

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/м³;

ψ – 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:

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

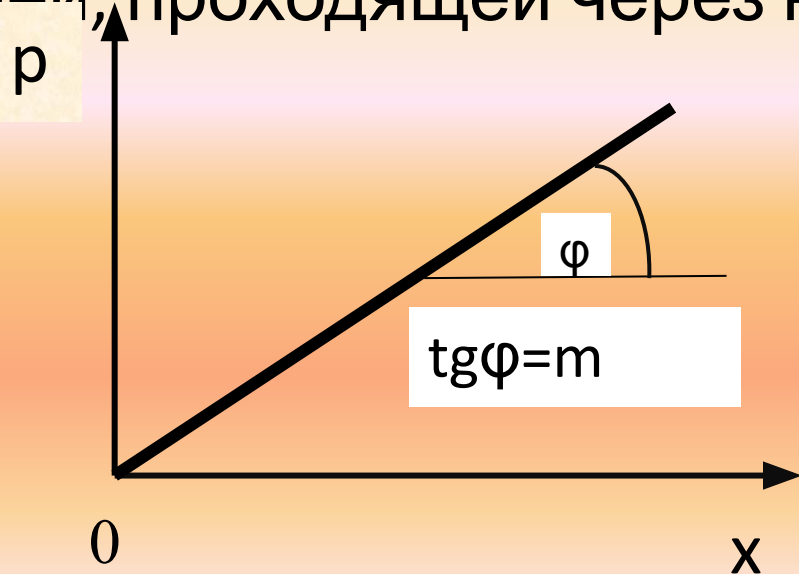
Обозначив отношение

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

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



