

## Лекция №10. Массообменные процессы

Технологические процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества (массы) из одной фазы в другую, называются массообменными процессами.

К таким процессам относятся:

- 1) абсорбция,
- 2) адсорбция,
- 3) ректификация,
- 4) экстракция,
- 5) сушка,
- 6) кристаллизация.

Скорость протекания этих процессов определяется скоростью диффузии.

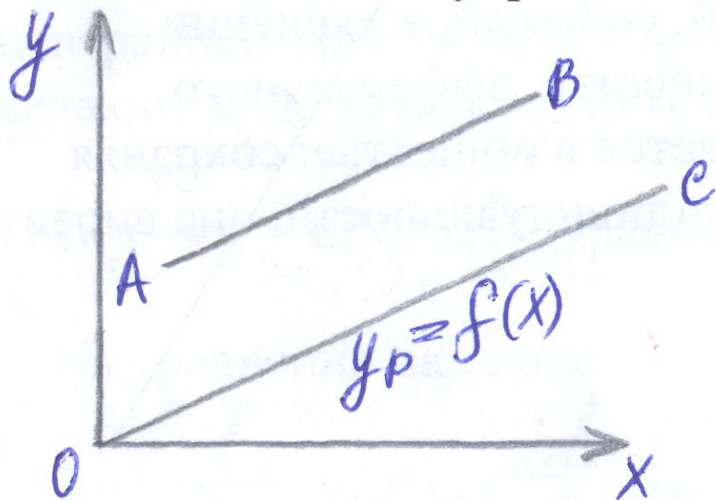
Процесс, при которых переход вещества из одной фазы в другую происходит путём диффузии, называются процессами массопередачи. В процессах массопередачи участвуют две фазы, в которых распределяется третье вещество. Фазы являются носителями распределяемого вещества и непосредственно в процессе массопередачи не участвуют.

## Фазовое равновесие

Переход вещества из одной фазы в другую происходит при отсутствии равновесия между фазами. Предельным состоянием процесса массообмена является достижение равновесия системы, т.е. равенство скоростей перехода вещества из одной фазы в другую и обратно при данной температуре и давлении.

В состоянии равновесия любой концентрации распределяемого вещества в одной фазе соответствует равновесная ей концентрация этого вещества в другой фазе:  $y_p = f(x)$  или  $x_p = f(y)$ , где  $x$  – содержание распределяемого вещества в одной фазе,  $y_p$  – равновесная ей концентрация этого вещества в другой фазе и наоборот.

Условия равновесия позволяют определить направление процесса. Если рабочая концентрация распределяемого вещества в данной фазе выше равновесной, то она будет уходить из этой фазы в другую.



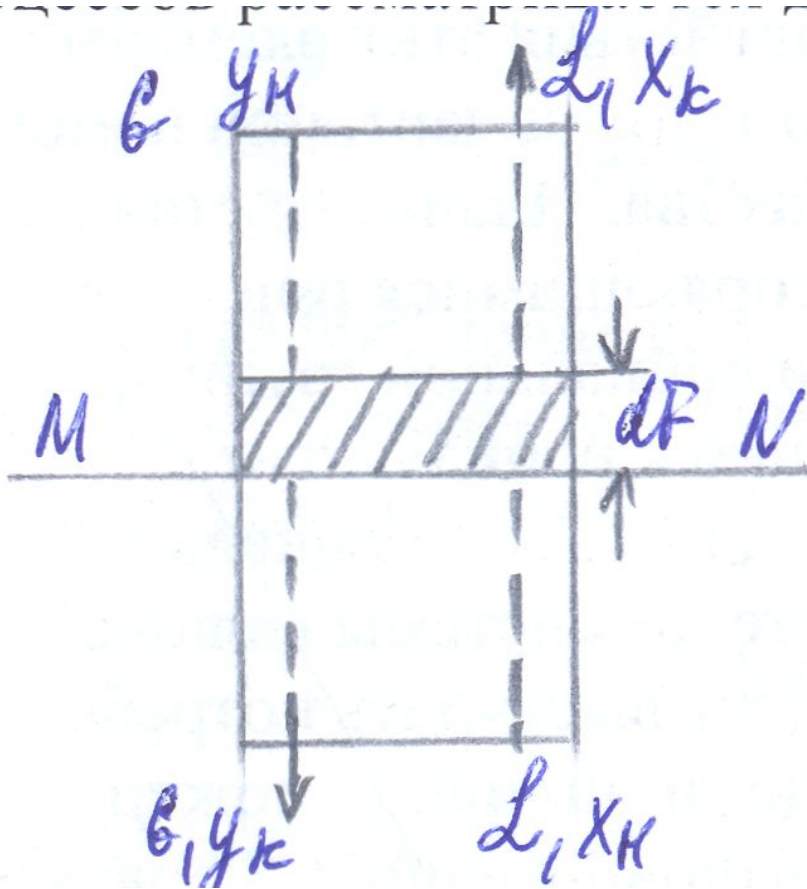
Равновесие между фазами можно представить графически на  $y$ - $x$  диаграмме

