

МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Содержание

- *Механизм массопередачи*
- *Материальный баланс при массопередаче*
- *Основные законы массопередачи*
- *Критериальные уравнения конвективной диффузии*
- *Основное уравнение массопередачи*



Определения

Массообменными называются процессы, характеризующиеся переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую. Этот переход осуществляется конвективной и молекулярной диффузией, поэтому массообменные процессы называют **диффузионными**

Массообменные процессы классифицируют по агрегатному состоянию и характеру взаимодействия фаз.

При **абсорбции** происходит селективное поглощение газов или паров жидкими поглотителями – абсорбентами, т. е. имеет место переход вещества из газовой или паровой фазы в жидкую.

Определения

При перегонке и ректификации жидкая смесь разделяется на составляющие компоненты. Происходит переход веществ из жидкой фазы в паровую и из паровой в жидкую.

При экстракции происходит извлечение одного или нескольких веществ из растворов или твердых веществ с помощью растворителей.

Определения

Адсорбция - это процесс поглощения одного или нескольких компонентов из газовой или жидкой фазы, как правило, твердым поглотителем (*адсорбентом*).

Абсорбцией называют процесс избирательного поглощения компонентов из газовых или парогазовых смесей, как правило, жидкими поглотителями (*абсорбентами*).

Сушка – это процесс удаления влаги из твердых материалов.



из твердых материалов.

Определения

При кристаллизации из жидкой фазы выделяется вещество в виде кристаллов. При этом происходит переход вещества из жидкой фазы в твердую, в результате возникновения и роста кристаллов в растворе.



Механизм массопередачи

Массопередача – процесс перехода вещества (или нескольких веществ) из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия.

Перенос в пределах одной фазы называют массоотдачей.

В массообмене участвуют, как минимум, три вещества:

1) распределяющее вещество составляющее первую фазу

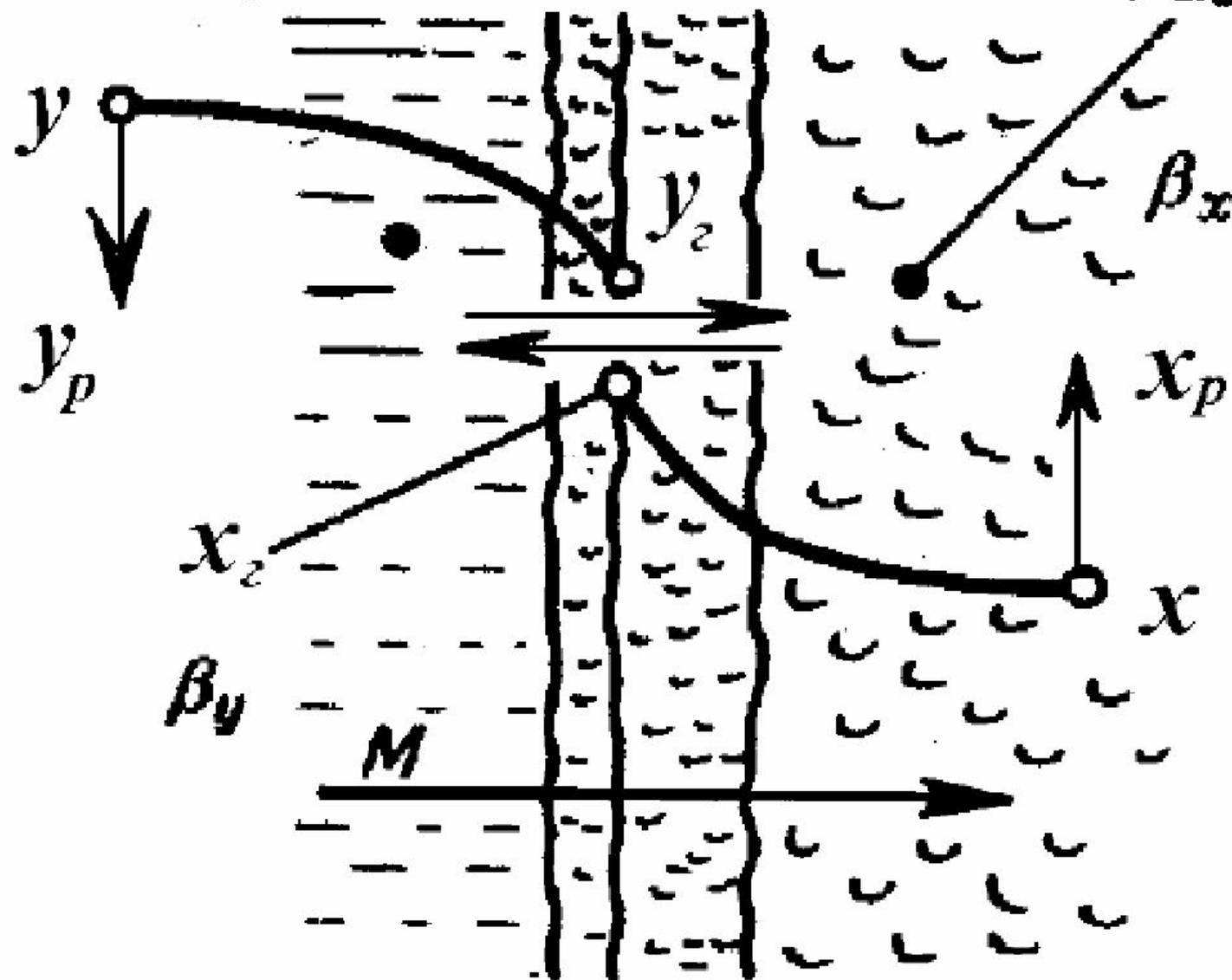
G ;

