

# Сорбция

Абсорбция

Адсорбция

Хемосорбция

# АБСОРБЦИЯ

*Абсорбция* – избирательное поглощение компонентов газовой смеси жидким поглотителем (абсорбентом).

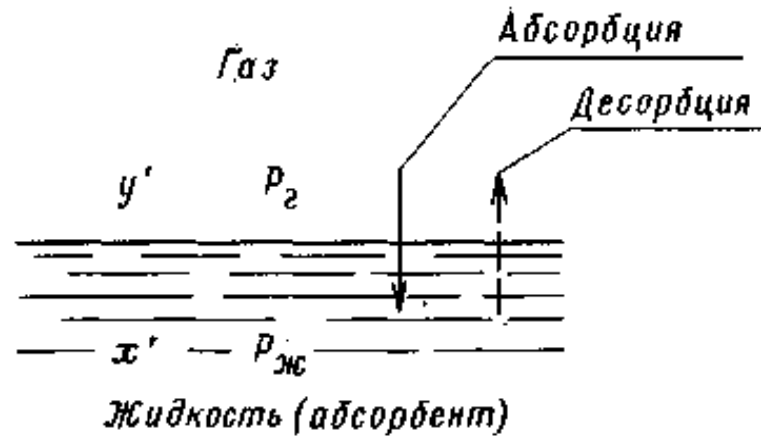
Процесс выделения из абсорбента поглощенных компонентов газовой смеси называется *десорбцией*.

Обычно применяют:

- для извлечения компонентов газа, содержащихся в относительно небольших концентрациях.
- для разделения, осушки и очистки углеводородных газов.
- для защиты окружающей среды

# Теоретические основы абсорбции.

Движущей силой процесса абсорбции является разность парциальных давлений компонента в газовой  $p_g$  и в жидкой  $p_{ж}$  фазах.



Если  $p_2 > p_{ж}$ , то компоненты газа переходят в жидкость, т. е. протекает процесс абсорбции. Если  $p_2 < p_{ж}$ , то поглощенные компоненты газа переходят из абсорбента в газовую фазу, т. е. осуществляется процесс десорбции.

В случае абсорбции многокомпонентной газовой смеси на некоторой ее стадии отдельные компоненты могут вытесняться другими поглощаемыми компонентами.

Высота абсорбера может быть определена по формуле

$$N=K*\pi*d*h*\Delta p$$

где  $N$  – количество газа, абсорбированного за единицу времени;  $K$  – коэффициент массопередачи;  $h$  – высота абсорбера;  $d$  – диаметр абсорбера;  $\Delta p$  – разность парциальных давлений поглощаемого газа (до и после абсорбции).

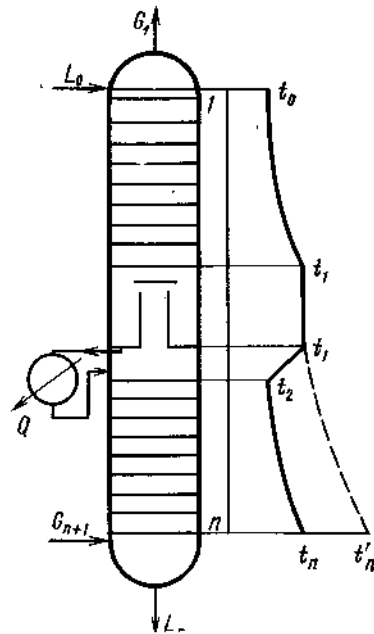
Из этого уравнения следует, что если  $\Delta p \rightarrow 0$ , то  $N \rightarrow 0$  и  $h \rightarrow 0$ , то полное (100%-ное) улавливание поглощаемого газа в абсорбере любой конструкции невозможно.

Обычной ошибкой технологов является предположение о том, что при хемосорбции, т. е. химическом взаимодействии поглощаемого газа с жидкостью, к. п. д. можно приблизить к 100% и сократить продолжительность абсорбции до времени реакции.



Хемосорбцию и абсорбцию желательно проводить:

- при пониженной температуре,
- при повышенном давлении газа
- при повышенных значениях критерия Рейнольдса ( $Re$ )
- отводить тепло реакции.



