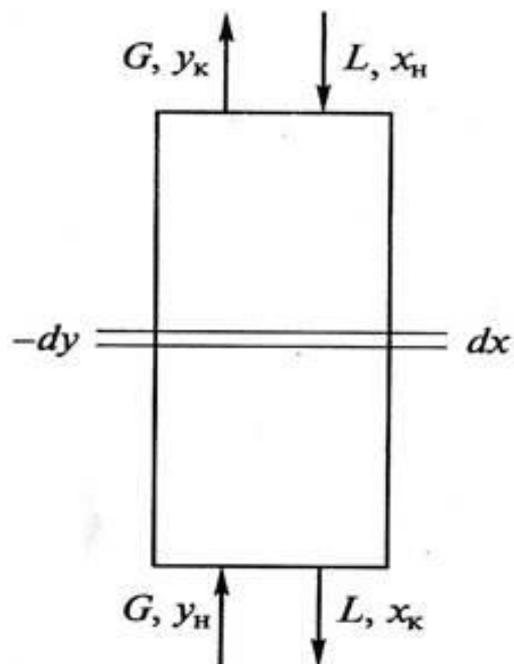




# **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

доцент, к.т.н. Пирогова  
Ольга Владимировна

# Материальный баланс массообменных процессов



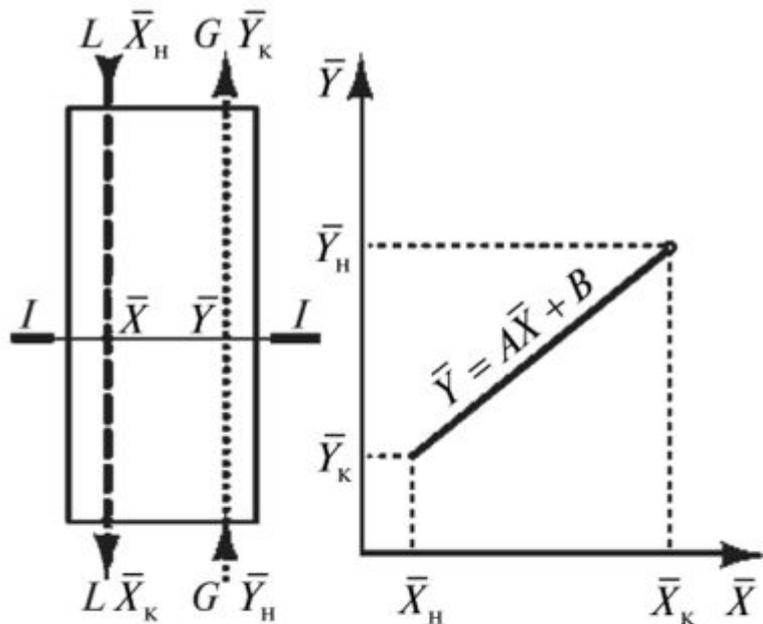
$$G \xrightarrow{M} L$$

$$G(y_H - y_K) = L(x_K - x_H)$$

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

# Уравнения рабочих линий массообменных процессов

- противоток



$$G(-dy) = L \cdot dx$$

$$G(y_H - y) = L(x_K - x)$$

$$y = \frac{L}{G}x + \left(y_H - \frac{L}{G}x_K\right)$$

$$y = Ax + B$$

# Модифицированные уравнения массопередачи

1. Объем аппарата,  $V$  [м<sup>3</sup>]

$$M = K_y \Delta \bar{Y}_m F = K_y \Delta \bar{Y}_m V \sigma = K_{yV} \Delta \bar{Y}_m V ;$$

$$M = K_x \Delta \bar{X}_m F = K_x \Delta \bar{X}_m V \sigma = K_{xV} \Delta \bar{X}_m V ,$$

2. Высота аппарата,  $H$  [м]

$$F = H \cdot f \cdot \sigma$$

$$M = G(y_H - y_K) = k_y \cdot \Delta y_{\text{ср}} \cdot F$$

$$M = L(x_K - x_H) = k_x \cdot \Delta x_{\text{ср}} \cdot F$$

$$H = \frac{G}{k_y f \sigma} \cdot \frac{y_H - y_K}{\Delta y_{\text{ср}}}$$

$$H = h_y \cdot m_y = h_x \cdot m_x$$

# Основные законы массопередачи

В процессе переноса вещества из одной фазы в другую различают два случая:

- 1. массообмен между потоками жидкостей (газов);
- 2. массообмен между твердой фазой и потоком жидкости (газа).