2) распределяющее вещество составляющее вторую фазу

L ;

3) распределяемое вещество (или вещества).

Поверхность раздела фаз
Фаза G Фаза L



Начальная фаза

Распределяемое вещество в фазе G имеет концентрацию y .

В фазе L в начальный момент распределяемое вещество отсутствует, т.е. концентрация его в этой фазе $x = 0$.

Если фазы G и L привести в соприкосновение друг с другом, начинается переход распределяемого вещества из фазы G в фазу L , и с появлением вещества M в фазе L начинается обратный переход его из фазы L в фазу G .

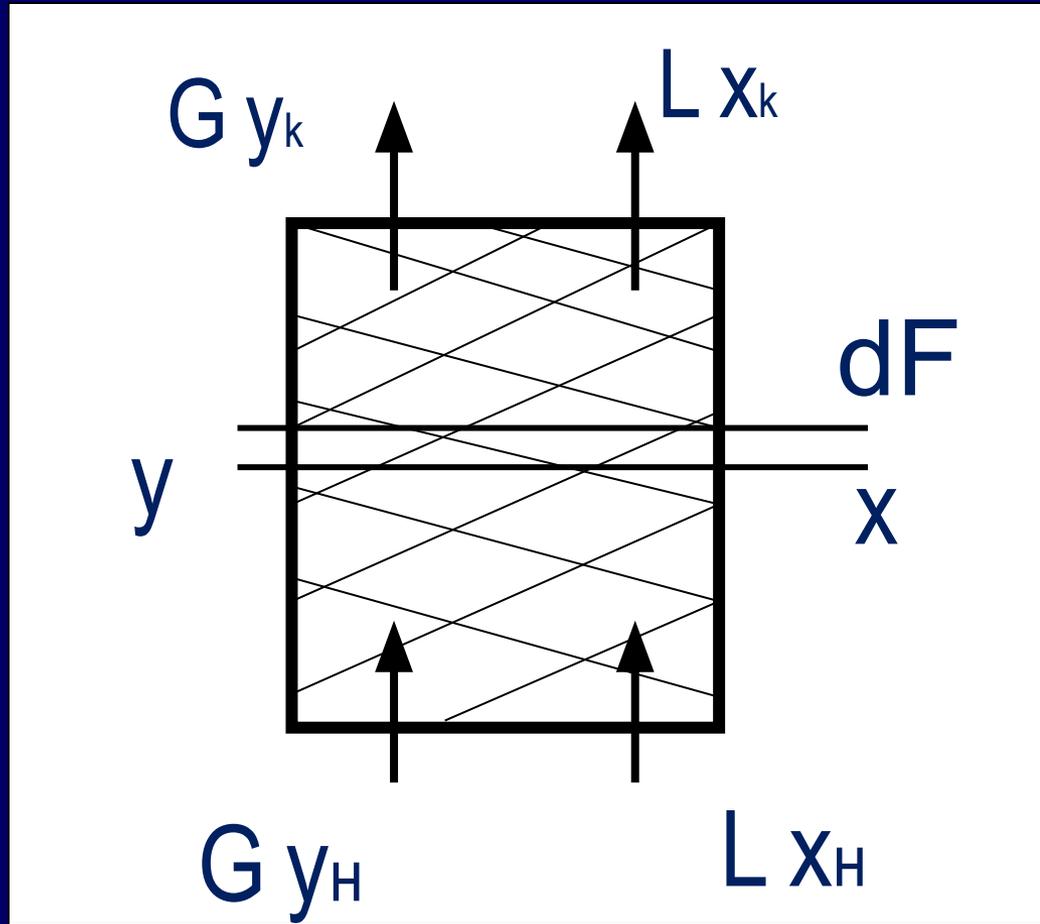
Состояние равновесия