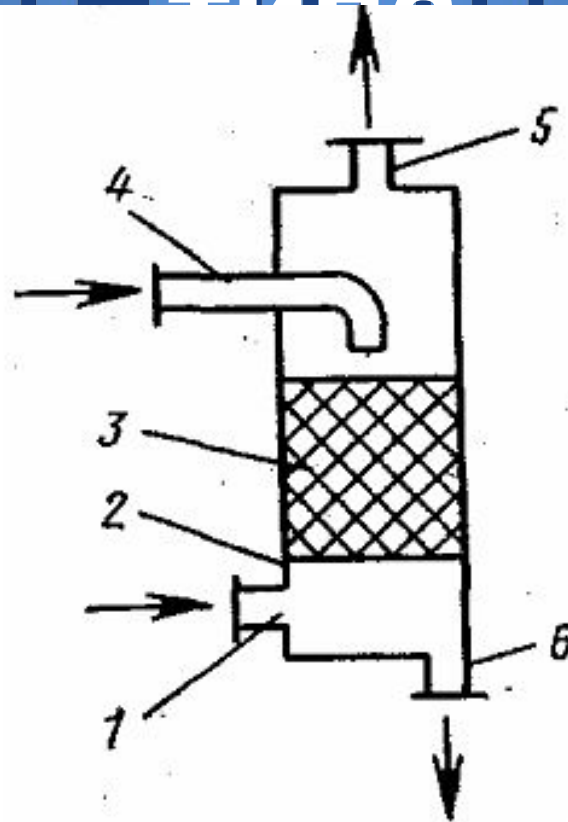
Устройство абсорбционных аппаратов

- 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

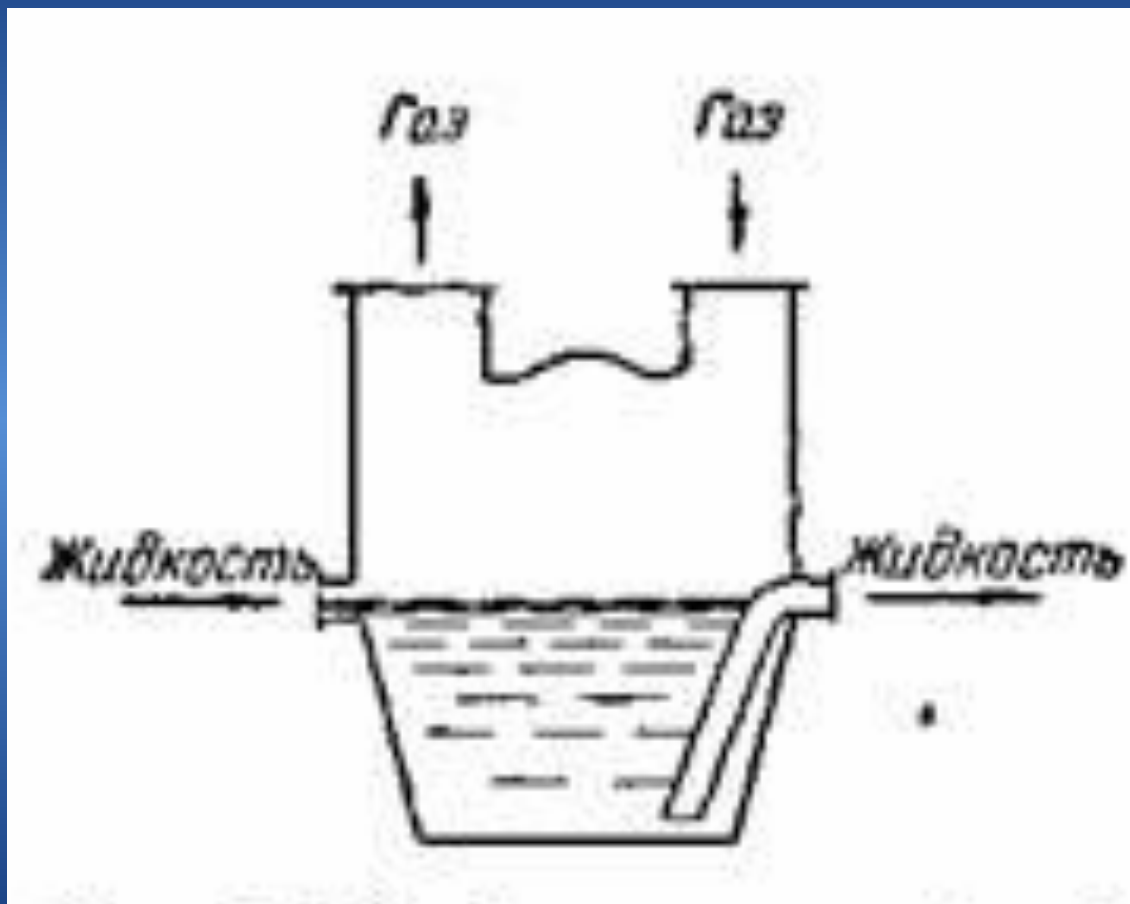
типа



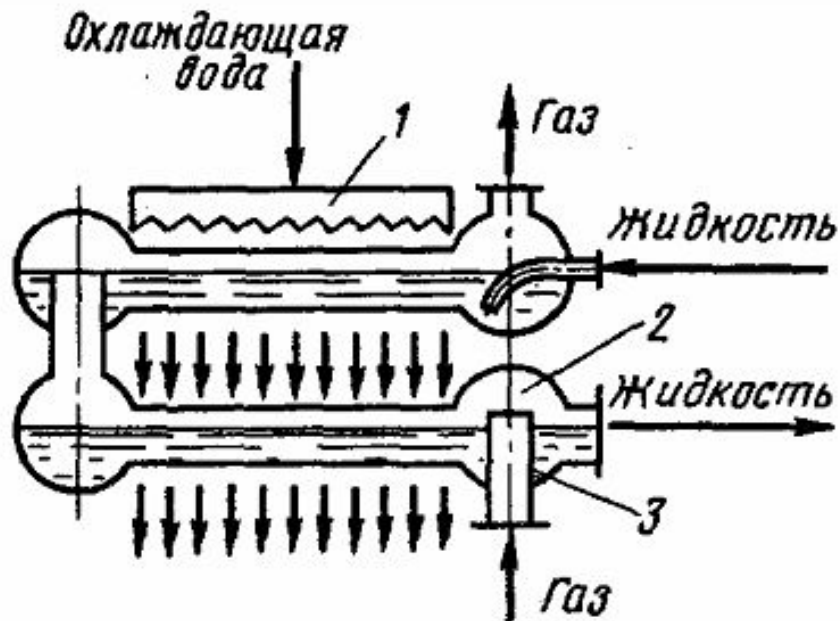
Абсорбер насадочного типа: 1 - патрубок для входа газа;
2 - корпус; 3 - насадка; 4,6 - патрубки для входа и выхода
абсорбента;
5 - патрубок для выхода газа.



