beta_x \uparrow \Rightarrow \frac{1}{\beta_x} \left(\frac{m}{\beta_x} \right) \downarrow$, тоді $K_y \approx \beta_y \Rightarrow$ опір в Φ_y визначальний.

Для інтенсифікації процесу необхідно збільшувати β_y

якщо опір $\Phi_y \downarrow \Rightarrow \beta_y \uparrow \Rightarrow \frac{1}{m \cdot \beta_y} \downarrow$, тоді $K_x \approx \beta_x \Rightarrow$ опір в Φ_x визначальний.

Для інтенсифікації процесу необхідно збільшувати β_x

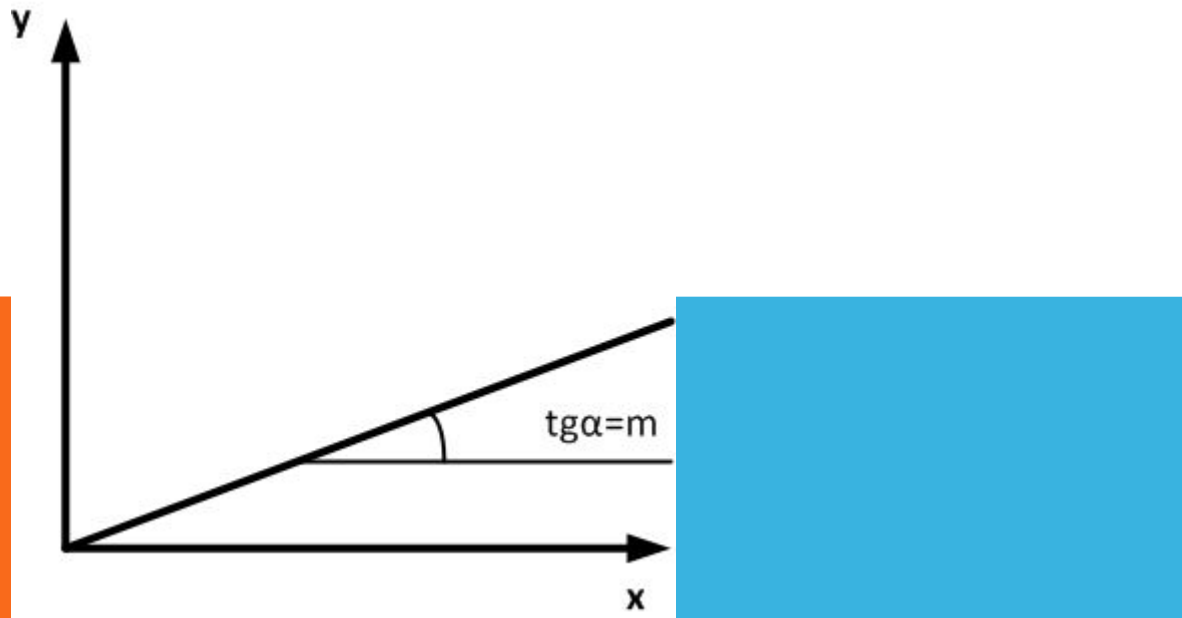
збільшення β залежить від турбулізації потоку!