АВ – рабочая линия

ОС – линия равновесия

## Материальный баланс массообменных процессов

Диффузионные (массообменные) процессы, как правило, осуществляются в противоточных аппаратах, где участвующие в массообмене фазы протекают навстречу друг другу. Поэтому для вывода уравнения материального баланса массообменных процессов рассматривается движение потоков в противоточном аппарате.



Обозначим весовые скорости фаз жидкой  $L$  и газовой  $G$  вдоль поверхности их раздела в килограммах в час. Содержание в них распределяемого компонента обозначим в килограммах на килограмм фазы: в фазе  $L$  – через  $x$  и в фазе  $G$  – через  $y$ .

Допустим, что рабочая концентрация распределяемого компонента выше его равновесной концентрации  $y > y_p$ , и поэтому компонент будет переходить из фазы  $G$  в фазу  $L$ .

## Материальный баланс массообменных процессов

Фазы являются носителями распределяемого вещества и в процессе массообмена не участвуют. Для бесконечно малого элемента поверхности  $dF$  фазового контакта материальный баланс в отношении распределяемого между фазами компонента выразится дифференциальным уравнением

$$dM = -G \cdot dy = L \cdot dx$$

Интегрируя уравнение в заданных пределах концентраций распределяемого вещества от  $y_H$  до  $y_K$  и от  $x_H$  до  $x_K$

$$M = -G \int_{y_H}^{y_K} dy = L \int_{x_H}^{x_K} dx$$

или  $M = G(y_H - y_K) = L(x_H - x_K)$  - получим уравнение материального баланса массообмена для всей поверхности фазового контакта в рассматриваемом аппарате.

Из уравнения находятся соотношения между весовыми потоками фаз

$$L = G \frac{y_H - y_K}{x_H - x_K} \quad \text{и} \quad G = L \frac{x_H - x_K}{y_H - y_K}$$

и удельный расход растворителя

$$l = \frac{L}{G} = \frac{y_H - y_K}{x_H - x_K}$$

## Материальный баланс массообменных процессов

Для любого произвольно взятого сечения аппарата выше линии MN с концентрацией фаз  $y$  и  $x$ , проинтегрировав уравнение материального баланса в пределах от  $y_H$  до  $y_K$  и от  $x_H$  до  $x_K$  получим

$G(y_H - y_K) = L(x_H - x_K)$  – уравнение материального баланса для части аппарата (выше MN).

Из уравнения находим

$$y_H = \frac{L}{G} x_K + y_K - \frac{L}{G} x_K$$

Это уравнение называется уравнением рабочей линии процесса массообмена. Оно выражает зависимость между неравновесными составами фаз  $y, x$  в любом сечении аппарата.