Разность между фактической и равновесной концентрациями, характеризующая степень недостижения равновесия, является **движущей силой массообменных процессов**:

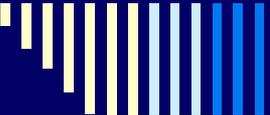
а) движущая сила массообмена через концентрации распределяемого компонента в фазе G : $\Delta y = y - y_p$;

б) движущая сила массообмена через концентрации распределяемого компонента в фазе L : $\Delta x = X_p - x$.

Материальный баланс при массопередаче



Прямоточный массообменный аппарат



Для непрерывного установившегося процесса материальный баланс запишется:

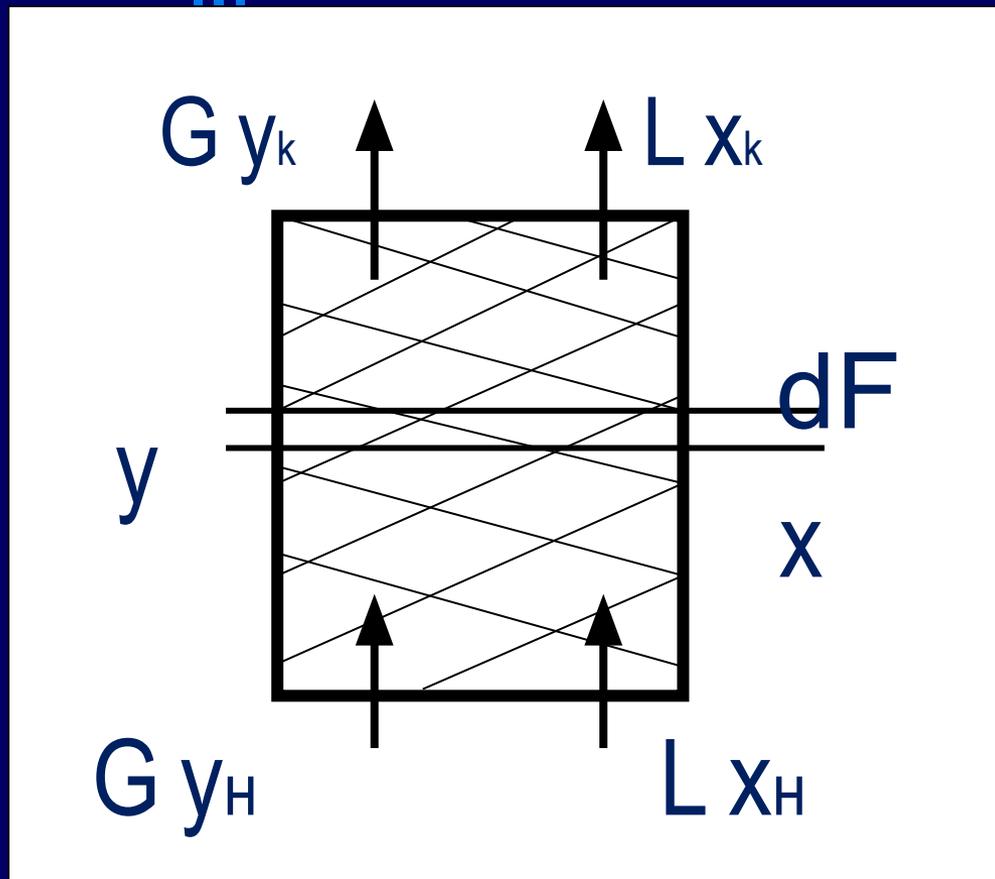
а) по всему веществу $G_H + L_H = G_K + L_K; (1)$