β_y – зростає із турбулізацією Φ_y

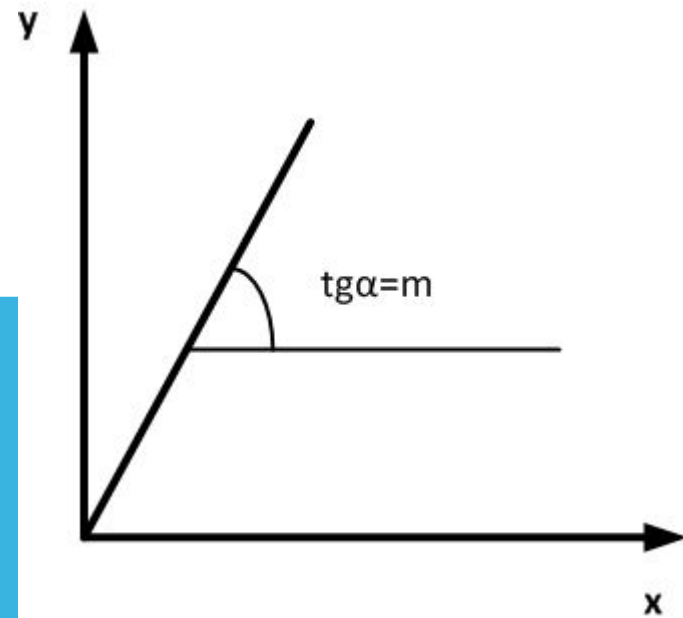
β_x – зростає із турбулізацією Φ_x

якщо β_x та β_y фіксовані, тоді

під час зменшення $t \downarrow$,
опір в $\Phi_y \uparrow \Rightarrow$ добре розчинні гази



під час збільшення $t \uparrow$,
опір в $\Phi_x \uparrow \Rightarrow$ погано розчинні гази



Об'ємні коефіцієнти масовіддачі і масопередачі. Поверхню контакту фаз, до одиниці якої віднесені коефіцієнти масовіддачі і масопередачі, у більшості випадків складно визначити. Тому коефіцієнти масовіддачі і масопередачі часто відносять не до поверхні контакту фаз F , а до робочого об'єму апарата V , який пов'язаний з поверхнею такою залежністю:

$$V = \frac{F}{a},$$

де F – поверхня контакту фаз, м^2 ; a – питома поверхня контакту фаз, тобто поверхня, віднесена до одиниці робочого об'єму апарата, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

$$M = K_y \cdot a \cdot V \cdot (y - y^*) = K_{yV} \cdot V \cdot (y - y^*)$$

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot (x^* - x) = K_{xV} \cdot V \cdot (x^* - x)$$

величини $K_{yV} = K_y \cdot a$ і $K_{xV} = K_x \cdot a$ – об'ємними коефіцієнтами масопередачі.

Якщо кількість роз поділяючої речовини вимірюється в $\text{кг}/\text{с}$, а рушійна сила процесу виражається різницею об'ємних концентрацій (в $\text{кг}/\text{м}^3$), то величини об'ємних коефіцієнтів масовіддачі і масопередачі виражаються так:

$$\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right] = [\text{с}^{-1}].$$

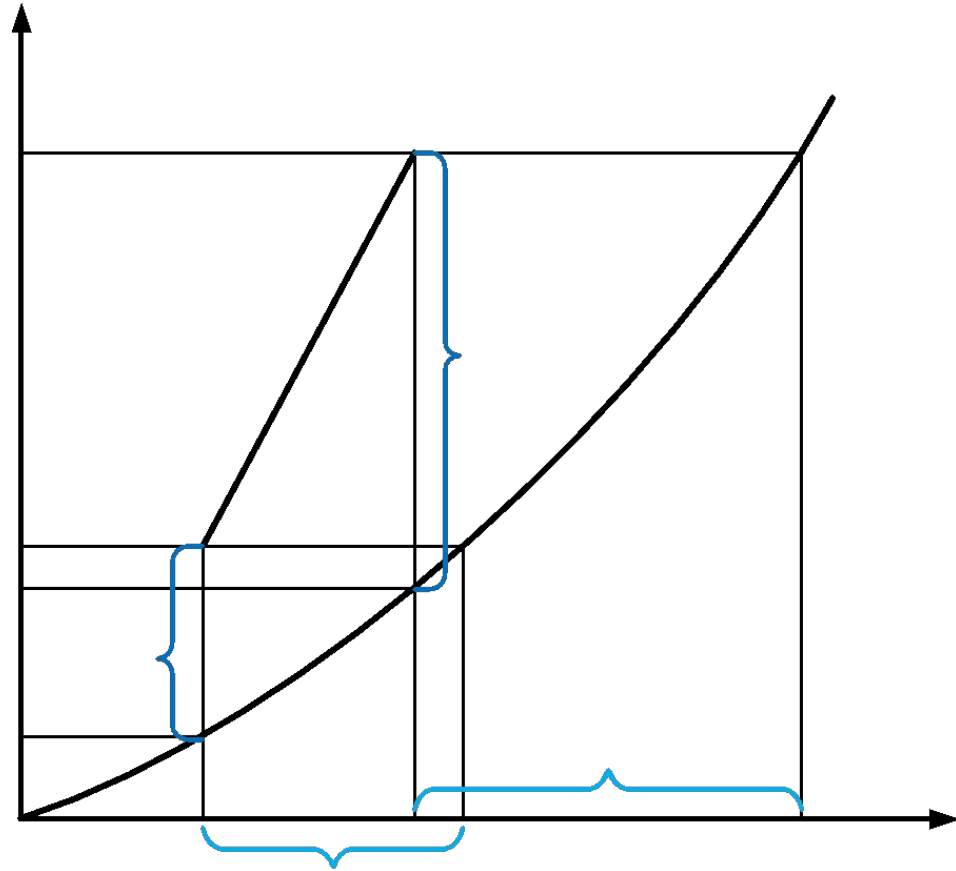
Дослідні значення K_{xV} , K_{yV} узагальнюються за допомогою критеріальних рівнянь