Поверхностные абсорберы



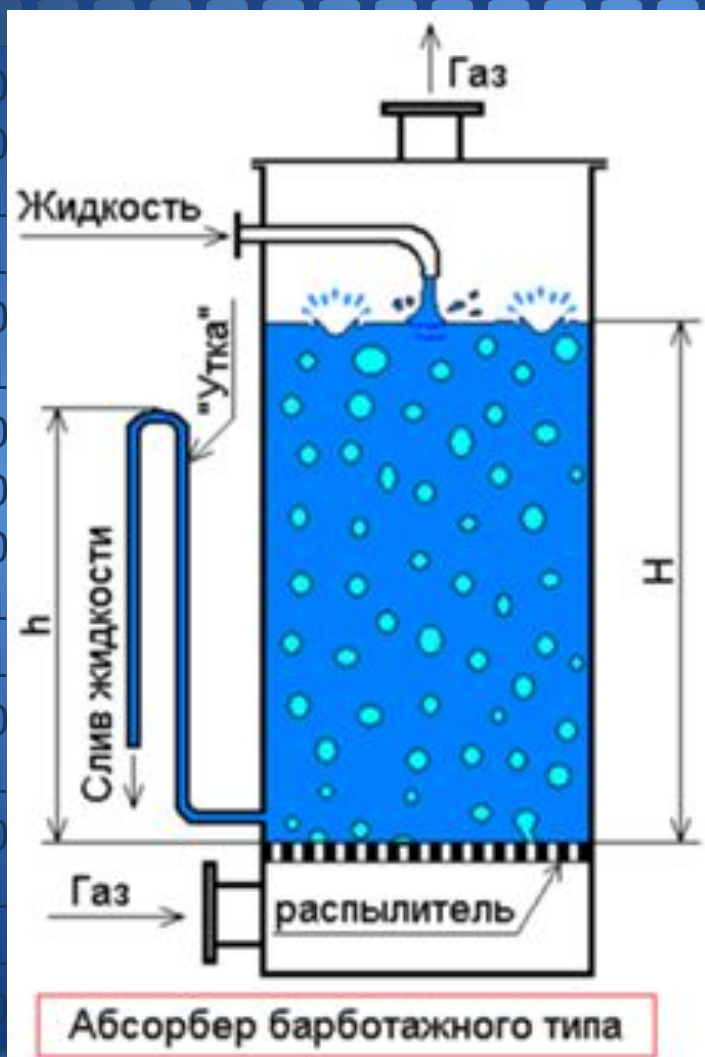
Поверхностные



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



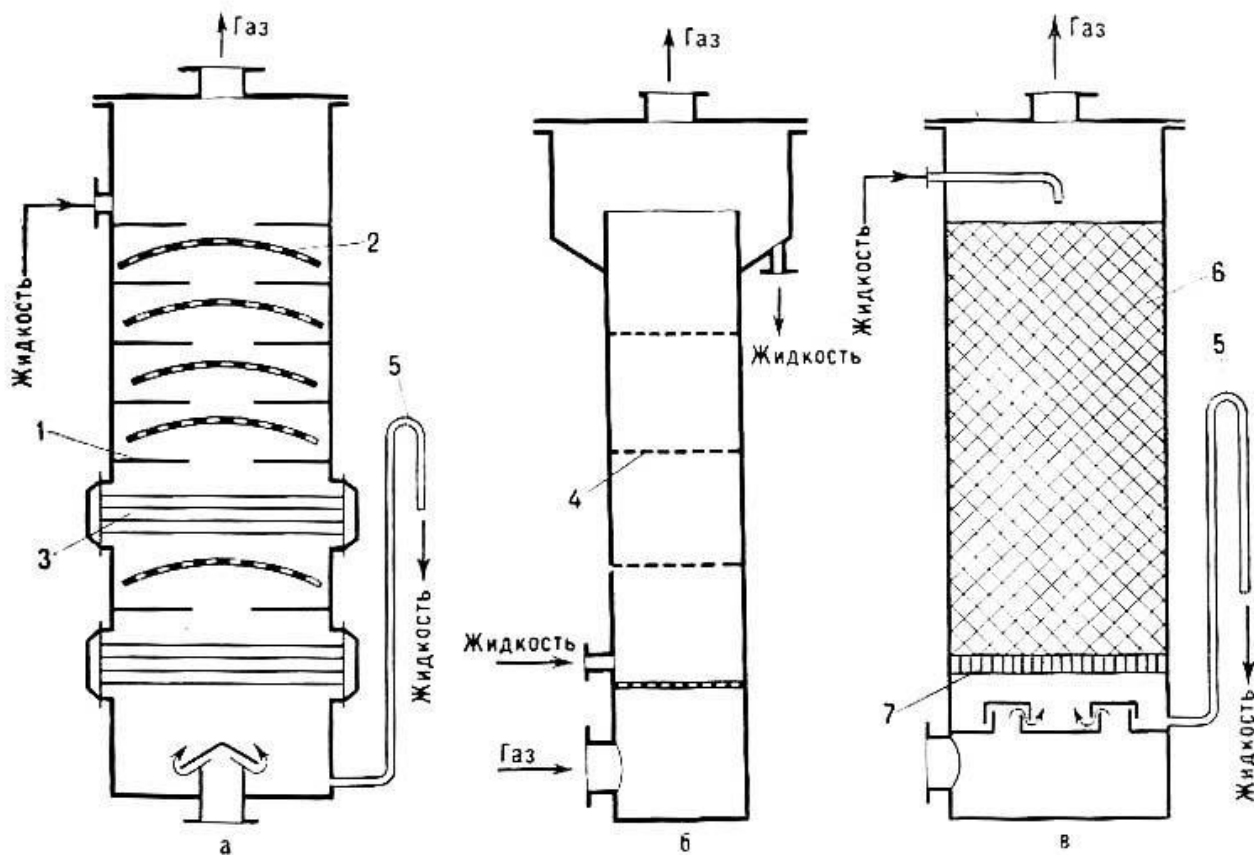
Абсорберы барботажного типа



Абсорбер со
сплошным