Поглощение компонентов газовой смеси при абсорбции сопровождается выделением тепла, величина которого пропорциональна массе и теплоте растворения  $qA$  поглощаемых компонентов, которая в первом приближении может быть принята равной теплоте конденсации соответствующего компонента.

# Влияние давления

- Повышение давления при абсорбции благоприятно сказывается на процессе, оно приводит к увеличению растворимости газа в абсорбенте, что позволяет снизить удельный расход абсорбента и уменьшить число тарелок в абсорбере.

# Влияние температуры

Понижение температуры процесса абсорбции желательно, так как при этом также снижается удельный расход абсорбента или уменьшается необходимое число тарелок.

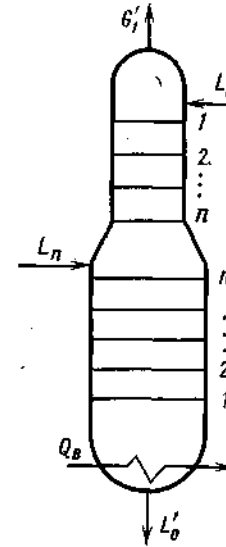
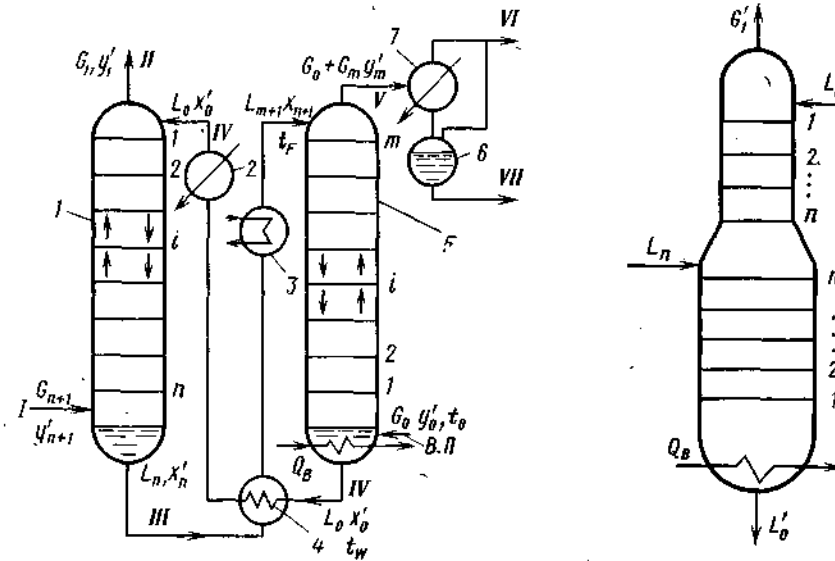
- Необходимое число тарелок в абсорбере и удельный расход абсорбента взаимосвязаны. Увеличивая расход абсорбента, можно уменьшить число тарелок в абсорбере и наоборот.

Увеличение числа тарелок приводит к:

- увеличению высоты аппарата,
- обслуживающих металлоконструкций,
- затрат на транспортирование абсорбента в пределах установки.

# Технология абсорбции.

В промышленности процессы абсорбции и десорбции обычно осуществляются на одной установке, обеспечивающей непрерывную регенерацию, и циркуляцию абсорбента по замкнутому контуру между абсорбером и десорбером



Принципиальная схема абсорбционно-десорбционной установки:  
 1 – абсорбер; 2 – холодильник; 3 – подогреватель; 4 – теплообменник;  
 5 – десорбер; 6 – емкость; 7 – конденсатор.

Потоки: I – сырой газ; II – сухой (тощий) газ; III – насыщенный абсорбент; IV – абсорбент; V – извлеченные компоненты; VI – несконденсированные газовые компоненты; VII – жидкий продукт.

# Основы расчета санитарных абсорберов

Содержание вредных веществ в рабочей зоне производственных помещений и предельно допустимые концентрации их в атмосферном воздухе населенных мест нормируются (на границе санитарно-защитной зоны).

Концентрацию примесей в газах, удаляемых через вентиляционную трубу, рассчитывают по формуле Андреева:

$$C_{\max} = 235 M_n / V_0 H$$

- где  $C_{\max}$  – максимальная концентрация на поверхности земли, мг/м<sup>3</sup>;
- $M_n$  – количество удаляемых примесей, мг/сек;
- $V_0$  – скорость ветра, м/сек;
- $H$  – высота вентиляционной трубы, м.



# ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА

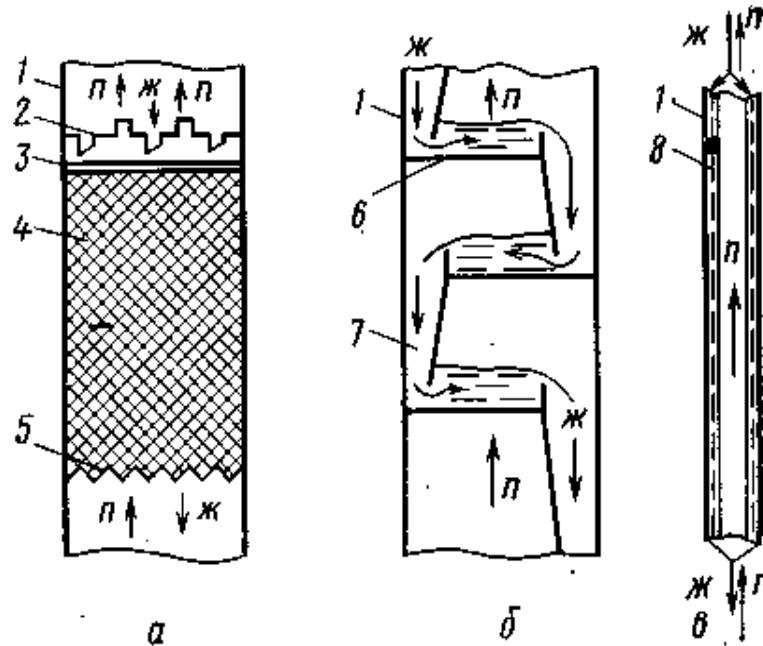
Аппараты этого типа могут быть классифицированы в зависимости от :

- рабочего давления,
- технологического назначения,
- типа контактных устройств.

В зависимости от применяемого давления колонные аппараты подразделяются на:

- атмосферные,
- вакуумные
- колонны, работающие под давлением

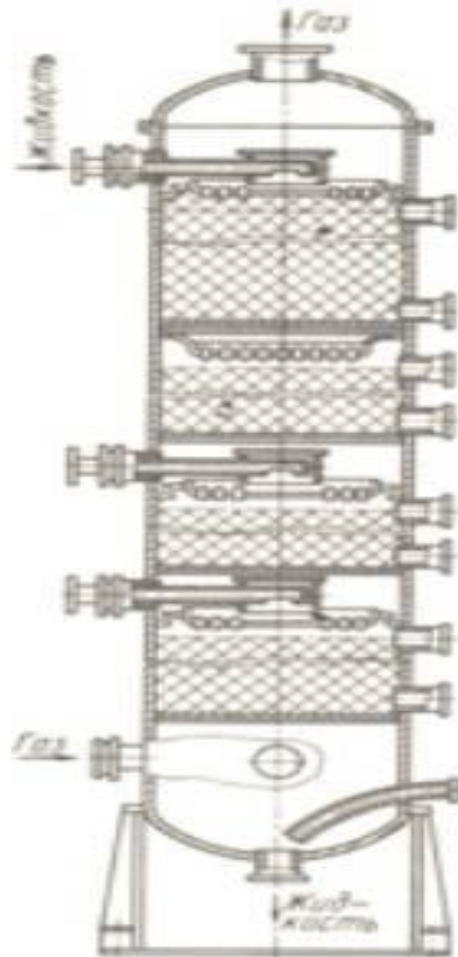
# Схемы основных типов колонных аппаратов



а – насадочный; б – тарельчатый; в – пленочный;

1 – стенка корпуса; 2 – распределитель; 3 – ограничительная решетка; 4 – насадка; 5 – опорная решетка; 6 – тарелка; 7 – переточное устройство; 8 – жидкостная пленка; п – пар; ж – жидкость.

