

# Сорбционные процессы



# Сорбционные процессы

Содержание лекции

- 1 Абсорбция. Сущность процесса и область применения
- 2 Материальный баланс и расход абсорбента
- 3 Устройство абсорбционных аппаратов
- 4 Адсорбция. Общие сведения
- 5 Требования к промышленным адсорбентам
- 6 Равновесие при адсорбции и материальный баланс
- 7 Аппараты для проведения процесса адсорбции



# Сущность процесса и область применения

Абсорбцией называется процесс поглощения газов или паров из газовых или парогазовых смесей жидким поглотителями (абсорбентами).

При физической абсорбции поглощаемый газ **(абсорбтив)**

не взаимодействует химически с абсорбентом.

Если же абсорбтив образует с абсорбентом химическое соединение, то процесс называется **хемосорбцией**.

Физическая абсорбция в большинстве случаев обратима.

Абсорбционные процессы обычно сопровождаются тепловыми процессами.

# Закон Генри

Зависимость между растворимостью газа и парциальным давлением выражается **законом Генри**, в соответствии с которым растворимость газа при данной температуре прямо пропорциональна парциальному давлению газа над жидкостью:

$$X = \psi \cdot p \quad (1)$$

где  $X$  – количество растворенного газа, отнесенное к поглощающей жидкости, моль/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств абсорбента и температуры;

$p$  – парциальное давление абсорбтива (поглощаемого газа), Па.



В соответствии с **законом Дальтона** в газовой смеси парциальное давление какого-либо компонента можно выразить уравнением:

$$p = y p_{\text{общ}} \quad (2)$$

где  $y$  – доля рассматриваемого компонента (абсорбтива) в газовой смеси;

$p_{\text{общ}}$  – общее давление газовой смеси, Па.

Из выражений (1) и (2) следует:

$$y = \frac{x}{\psi \cdot p_{\text{общ}}}$$

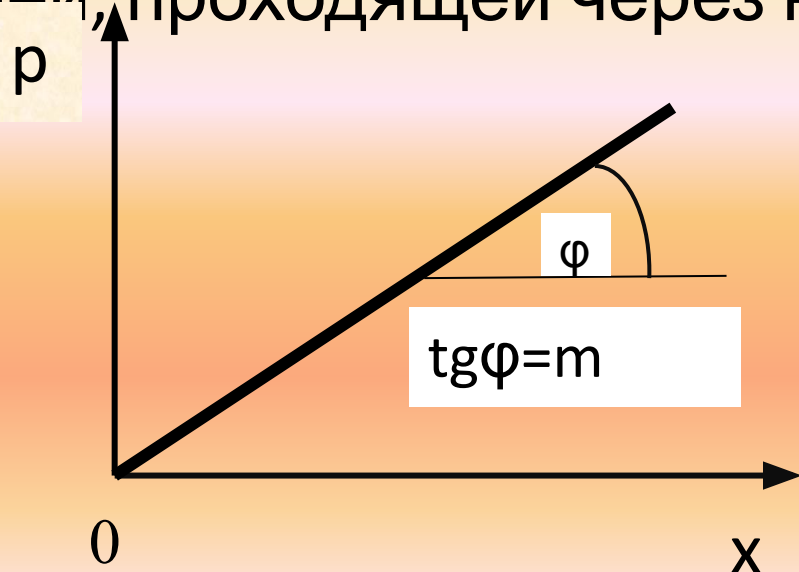
Обозначив отношение

$$\frac{1}{\psi \cdot p_{\text{общ}}}$$

через  $H$ , получим уравнение фазового равновесия  $y = Hx$ , (4)

где  $H$  – константа фазового равновесия.

Уравнение  $y=H \cdot x$  показывает, что зависимость между  
между концентрацией данного в газовой смеси и в  
равновесной с ней жидкости выражается прямой  
линией, проходящей через начало координат.



Линия  
равновесия  
процесса  
абсорбции

Численные значения  $m$  зависят от температуры и давления: уменьшаются с увеличением давления и снижением температуры. Растворимость газа в жидкости увеличивается с повышением давления и снижением температуры.

# Материальный баланс и расход

## абсорбента

Примем расходы фаз по высоте аппарата постоянными и выразим содержание поглощаемого газа в относительных мольных концентрациях.