барботажным слоем



Абсорберы барботажного



Барботажные (тарельчатые) абсорберы с секционированием и с насадкой:

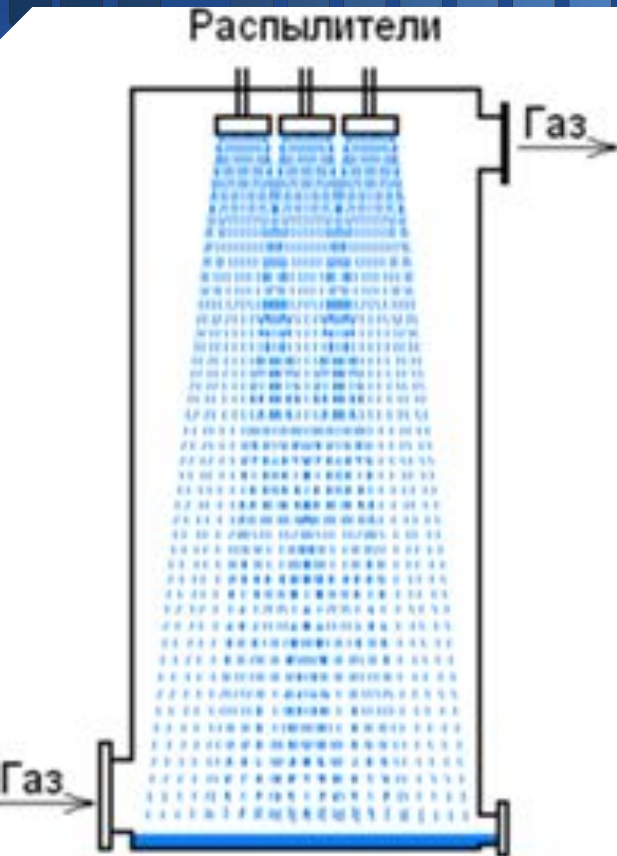
а — абсорбер с пассетами; **б** — абсорбер с секционированием ситчатыми тарелками;