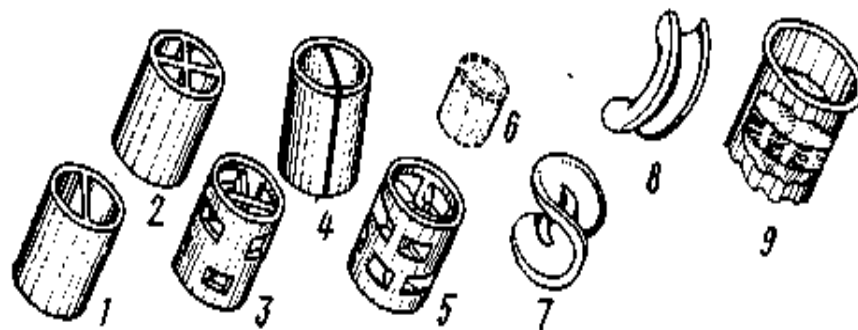
# НАСАДОЧНЫЕ КОЛОННЫ



# Насадки

В качестве насадок используют твердые тела различной формы, которые загружают в корпус колонны в навал или укладывают определенным образом и изготовленные из:

- металла,
- керамики,
- пластмасс и т. п.,

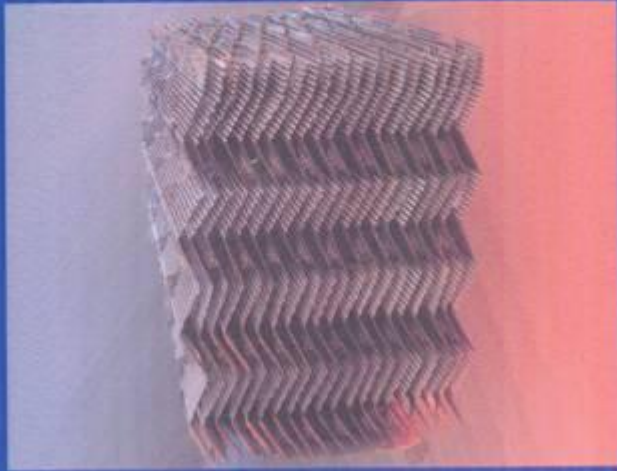


Кольца: 1 – керамические Лессинга; 2 – с крестообразными перегородками; 3 – керамические Палля; 4 – металлические Лессинга; 5 – металлические Палля; 6 – Борад с двойной сеткой.

Седла: 7 – Берля; 8 – Инталлокс.

Сетчатые насадки: 9 – Малтифил;

ВАКУПАК



КЕДР



- Основными конструктивными характеристиками насадок являются удельная поверхность и свободный объем.
- *Удельная поверхность насадки  $f$*  – это суммарная поверхность всех насадочных тел в единице занимаемого насадкой объема аппарата.
- Удельную поверхность обычно измеряют в  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .
- Чем больше удельная поверхность насадки, тем выше ее эффективность, но ниже производительность и больше гидравлическое сопротивление.

# *свободный объем*

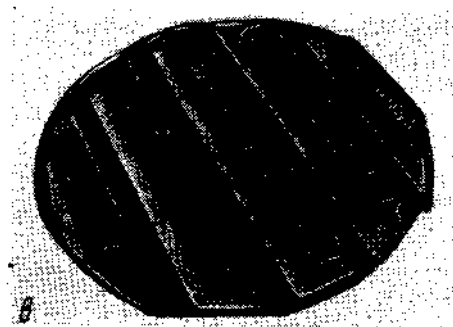
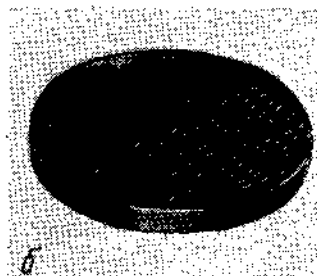
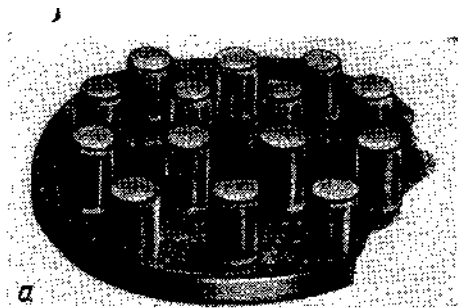
Под *свободным объемом насадки  $\varepsilon$*  понимают суммарный объем пустот между насадочными телами в единице объема, занимаемого насадкой.

Свободный объем измеряют в  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Чем больше свободный объем насадки, тем выше ее производительность и меньше гидравлическое сопротивление, однако при этом снижается и эффективность работы насадки.