Законы, которым подчиняется процесс переноса вещества из одной фазы в другую:

- - закон молекулярной диффузии;
- - закон массоотдачи;
- - закон массопроводности.

# Закон молекулярной диффузии (I-ый закон Фика)

Количество продиффундировавшего вещества пропорционально градиенту концентраций, площади, перпендикулярной направлению диффузионного потока, и времени.

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial n} dF d\tau$$

# Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (2-ой закон Фика)

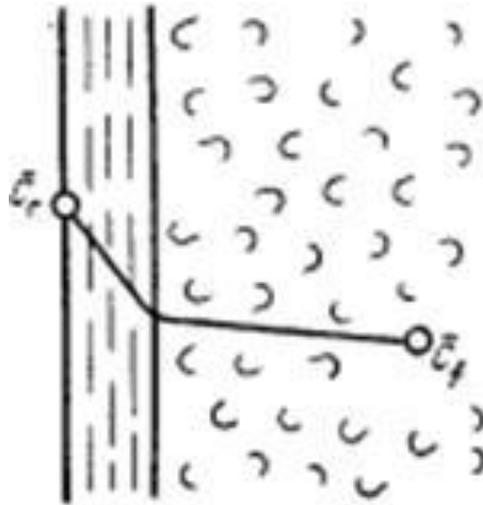
$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2} \right)$$

# Закон массоотдачи (закон Щукарева)

- Количество вещества, перенесенного от поверхности раздела фаз в воспринимающую фазу, пропорционально разности концентраций у поверхности раздела фаз и в ядре потока воспринимающей фазы, поверхности фазового контакта и времени.

$$dM = \beta (\bar{c}_T - \bar{c}_Я) dF d\tau$$

# Дифференциальное уравнение массоотдачи (конвективной диффузии)



$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z = D \left( \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2} \right)$$

Уравнение, характеризующее условия на границе раздела фаз

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

# Уравнения подобия конвективной диффузии

- Диффузионное число Нуссельта

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

- Диффузионное число Фурье

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

- Диффузионное число Пекле

$$Pe_D = \frac{w \cdot l}{D} = Re \cdot Pr_D$$

- Диффузионное число Прандтля

$$Pr_D = \frac{\mu}{D \cdot \rho}$$

$$Nu_{\text{д}} = f(Re, Gr, Pr_{\text{д}}, Fo_{\text{д}})$$

Для случая вынужденного движения  
потока

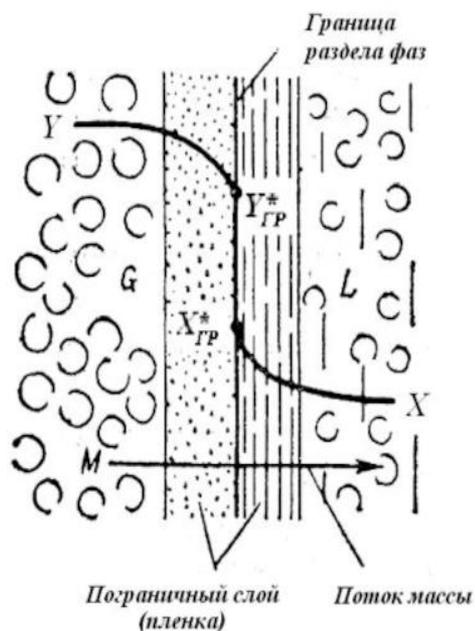
$$Nu_{\text{д}} = A \cdot Re^n \cdot Pr^m$$

Коэффициент массоотдачи

$$\beta = \frac{Nu_{\text{д}} \cdot D}{l}$$

# Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи

Схема процесса массопередачи

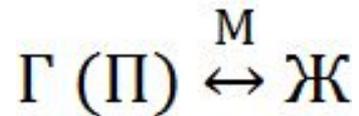


$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{A_p}{\beta_x}}$$

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

# Абсорбция

- - процесс избирательного поглощения компонентов газовых или паровых смесей жидким поглотителем (абсорбентом).