в — абсорбер с насадкой (эмульгационная колонна);

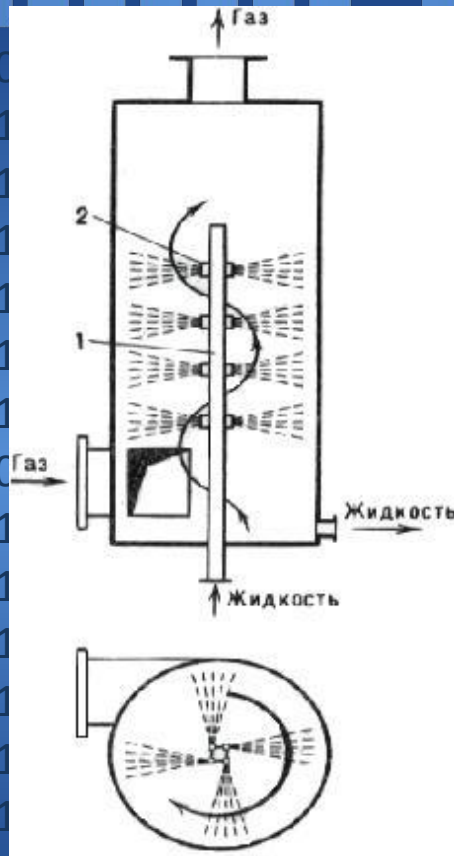
1 — днище пассета; **2** — дырчатый колпак; **3** — холодильный элемент;

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

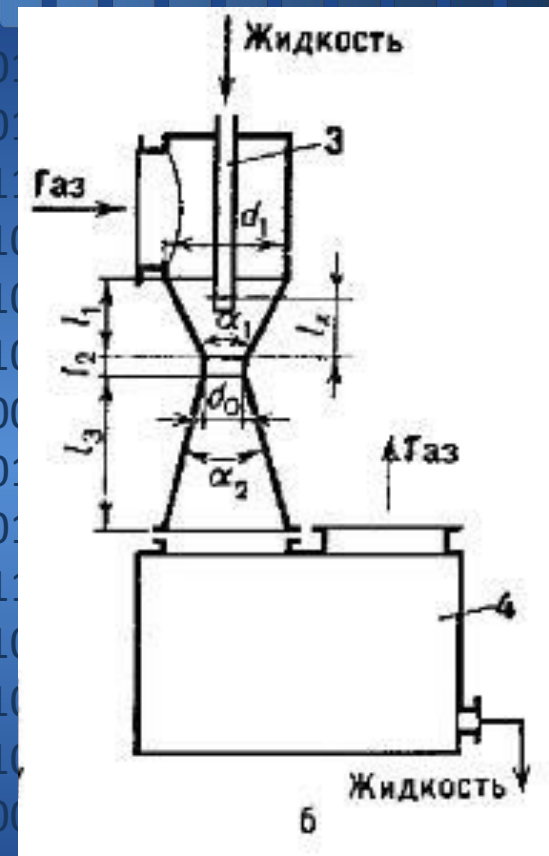
Распыливающие абсорберы



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.