Обозначим:  $G$  – расход инертного газа, кмоль/сек;

$Y_H$  и  $Y_K$  – начальная и конечная концентрации абсорбтива в газовой смеси, кмоль/кмоль инертного газа;

$L$  – расход абсорбента, кмоль/сек;

$X_H$  и  $X_K$  – начальная и конечная концентрации поглощаемого газа в абсорбенте, кмоль/кмоль абсорбента.

Тогда уравнение материального баланса будет:

$$G(y_H - y_K) = L(x_K - x_H) = M \quad (5)$$

где  $M$  – количество компонента, перешедшее из одной фазы в другую, кмоль/сек.

# Материальный баланс и расход абсорбента

Отсюда общий расход абсорбента  
(в кмоль/сек):

$$L = G(y_H - y_K) / (x_K - x_H) \quad (6)$$

а его удельный расход (в кмоль/кмоль  
инертного газа):

$$l = L/G = (y_H - y_K) / (x_K - x_H) \quad (7)$$





# устройство абсорбционных аппаратов

Абсорбция протекает на поверхности раздела фаз. Поэтому абсорберы должны иметь развитую поверхность контакта фаз между жидкостью и газом.

По способу образования этой поверхности абсорберы можно разделить на четыре группы.



# Устройство абсорбционных аппаратов

## АБСОРБЕРЫ

```
graph TD; A[АБСОРБЕРЫ] --> B[Поверхностные и пленочные абсорберы]; A --> C[Насадочные абсорберы]; A --> D[Барботажные абсорберы]; A --> E[Распыливающие абсорберы];
```

Поверхностные и пленочные абсорберы

Насадочные абсорберы

Барботажные абсорберы

Распыливающие абсорберы



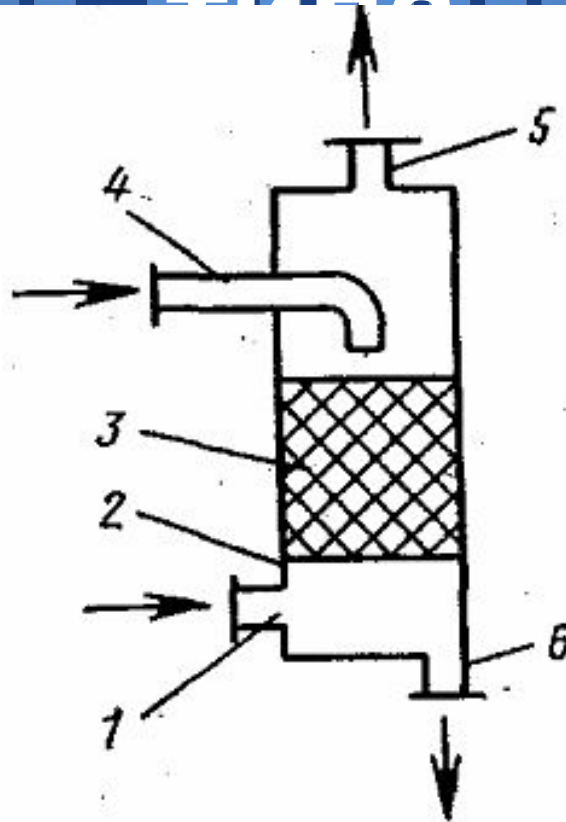
# Устройство абсорбционных аппаратов

1. Поверхностные и пленочные (газ пропускается над поверхностью движущейся жидкости. Поверхностью контакта в пленочных абсорберах является поверхность стекающей пленки жидкости);
2. Насадочные, в которых поверхностью контакта фаз является поверхность растекающейся по специальной насадке жидкости;
3. Барботажные абсорберы, в которых поверхность контакта фаз создается потоками газа (пара) и жидкости;
4. Распыливающие абсорберы, в которых поверхность контакта фаз создается вследствие разбрызгивания жидкости.