- Различают физическую абсорбцию и хемосорбцию.
- Десорбция – выделение компонента из жидкой фазы (регенерация абсорбента)

# Равновесие в системах газ-жидкость

- Закон растворимости газов в жидкости (закон Генри):

При данной температуре мольная доля газа в растворе (растворимость) пропорциональна парциальному давлению газа над раствором.

$$x = \frac{\bar{p}}{E}$$

$$\bar{p} = E \cdot x$$

- Закон Дальтона:

Парциальное давление компонента в газовой смеси равно общему давлению в системе, умноженному на мольную долю этого компонента в системе

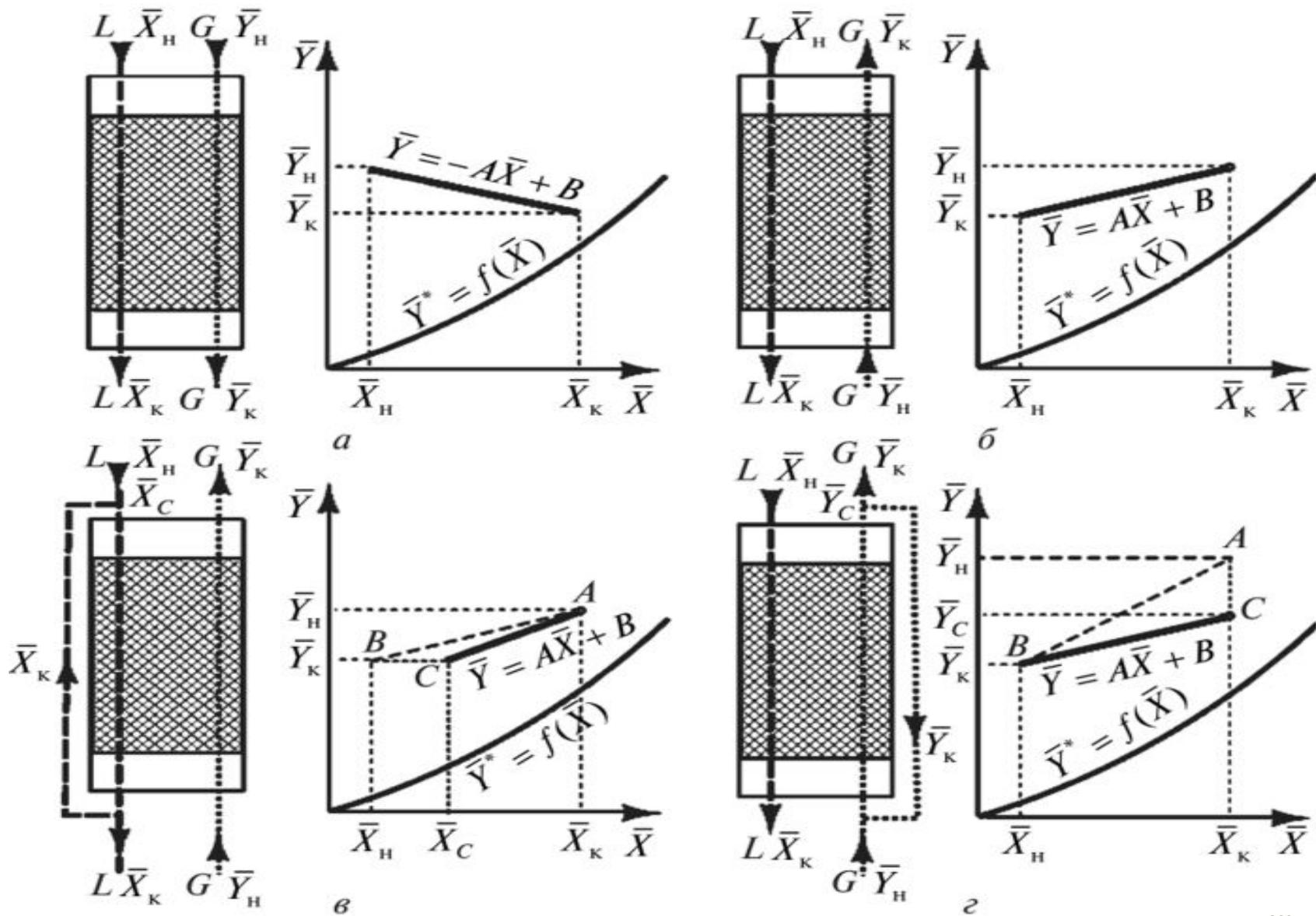
$$\bar{p} = P \cdot y \qquad y = \frac{\bar{p}}{P}$$