Використовуючи у розрахунках об'ємні коефіцієнти масопередачі немає необхідності знаходження питомої поверхні a , яку складно визначити, і тому розрахунок значно полегшується. Із рівнянь масоперенесення знаходять робочий об'єм апарата V , за яким можна визначити його основні розміри.

Визначення середньої рушійної сили процесу масопередачі

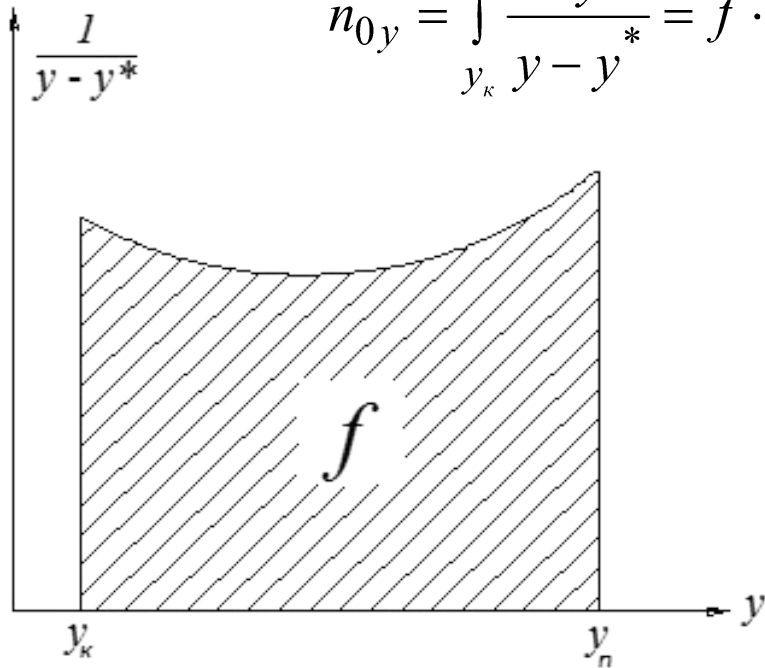
$$\Delta y_{\text{сер}} = \frac{(y_n - y_n^*) - (y_k - y_k^*)}{\ln \frac{y_n - y_n^*}{y_k - y_k^*}} = \frac{\Delta y_B - \Delta y_M}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta y_B}{\Delta y_M}}$$

$$\Delta x_{\text{сер}} = \frac{(x_k^* - x_k) - (x_n^* - x_n)}{\ln \frac{x_k^* - x_k}{x_n^* - x_n}} = \frac{\Delta x_B - \Delta x_M}{2,3 \lg \frac{\Delta x_B}{\Delta x_M}}$$