# Абсорбер насадочного

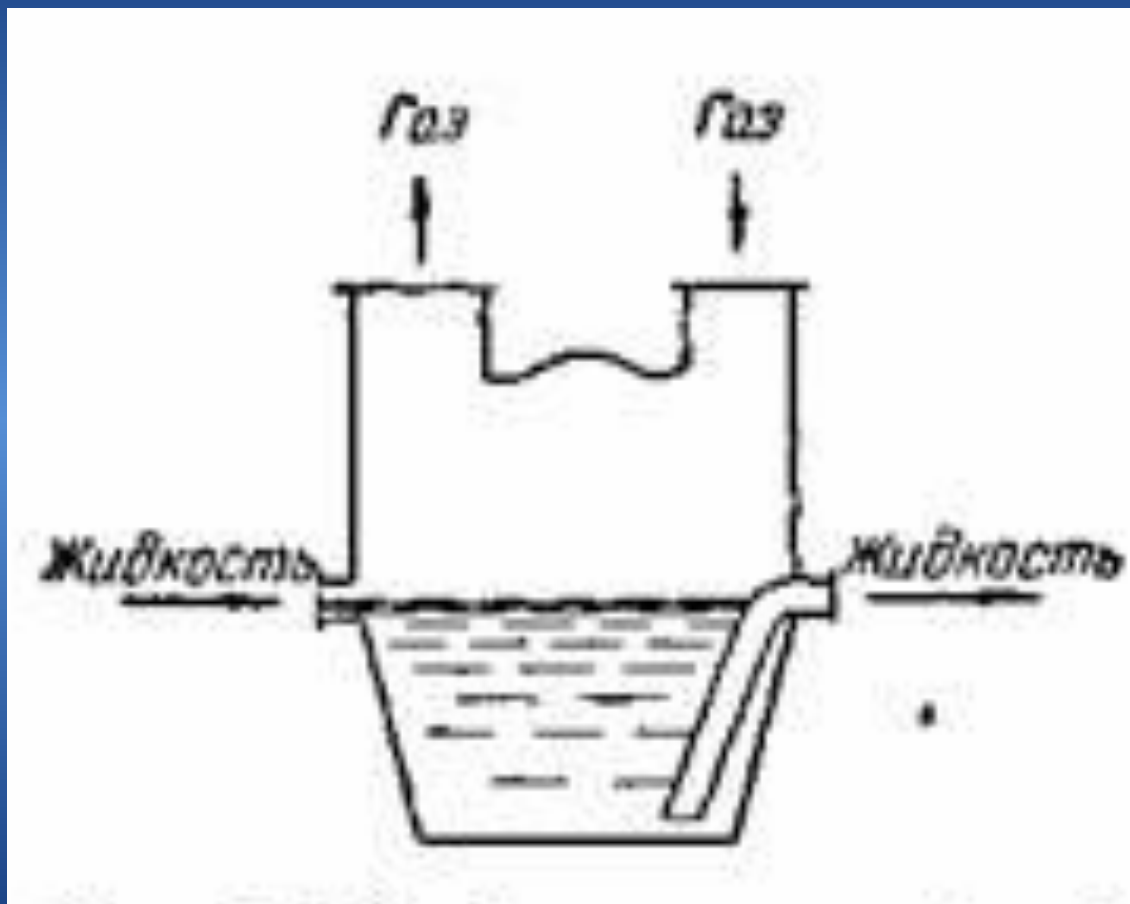
типа



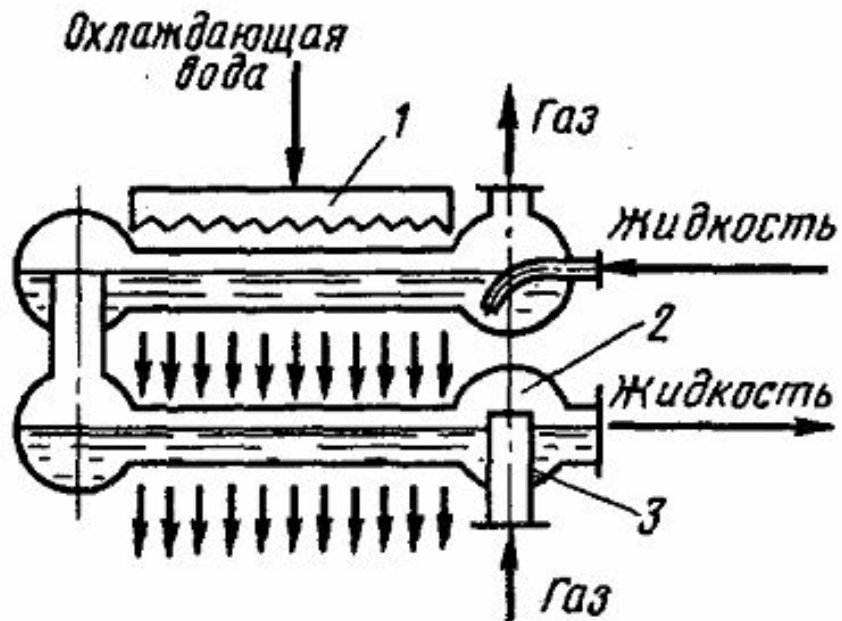
Абсорбер насадочного типа: 1 - патрубок для входа газа;  
2 - корпус; 3 - насадка; 4,6 - патрубки для входа и выхода  
абсорбента;  
5 - патрубок для выхода газа.