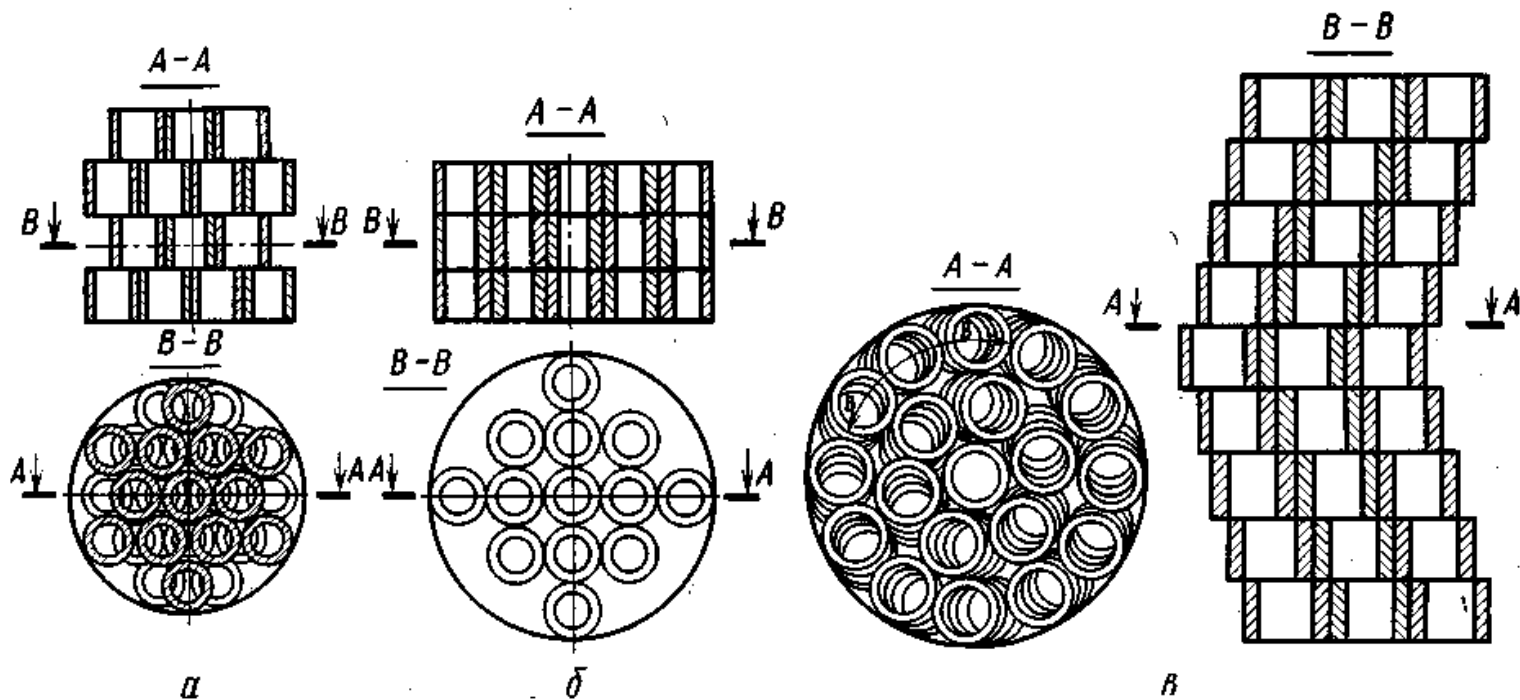


# опорно-распределительные ПЛИТЫ

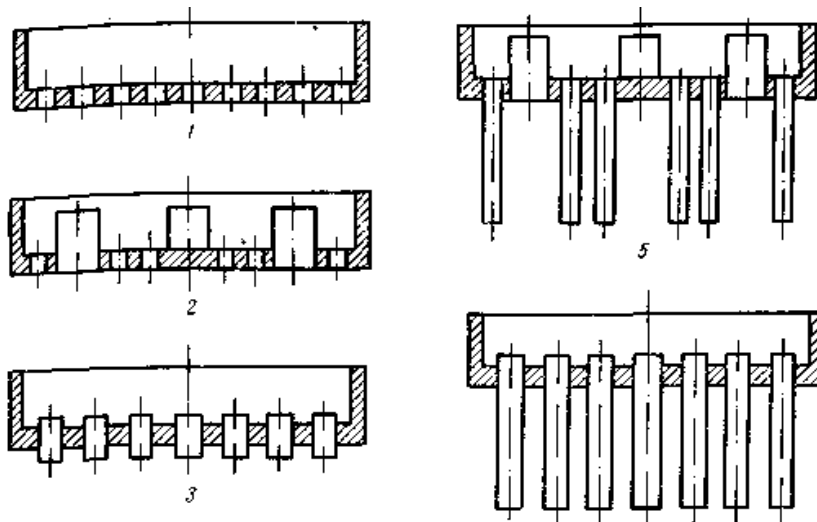


*а* – колпачкового типа; *б* – волнистая из просечного листа; *в* – сетчатого типа.

# Укладка насадок

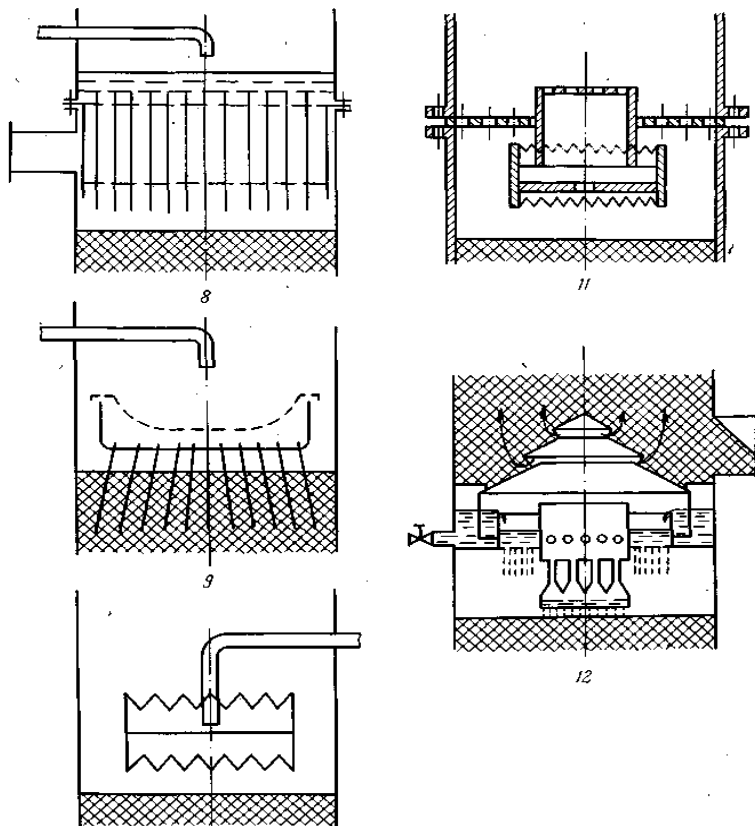


# Распределительные устройства



1 – гладкая перфорированная плита; 2 – перфорированная плита с кольцевым переливом для питающей жидкости и паропроводящими патрубками; 3 – плита с короткими парожидкостными патрубками; 4 – плита с удлиненными патрубками; 5 – плита с удлиненными патрубками для жидкости и паропроводящими патрубками;

# распределительные устройства



8 – перфорированный распределитель со стержнями, не достигающими до насадки; 9 – перфорированный распределитель со стержнями, утопленными в насадку; 10 – ороситель с зубчатыми краями для колонн диаметром до 300 мм; 11 – перераспределитель жидкости барботажного типа; 12 – перераспределитель жидкости и пара

# ТАРЕЛЬЧАТЫЕ КОЛОННЫ

В ректификационных и абсорбционных колоннах применяются тарелки различных конструкций, существенно различающиеся по своим рабочим характеристикам и технико-экономическим данным.