Визначення ЧИСЛА одиниць перенесення

$$n_{0y} = \int_{y_k}^{y_n} \frac{dy}{y - y^*} = f \cdot M_1 \cdot M_2 \quad \text{або} \quad n_{0x} = \int_{x_n}^{x_k} \frac{dy}{x^* - x} = f \cdot M_1 \cdot M_2$$



Виходячи з інтегральних залежностей,
Можна встановити зв'язок між числом одиниць перенесення та середньою рушійною силою

$$\frac{y_n - y_k}{\Delta y_{\text{сер}}} = n_{0y}$$

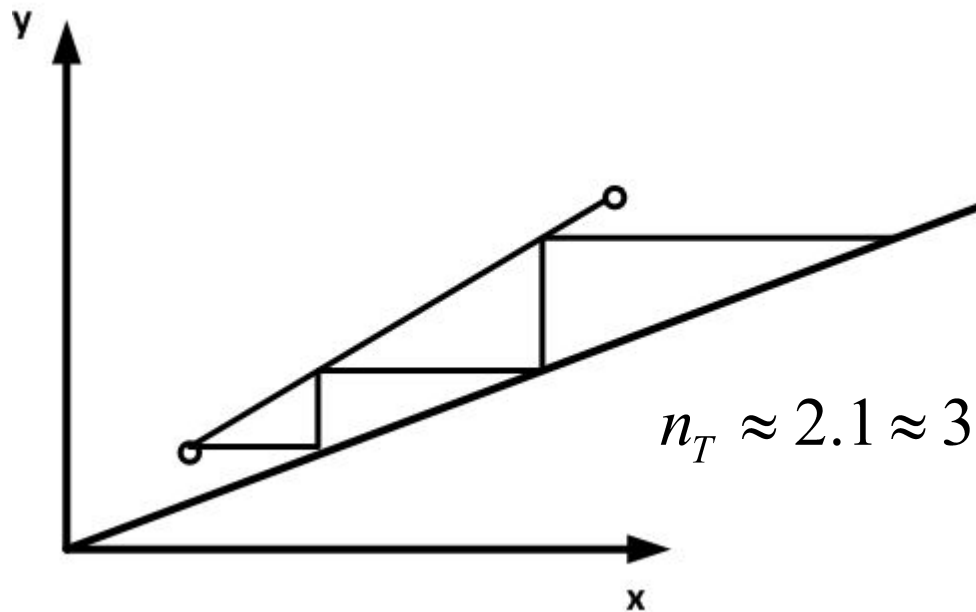
або
о

$$\frac{x_k - x_n}{\Delta x_{\text{сер}}} = n_{0x}$$

число одиниць перенесення характеризує зміну робочої концентрації фази, що приходить на одиницю рушійної сили

одну одиницю перенесення можна розглядати як ділянку апарата, для якого зміна концентрації однієї із фаз дорівнює середній рушійній силі на цій ділянці

Число одиниць перенесення
використовується
для розрахунку висоти робочої частини
масообмінного апарата



$$n = \frac{n_T}{\eta}$$

η – ккд тарілки

Визначення ВИСОТИ одиниць перенесення

$$M = G \cdot (y_n - y_k)$$

$$M = K_{yV} \cdot V \cdot \Delta y_{\text{ср}} = K_y \cdot a \cdot S \cdot H \cdot \Delta y_{\text{ср}}$$

де $K_y \cdot a = K_{yV}$ — об'ємний коефіцієнт масопередачі, що приймається сталим по висоті апарату;
 S — площа поперечного січення апарату; H — робоча висота апарату. ¶

$$G \cdot (y_n - y_k) = K_y \cdot a \cdot S \cdot H \cdot \Delta y_{\text{ср}}$$

$$H = \frac{G \cdot (y_n - y_k)}{K_y \cdot a \cdot S \cdot \Delta y_{\text{ср}}} = \frac{G}{K_y \cdot a \cdot S} \cdot \frac{y_n - y_k}{\Delta y_{\text{ср}}}$$