# Поверхностные абсорберы



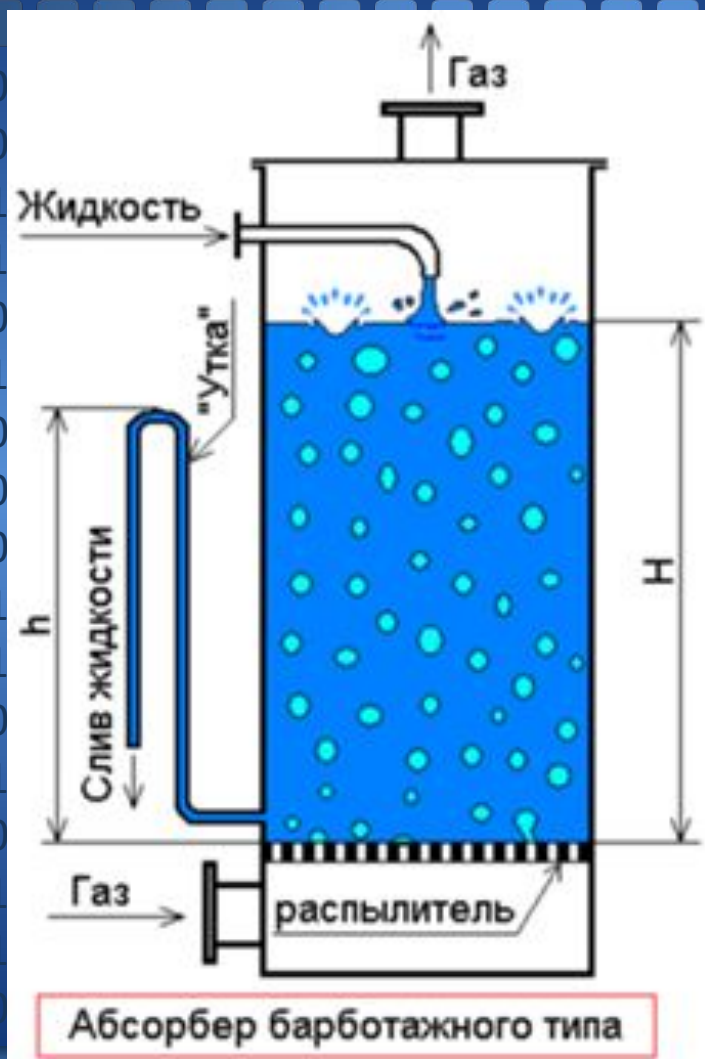
# Поверхностные



Поверхностный абсорбер: 1 -  
распределитель;  
2 - труба; 3 - порог.