б) по распределяемому компоненту

$$G_H y_H + L_H x_H = G_K y_K + L_K x_K \quad (2)$$

$$y = \frac{L}{G}x + \frac{G_H \cdot y_H - L_K \cdot x_K}{G}$$

Для нижней части аппарата и для
некоторого произвольного сечения

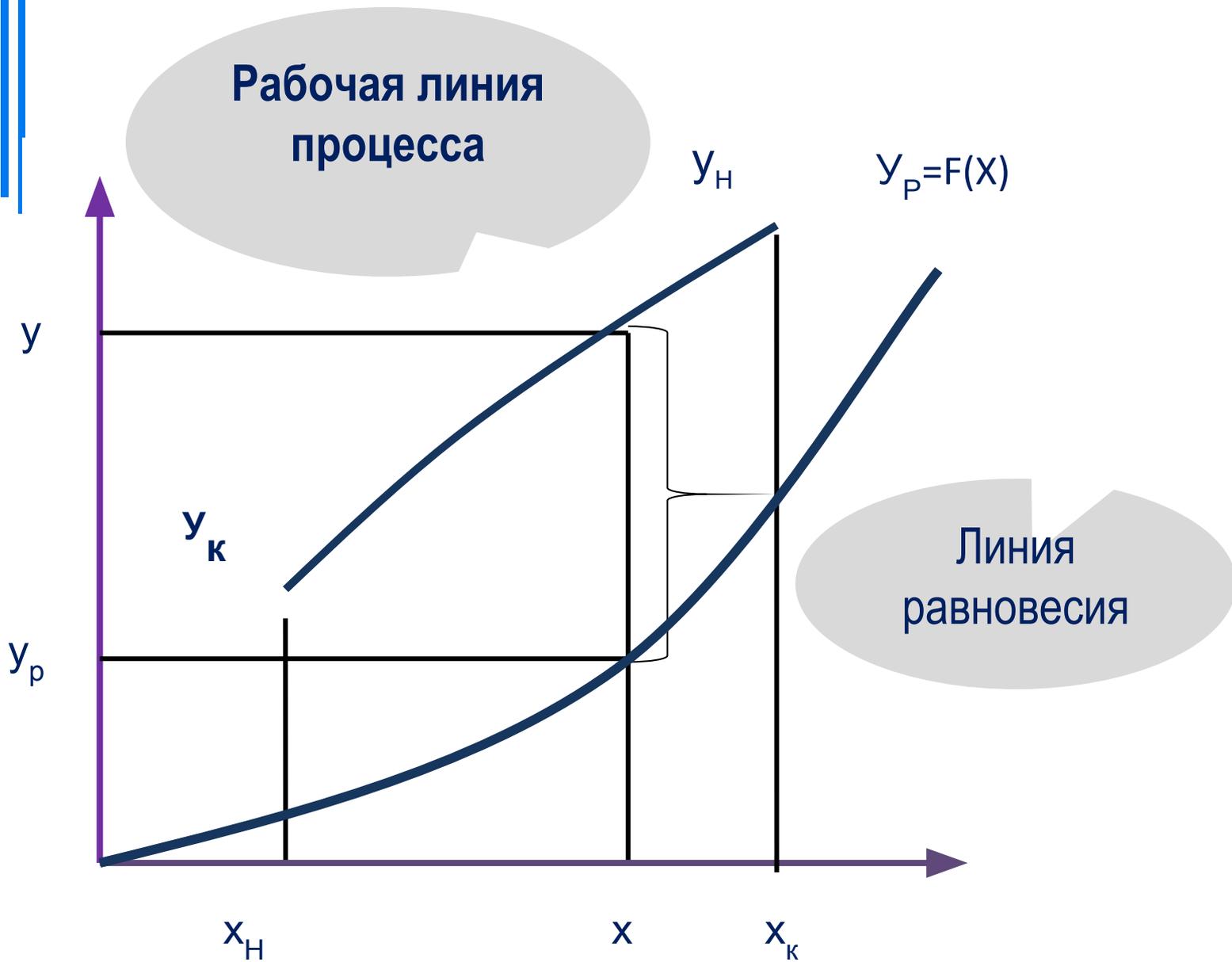
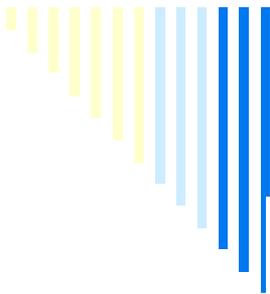