Висота одиниць
перенесення:

$$\frac{G}{K_y \cdot S \cdot K} = \frac{G}{S_{yV}} = h_{0y}$$

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧОЇ ВИСОТИ МАСООБМІННОЇ КОЛОНИ

$$\frac{y_n - y_k}{\Delta y_{\text{сер}}} = n_{0y}$$

$$\frac{x_k - x_n}{\Delta x_{\text{сер}}} = n_{0x}$$

$$H = h_{0y} \cdot n_{0y},$$

$$H = h_{0x} \cdot n_{0x}.$$

Висота робочої частини насадкової
колонни:

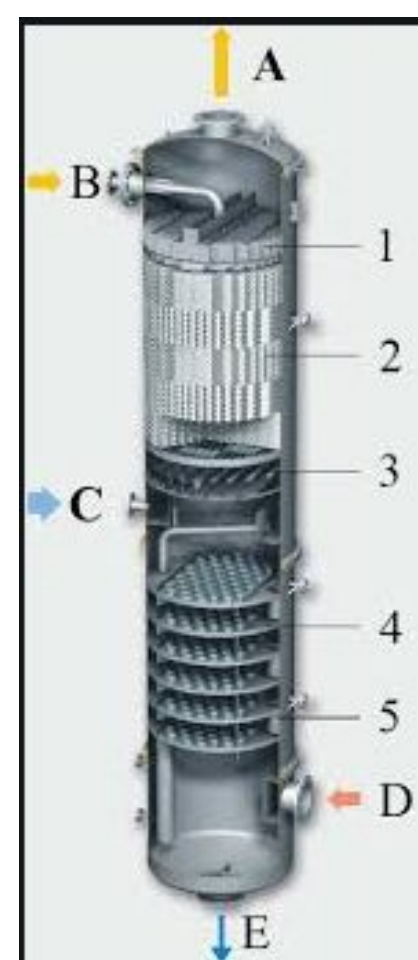
$$H = h \cdot n$$

Висота робочої частини тарільчастої
колонни:

$$H = h \cdot (n - 1)$$

$$\frac{G}{K_y \cdot a \cdot S} = h_{0y}$$

$$\frac{G}{K_x S} = h_{0x}$$



h – висота одиниці перенесення
визначається дослідно-експериментальним шляхом
з критеріальних рівнянь в залежності від коефіцієнта
масовіддачі, масопередачі, об'ємного коефіцієнта
масопередачі
або конструктивно

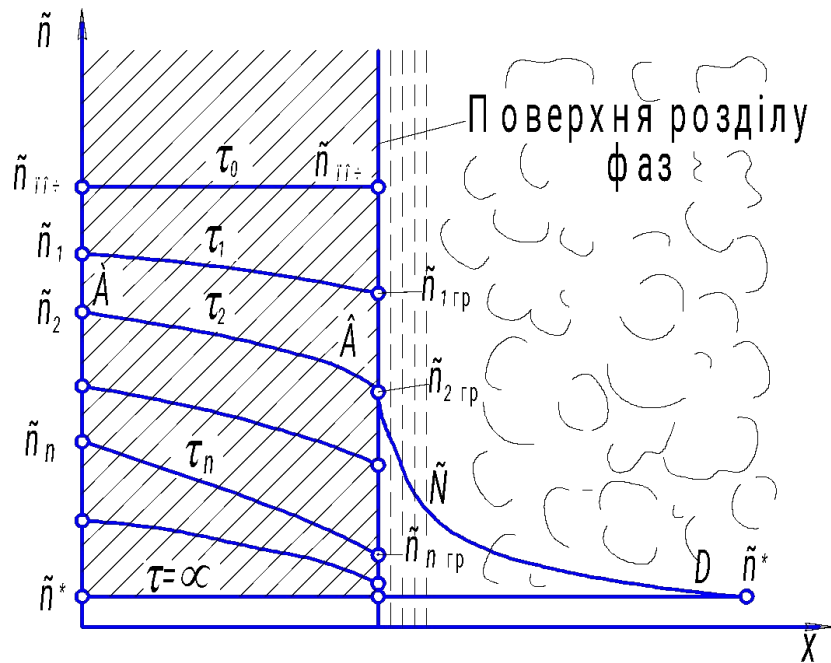
ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРУ КОЛОНИ