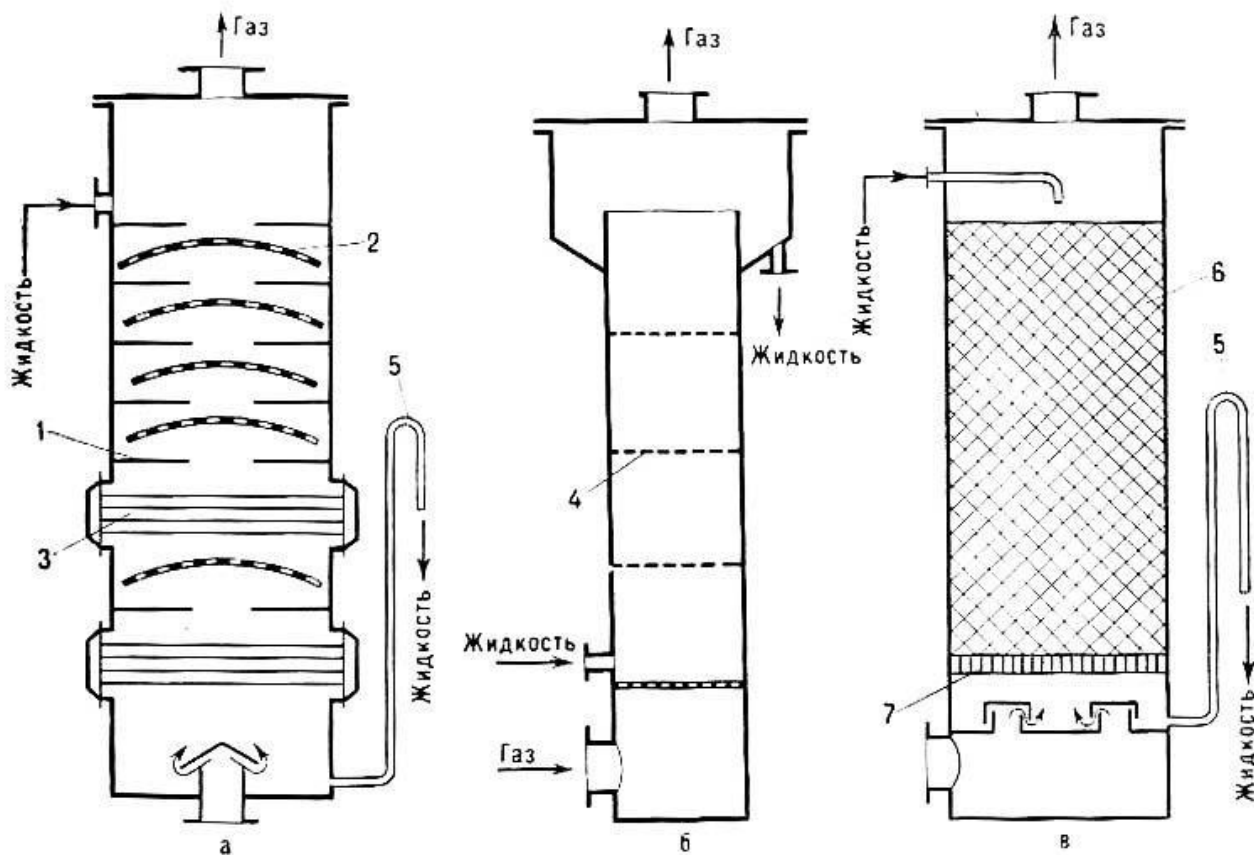
# Абсорберы барботажного типа



Абсорбер со  
сплошным  
барботажным слоем



# Абсорберы барботажного



Барботажные (тарельчатые) абсорберы с секционированием и с насадкой:

**а** — абсорбер с пассетами; **б** — абсорбер с секционированием ситчатыми тарелками;

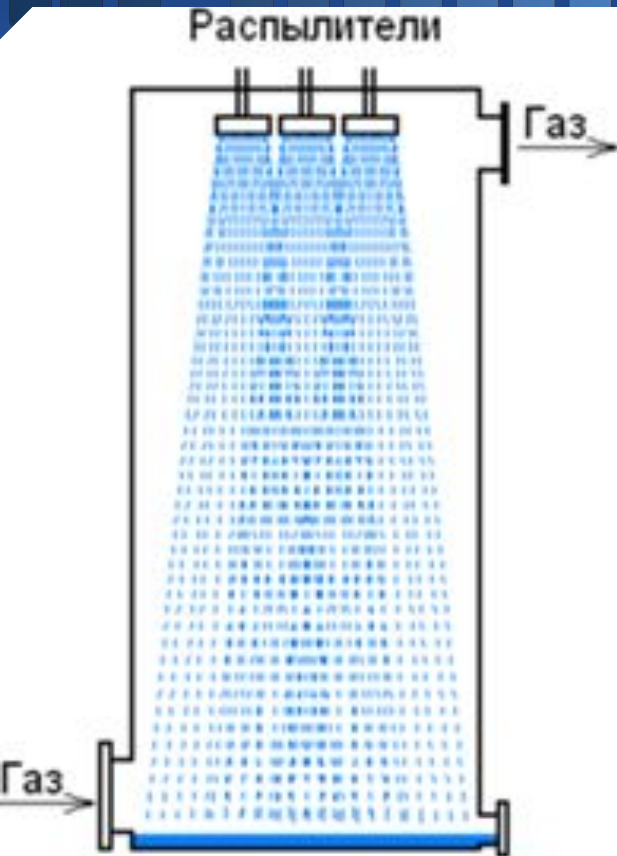
**в** — абсорбер с насадкой (эмульгационная колонна);