расходы фаз составляют G
и L (кг/с), а текущие
концентрации равны y и x
Материальный баланс по
всему веществу и по
распределяемому
компоненту:

$$G_H + L_H = G + L_K \quad (3)$$

$$G_H y_H + L x = G y + L_K x_K \quad (4)$$

$$y = \frac{L}{G}x + \frac{G_H \cdot y_H - L_K \cdot x_K}{G} \quad (5)$$





Основные законы массопередачи

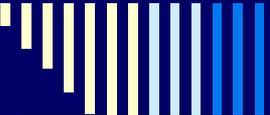
- Перенос вещества внутри фазы может происходить только путем **молекулярной диффузии**, либо путем **конвекции** и **молекулярной диффузии** одновременно.
-

Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика):

«Масса вещества dM , продиффундировавшего за время dt через элементарную поверхность dS (нормальную к направлению диффузии), пропорциональна градиенту концентрации dc/dn этого веществ»:

$$\frac{dM}{dS \cdot d\tau} = -D \frac{dc}{dn} \quad \text{или} \quad \frac{M}{S \cdot \tau} = -D \frac{\Delta c}{\Delta n} \quad \text{т.е.}$$

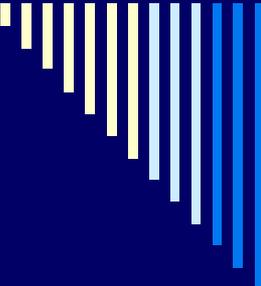
$$q_m = -D \frac{\Delta c}{\Delta n} \quad \text{где} \quad q_m = \frac{M}{S \cdot \tau} \quad \text{-удельный поток вещества}$$



Коэффициент пропорциональности D в выражении закона Фика называется коэффициентом молекулярной диффузии.

Коэффициент диффузии газа в среду другого газа имеют значения $(0,1 - 1,0)10^{-4}$ м² /с, а при диффузии газа в жидкости они в $10^4 - 10^5$ раз меньше.

Значение коэффициента диффузии обычно берут из справочников или рассчитывают по формулам.



Собственно молекулярная диффузия наблюдается редко. Она обычно сопровождается конвективным переносом вещества в движущейся среде в направлении, совпадающем с направлением общего потока.

Суммарный перенос вещества вследствие конвективного переноса и молекулярной диффузии, по аналогии с теплообменом, называют конвективным массообменом или **конвективной диффузией**.

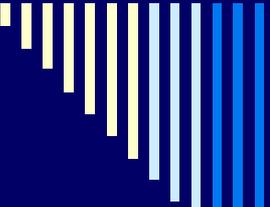
Закон конвективной диффузии (закон Щукарёва А.Н.)

Скорость массоотдачи определяется:

для фазы G:
$$M = \beta_y (y - y_{gp}) S \quad (8)$$

для фаза L:
$$M = \beta_x (x_{gp} - x) S \quad (9)$$

Коэффициенты пропорциональности в уравнениях (8) и (9) называются **коэффициентами массоотдачи**.



Термодиффузия

Во многих процессах массообмена (сушка, варка, жарка и т.д.) возникает различие в направлении распространения температуры и концентрации диффундирующего вещества.

Температурный градиент направлен от периферии продукта к его центру, а градиент концентрации – от центра к периферии. В этом случае диффундирующее тяжелое вещество перемещается в направлении градиента температур, а легкое диффундирующее вещество – в направлении градиента концентрации.

Движение влаги в направлении градиента температур называется **темовлагопроводностью**. Перемещение влаги в направлении градиента концентрации является **влагопроводностью**, что по своему физическому смыслу равнозначно диффузии вещества.