Діаметр колони визначається, виходячи з загальної продуктивності

$$V_c = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \omega_0}} = \sqrt{\frac{V_c}{0.785 \cdot \omega_0}}$$

МАСОПЕРЕНОСЕННЯ З ТВЕРДОЮ ФАЗОЮ



розподілювана речовина дифундує через пограничний шар рідкої (газової або парової) фази. Тут спостерігається поступове загасання турбулентності і значно різкіша зміна концентрації, що наближається до лінійної залежності процесу.

Нарешті, в ядрі омиваючої фази – ділянці зовнішньої масовіддачі, що відбувається зазвичай шляхом конвективного перенесення, – концентрація знижується, наближаючись, як до границі, так і до рівноважної концентрації c^* .

$$M = -D_m \cdot F \cdot \tau \cdot \frac{dc}{dn}$$

Коефіцієнт масопровідності

D_M є коефіцієнтом внутрішньої дифузії; він виражається в тих самих одиницях, що і коефіцієнт температуропровідності або коефіцієнт молекулярної дифузії (у м²/с) і визначається експериментально

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D_M \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

$$M = \beta \cdot F \cdot \tau \cdot (c_{\text{гр}} - c^*) = \beta \cdot F \cdot \tau \cdot \Delta c$$

$$-D_M \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = \beta \cdot \Delta c$$

$$\frac{\beta \cdot l}{D_M} = \text{Bi}' = \text{const}$$

$$\frac{\beta \cdot l}{D_M} = Bi' = const$$

Цей критерій відображає подібність перенесення розподіленої речовини на границі твердої і рідкої (газової або парової) фаз і називається дифузійним критерієм Біо (Bi'). ¶

В критерій Біо входить відношення величин β і D_M , що характеризують швидкості зовнішньої і внутрішньої дифузії. Тому даний критерій має важливе значення для аналізу процесів масопередачі за участю твердої фази. За низьких значень Bi' швидкість масопередачі визначається швидкістю зовнішньої дифузії, або, як кажуть, процес відбувається у зовнішньо дифузійній області, а за великих значень Bi' — швидкістю внутрішньої дифузії (внутрішньодифузійна область). ¶

$$\frac{D_M \cdot \tau}{l^2} = Fo' = idem$$

Цей безрозмірний комплекс величин, що описує подібність швидкості перенесення речовини масопровідністю всередині твердої фази, називається дифузійним критерієм Фур'є (Fo').

За подібності процесів перенесення речовини масопровідністю повинна дотримуватися також геометрична подібність, яка для одновимірного потоку речовини виражається симплексом $\frac{x}{\delta}$, де x — координата заданої точки в твердому тілі і δ — визначальний геометричний розмір твердого тіла.

Визначуваною величиною є безрозмірний симплекс концентрацій, в якості якого застосовують відношення

$$\frac{c - c_{\text{гр}}}{c_{\text{поч}} - c^*} = f\left(Bi', Fo', \frac{x}{\delta}\right)$$

Так само як для процесів розповсюдження тепла в твердому тілі, функціональна залежність, що виражається рівнянням, має аналітичний розв'язок (у вигляді нескінченного ряду) для тіл найпростішої форми — необмеженої пластини, нескінченного циліндра, кулі. Для полегшення розрахунків часто користуються графіками