**1** — днище пассета; **2** — дырчатый колпак; **3** — холодильный элемент;

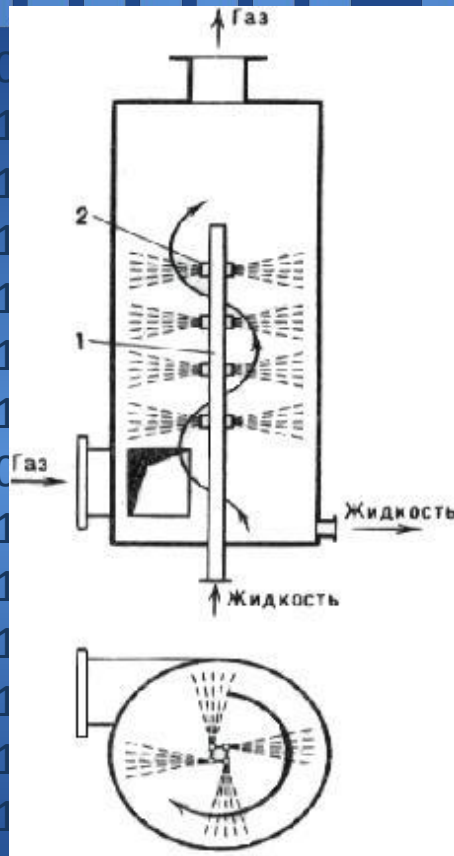
**4** — перфорированные перегородки (ситчатые тарелки); **5** — утка; **б** — насадка; **7** — решетка.



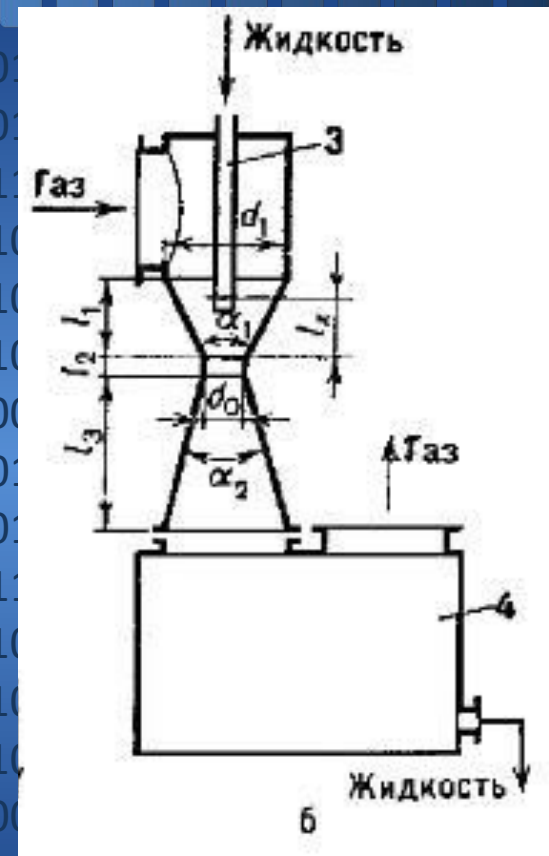
# Распыливающие абсорберы



Полый распыливающий абсорбер



Циклонный скруббер



Форсучный абсорбер Вентури



# Адсорбция



## Сущность процесса и область применения

Под адсорбцией понимают процесс поглощения одного или нескольких компонентов из газовой смеси или раствора твердым веществом – адсорбентом.

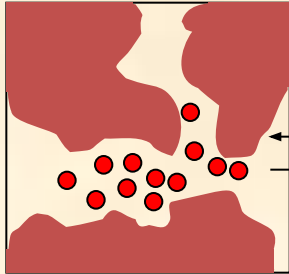
Поглощаемое вещество носит название адсорбата или адсорбтива.

Процессы адсорбции избирательны и обычно обратимы.