$$y = \frac{E}{P} x = A_p x$$

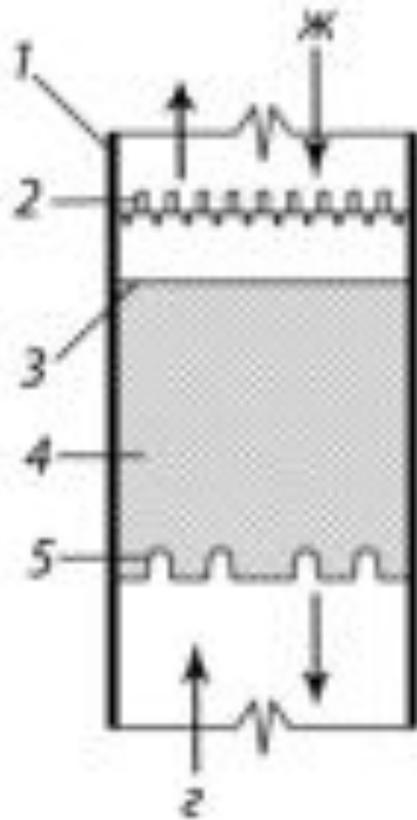
Факторы, улучшающие абсорбцию:

1. Уменьшение температуры;
2. Увеличение давления;
3. Отсутствие конкурентных примесей.

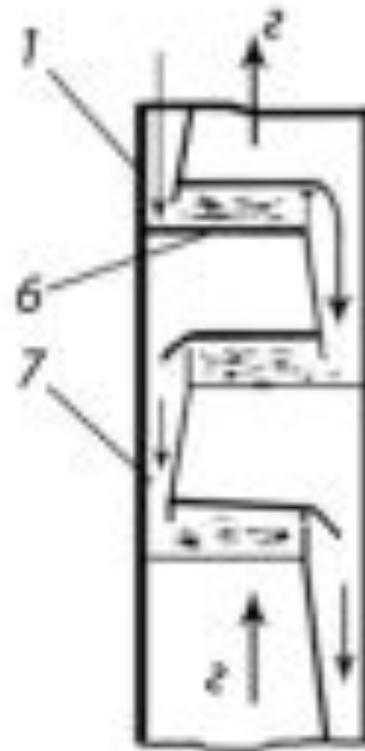
# Принципиальные схемы абсорбции



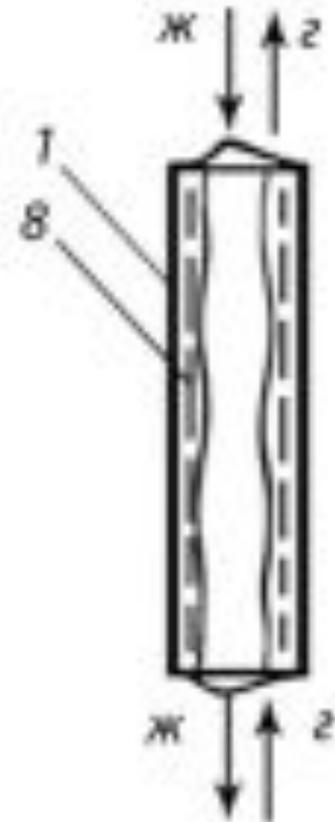
# Типы абсорберов



а)



б)



в)