Критериальные уравнения конвективной диффузии

Диффузионный критерий Нуссельта, характеризующий соотношение интенсивности переноса вещества конвекцией и молекулярной диффузией (β) у границы фазы, где интенсивность переноса определяется молекулярной диффузией (D):

$$Nu_D = \frac{\beta \cdot l}{D}$$



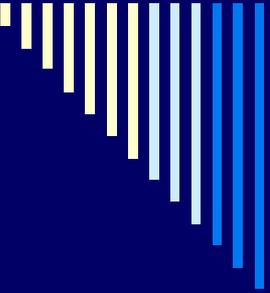
Критериальные уравнения конвективной диффузии

Критерий Био является мерой сравнения скорости переноса вещества в пограничном слое у поверхности раздела фаз и скорости переноса внутри фазы.

В процессах, *где перенос вещества осуществляется из твердой фазы*, вместо критерия Нуссельта используется **диффузионный критерий Био**:

где k_D - коэффициент массопроводности или коэффициент внутренней диффузии.

$$Bi_D = \frac{\beta \cdot l}{k_D}$$



Критериальные уравнения конвективной диффузии

Диффузионный критерий Фурье

Диффузионный критерий Фурье Fo_D характеризует изменение скорости потока диффундирующей массы во времени и используется для характеристики **нестационарных** процессов:

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

Диффузионный критерий Пекле:

$$Pe_D = \frac{v \cdot l}{D}$$

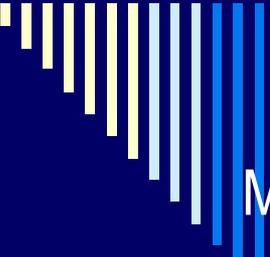
Диффузионный критерий Прандтля $Pr = \nu / D$ характеризует подобие **полей физических величин** и определяется только физическими свойствами вещества.

В общем виде критериальное уравнение конвективной диффузии

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_D, Fo_D)$$

Критерий Нуссельта, содержащий искомую величину – коэффициент массоотдачи β , необходимый для расчета коэффициента массопередачи K , в этом уравнении является **определяемым** в отличие от других критериев, которые являются **определяющими**, т.е. составленными целиком из параметров, входящих в условие

однозначности. По значениям критерия Нуссельта, найденным по критериальным уравнениям, определяют β коэф. массоотдачи для каждой фазы, а за тем и K – коэф. массопередачи.



Основное уравнение массопередачи

Массопередача по аналогии с теплопередачей характеризуется основным уравнением:

$$\frac{dM_{л}}{dSd\tau} = k\Delta C_{л}$$

где $dM_{л}$ - локальное количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую;

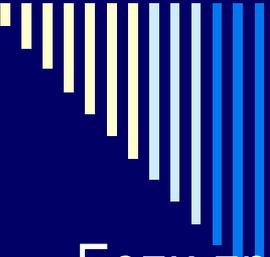
dS – площадь локальной поверхности массопередачи,

$d\tau$ – продолжительность процесса;

k – локальный коэффициент скорости (проводимость)

процесса, называемый **коэффициентом массопередачи**;

$\Delta C_{л}$ – общее выражение локальной разности концентраций (движущей силы на данном участке массопередачи).



Основное уравнение массопередачи

Если принять проводимость процесса - коэффициент массопередачи k – постоянным для всей поверхности массообмена S ; получим интегральный вид уравнения (12):