Величины  $G, L, y_K, x_K$  известны и являются постоянными, поэтому можно обозначить

$y_K - L/G \cdot x_K$  через  $B$ , отношение  $L/G$  через  $A$ .

Тогда уравнение рабочей линии можно написать в виде:  $y = Ax_K + B$

Это уравнение прямой линии, из которого следует, что концентрации распределяемого вещества в фазах  $G$  и  $L$  связаны линейной зависимостью.

## Основное уравнение массопередачи

Основной закон массопередачи можно сформулировать, исходя из общих кинетических закономерностей химико-технологических процессов. Скорость процесса равна движущей силе, делённой на сопротивление:

$$\frac{dM}{dF d\tau} = \frac{\Delta}{R} \quad (1)$$

где  $dM$  – количество вещества, переходящее из одной фазы в другую, кг/сек

$dF$  – поверхность фазового контакта,  $m^2$ .

$d\tau$  - время, сек.

$\Delta$  - движущая сила процесса массопередачи.

$R$  – сопротивление.

Если  $1/R = K$ , тогда  $dM/dF d\tau = K\Delta$  (2)

При условии, когда  $dM$  отнесено к единице времени, уравнение (2) можно переписать так:

$$dM = K\Delta dF \quad (3)$$

Уравнение (3) называется основным уравнением массопередачи.

## Основное уравнение массопередачи

Для всей поверхности фазового контакта  $F$  уравнение (3) записывается

$$M = KF\Delta, \quad [\text{кг/сек}]$$

где  $K$  – коэффициент скорости или коэффициент массопередачи.

Коэффициент массопередачи выражает собой количество вещества, переходящего из одной фазы в другую за единицу времени через единицу поверхности соприкосновения фаз при движущей силе, равной единице.

Размерность коэффициента массопередачи определяется из уравнения

$$[K] = \left[ \frac{M}{F\Delta} \right] = \frac{\text{кг/сек}}{\text{м}^2 (\text{единица движущей силы})}$$

### Средняя движущая сила процесса массопередачи

Движущая сила  $\Delta$  может быть выражена в любых единицах, применяемых для выражения состава фаз. Движущая сила процесса  $\Delta$  может быть выражена через концентрации в одной из фаз:

$$M = K_y(y - y_p)F, \quad M = K_x(x_p - x)F$$

Если рабочая и равновесная концентрации распределяемого вещества выражены через относительные весовые составы (кг/кг), то размерность коэффициента массопередачи будет:

$$[K] = \left[ \frac{\text{кг/сек}}{\text{м}^2 \cdot \text{кг/кг}} \right] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}} \right]$$

## Средняя движущая сила процесса массопередачи

При выражении движущей силы через разность парциальных давлений  $\Delta P = P - P_p$ , Н/м<sup>2</sup>.

$$[K] = \left[ \frac{\text{кг/сек}}{\text{м}^2 \cdot \text{Н/м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг/сек}}{\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot (\text{м/сек}^2)} \right] =$$

$$= \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{кг}}{\text{сек} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{сек} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}} = \frac{\text{сек}}{\text{м}}$$

При  $\Delta = \text{кг/м}^3$

$$[K] = \left[ \frac{\text{кг/сек}}{\text{м}^2 \cdot \text{кг/м}^3} \right] = \left[ \frac{\text{м}}{\text{сек}} \right]$$

$$K = \text{кг} \cdot \text{м/сек}^2$$

Движущая сила меняется с изменением рабочих концентраций, поэтому для всего процесса массообмена, протекающего в пределах изменения концентраций от начальных до конечных, должна быть определена по величине средней движущей силы.

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_n - \Delta y_k}{2.3 \lg \frac{\Delta y_n}{\Delta y_k}}$$

где  $\Delta y_n = y_n - \Delta y_{p.k.}$  – движущая сила в начале поверхности фазового контакта.

$\Delta y_k = y_k - \Delta y_{p.k.}$  – движущая сила в конце поверхности фазового контакта.