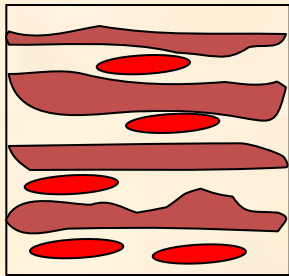


# Адсорбционные процессы

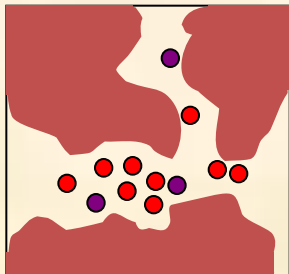
## Механизмы избирательности



\*один компонент обладает сильным взаимодействием с адсорбентом и, следовательно, селективно удаляется из смеси



\*один компонент не может поместиться в поры и, следовательно, исключается из адсорбции



\* один компонент обладает более высокой скоростью диффузии и поэтому выборочно удаляется из смеси

# Требования к промышленным адсорбентам

- обладать **избирательностью** (селективностью) - способностью поглощать только тот компонент (те компоненты), которые необходимо выделить или удалить из смеси;
- иметь максимальную **адсорбционную емкость** (активность) - количество адсорбтива, поглощенного единицей массы или объема адсорбента;
- обладать способностью предельно **десорбироваться**, необходимой для регенерации адсорбента;
- иметь достаточную **прочность гранул** адсорбента, так как их разрушение ухудшает гидродинамику процесса;
- обладать **химической инертностью** по отношению к поглощаемым веществам;
- иметь **низкую стоимость**.



# Адсорбенты

- В качестве адсорбентов широко применяются активные угли, которые получают при сухой перегонке углесодержащих веществ, таких, как дерево, торф, кости и др.
- Активирование проводят в основном прокаливанием углей при температурах выше  $900^{\circ}\text{C}$ , перед обугливанием вводят активирующие добавки (растворы хлористого цинка, кислот, щелочей и др.).
- Для обесцвечивания сахарных сиропов применяется активированный уголь, полученный на базе костяного угля. Типичным мелкозернистым углем для обесцвечивания сахарных сиропов, коньяков, вин, фруктовых соков, эфирных масел, желатина является уголь деколар.
- Удельная площадь поверхности активированных углей составляет **600-1750 м<sup>2</sup>/г.**



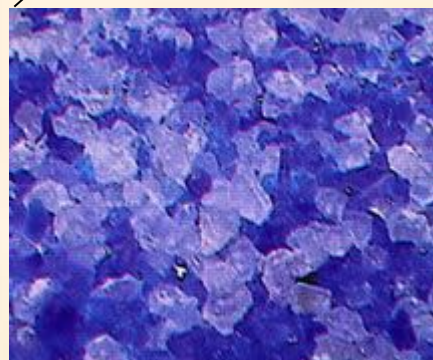
# Адсорбенты

- Цеолиты – водные алюмосиликаты природного или синтетического происхождения. Размер пор синтетических цеолитов соизмерим с размерами сорбируемых молекул, поэтому они могут адсорбировать молекулы, проникающие в поры. Такие цеолиты называют молекулярными ситами.
  - Цеолиты некоторых марок используются для концентрирования соков.
  - Цеолиты характеризуются высокой поглотительной способностью и применяются для осушки газов и жидкостей.
- СОКОВ.**



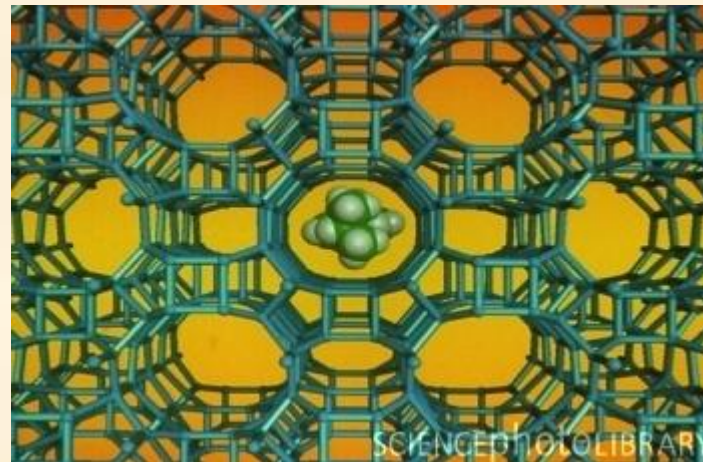
## Селикагели:

- гранулы пористых форм окси кремния
- аморфны
- гидрофильны
- 400-800 м<sup>2</sup>/g
- осушители