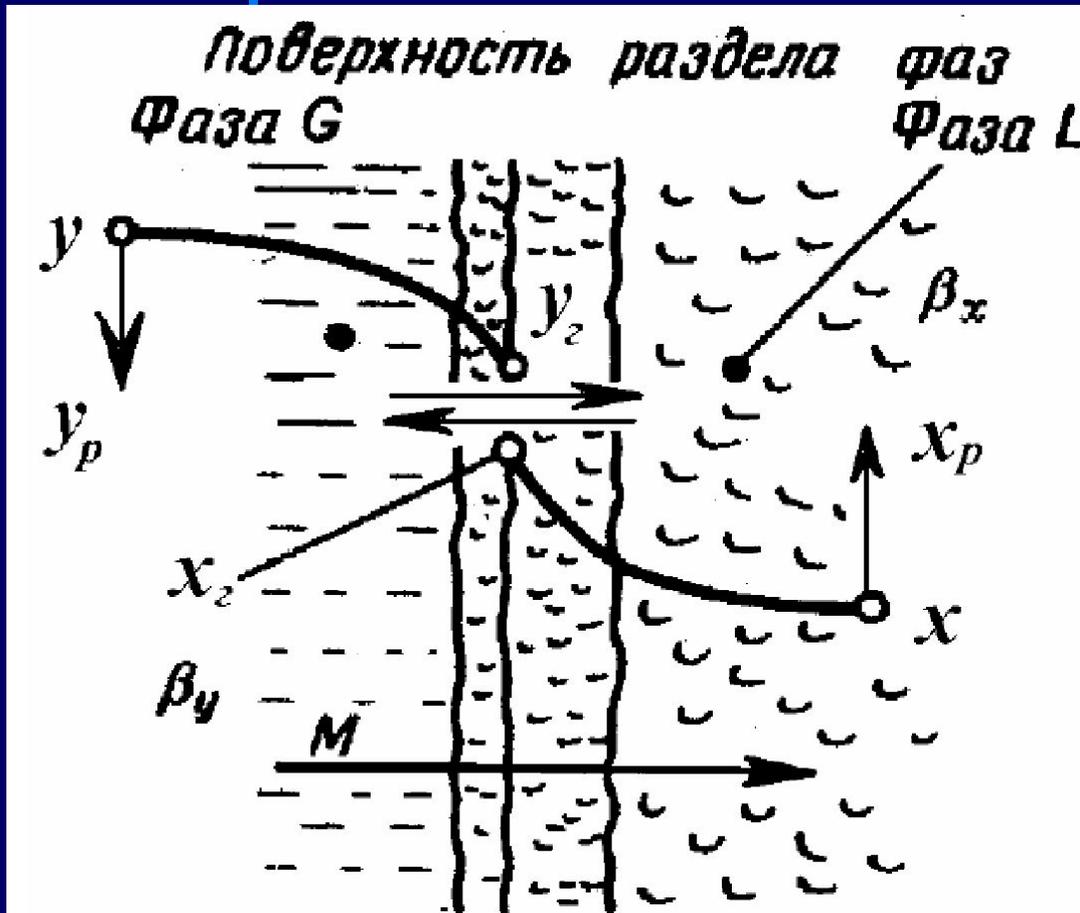
$$M = K \Delta C S \quad (13)$$

где M – общее количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую за единицу времени;

K – коэффициент массопередачи для всей поверхности (S) контакта фаз.

Коэффициент массопередачи K показывает, какое количество вещества переходит из одной фазы в другую за единицу времени через единицу площади поверхности фазового контакта при движущей силе, равной единице.

Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи



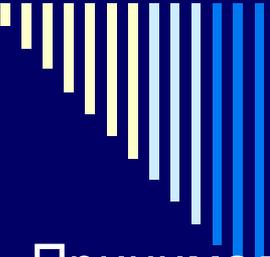
При установившемся процессе массопередачи количество вещества, переходящее из фазы в фазу определяется по уравнению:

$$M = K_y S (y - y_p).$$

Для случая, когда равновесная зависимость между концентрациями в фазах линейна, т.е. линия равновесия описывается уравнением:

m – коэф. распределения

$$y_p = mx, \quad (16)$$



Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи

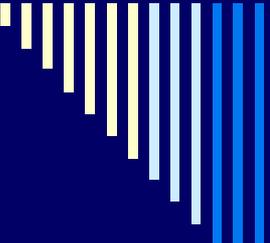
Принимая, что концентрация распределяемого вещества в фазах непосредственно у границы ($x_{гр}$, $y_{гр}$) равновесны друг другу ($y_{гр} = mx_{гр}$) выразим:

$$x_{гр} = \frac{y_{гр}}{m} \quad x = \frac{y_p}{m}$$

где y_p – концентрация фазы G, равновесная с концентрацией фазы L.

Подставляя эти значения в уравнения массоотдачи получим:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_y} \quad (17)$$



Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи

При выражении коэффициента массопередачи в концентрациях фазы L:

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

Левые части уравнений (17) и (18) представляют собой общее сопротивление массопередачи, а их правые части - сумму сопротивлений массоотдачи в фазах.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