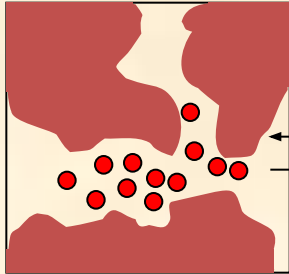
Поглощаемое вещество носит название адсорбата или адсорбтива.

Процессы адсорбции избирательны и обычно обратимы.

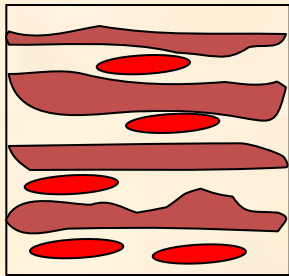


Адсорбционные процессы

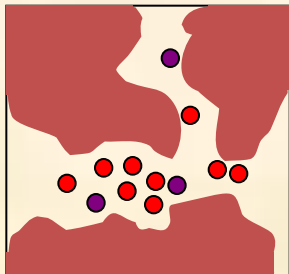
Механизмы избирательности



*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°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 м²/г.**



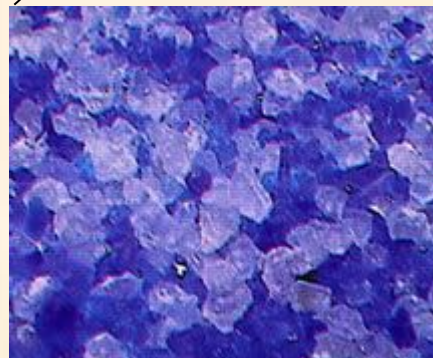
Адсорбенты

- 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.**



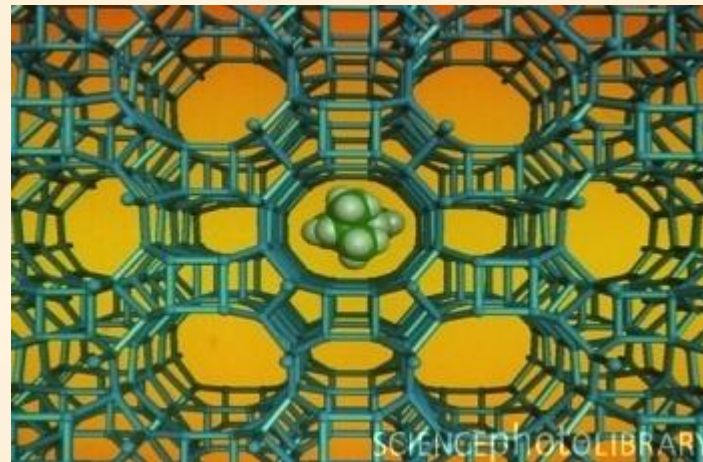
Селикагели:

- гранулы пористых форм окси кремния
- аморфны
- гидрофильны
- 400-800 м²/g
- осушители

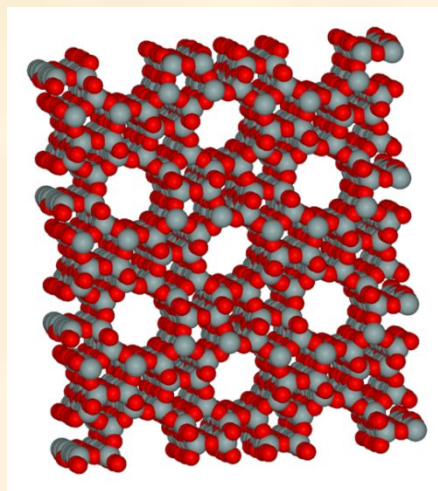


Цеолиты

- 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 м²/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 τ может быть по аналогии с процессом абсорбции найдено из уравнения:

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

где β – коэффициент адсорбции; F – поверхность адсорбента, м^2 ;
 ΔC – движущая сила выражаемая разностью концентраций.



Равновесие при адсорбции и материальный баланс

Величину коэффициента адсорбции β рассчитывают, используя известное уравнение критериальной зависимости

между диффузионными критериями Нуссельта и

Прандтля $Nu_{\delta} = A Re^m Pr_{\delta}^n$. Степени m и n определяют 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!