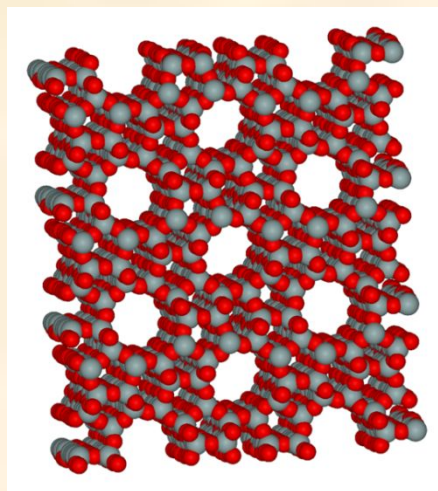


## Цеолиты

- пористые кристаллические материалы
- гидрофильны
- $600-700\text{m}^2/\text{g}$
- имеют высокоструктурированную пористую структуру



Морденит - природный минерал цеолита



Микропористая молекулярная структура цеолита ZSM-5



# Адсорбенты

- Глины и другие природные глинистые адсорбенты – бентонитовые глины и отбеливающие глины, гумбрин, асканит и др. – являются высокодисперсными системами со сложным химическим составом.
- Наиболее распространенным методом активации природных глин является обработка их минеральными кислотами.
- Удельная площадь поверхности глин составляет от 20 до 100 м<sup>2</sup>/г.



# Равновесие при адсорбции и материальный баланс

Количество вещества, адсорбированное единицей массы или объема данного поглотителя при достижении состояния равновесия зависит от температуры и концентрации поглощаемого вещества в парогазовой смеси или растворе.

Соответственно зависимость между равновесными концентрациями фаз при адсорбции имеет вид:

$$X^* = f(Y, T) \quad (8)$$

или при постоянной температуре

$$X^* = f_i(Y) \quad (9)$$

где:

\*X – относительная концентрация адсорбтива в адсорбенте, равновесная с концентрацией адсорбтива в газовой или жидкой фазе, кг адсорбтива/кг адсорбента;

Y – относительная концентрация адсорбтива, кг/кг носителя газовой смеси или раствора.



- Концентрация  $Y$  поглощаемого компонента может быть заменена его парциальным давлением растворов парогазовой смеси, тогда:

$$X^* = f_z(p).$$

- Представленные две зависимости представляют собой выраженные в самом общем виде уравнения линии равновесия при адсорбции, или изотермы адсорбции.
- Несмотря на сложность и своеобразие процесса, основные закономерности для процесса адсорбции имеют сходство с закономерностями абсорбционного процесса.
- Уравнение материального баланса имеет вид

$$G(Y_H - Y_K) = L(X_K - X_H) \quad (10)$$

где:

$X_H$  – начальное содержание сорбтива, отнесенное к единице веса сорбента;

$X_K$  – конечное содержание сорбтива, по окончании цикла работы аппарата.



# Равновесие при адсорбции и материальный баланс

- В последнее время стали применять адсорберы непрерывного действия, в которых адсорбент движется навстречу газовой смеси. В этом случае уравнение вполне идентично уравнению материального баланса процесса абсорбции.
- Количество адсорбированного вещества за время  $\tau$  может быть по аналогии с процессом абсорбции найдено из уравнения:

$$M = \beta \Delta C F \tau, \quad (11)$$

где  $\beta$  – коэффициент адсорбции;  $F$  – поверхность адсорбента,  $\text{м}^2$ ;  
 $\Delta C$  – движущая сила выражаемая разностью концентраций.



# Равновесие при адсорбции и материальный баланс

Величину коэффициента адсорбции  $\beta$  рассчитывают, используя известное уравнение критериальной зависимости

между диффузионными критериями Нуссельта и

Прандтля. Величина  $Nu_{\delta} = A Re^m Pr_{\delta}^n$  определяется степенями  $m$  и  $n$ .

определяется экспериментально. Так при поглощении паров активированным углем

при ориентировочных расчетах можно принять:

$$Nu_{\delta} = 1,6 Re^{0,54}.$$

Из уравнения  $M = \beta \Delta C F t$  можно определить необходимую поверхность адсорбента  $F$  и расход адсорбента. Далее рассчитываются размеры аппарата, для которого была подобрана требуемая поверхность массообмена.

# Аппараты для проведения процесса адсорбции

В пищевой промышленности наибольшее распространение адсорберы с неподвижным слоем адсорбента.

**Конструкции адсорберов изучить самостоятельно.**



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