При оценке конструкций тарелок обычно принимают во внимание следующие показатели:

- производительность;
- гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ ;
- эффективность  $\eta$  при разных рабочих нагрузках;
- диапазон рабочих нагрузок в условиях достаточно высокой эффективности,
- сопротивление одной теоретической тарелки ( $\Delta p/\eta$ ) при различных рабочих нагрузках;
- возможность работы на средах, склонных к полимеризации, образованию инкрустаций и т. п.;
- простоту конструкции, проявляющуюся в трудоемкости изготовления, монтажа, ремонтов;
- металлоемкость

## **Применяются следующие виды тарелок:**

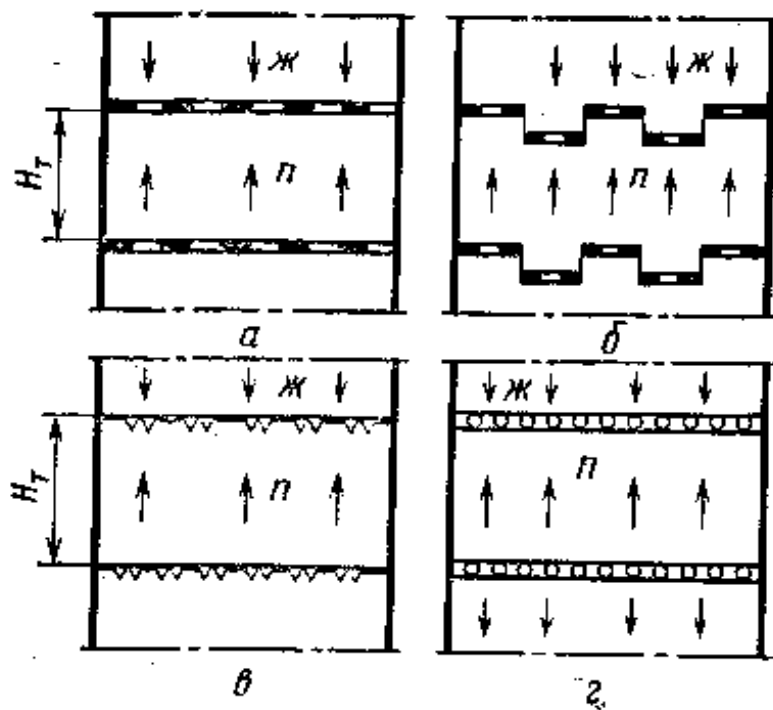
- Трапецивидно-клапанные
- Щелевидные
- Ситчатые многосливные
- Центробежные
- Глухие
- Каскадные
- Решётчатые
- Распределительные типа ТСН-2, ТСН-3
- Колпачковые

По способу передачи жидкости с тарелки на тарелку различают два основных типа:

- тарелки со специальными переточными устройствами
- тарелки провальные.

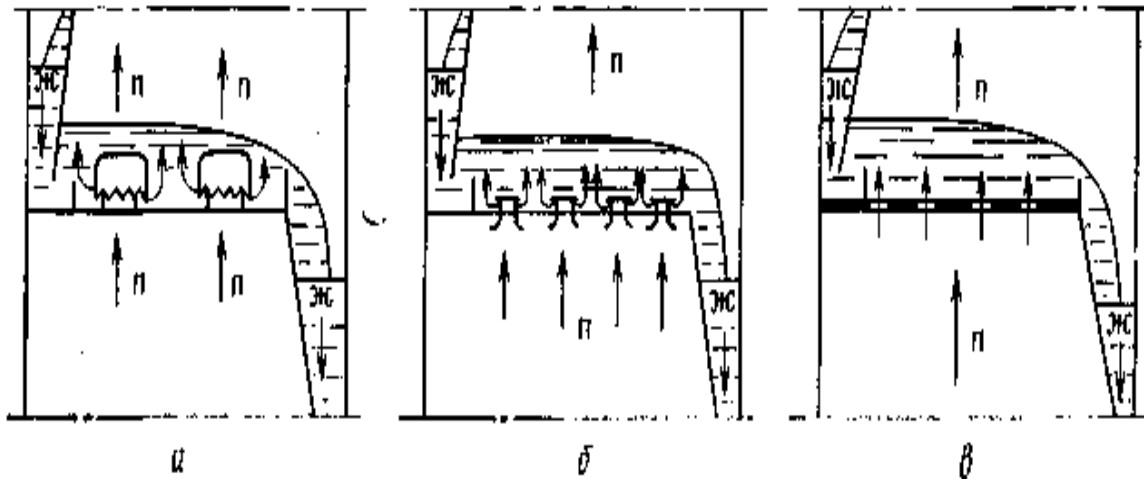


# Схемы основных модификаций тарелок провального типа:



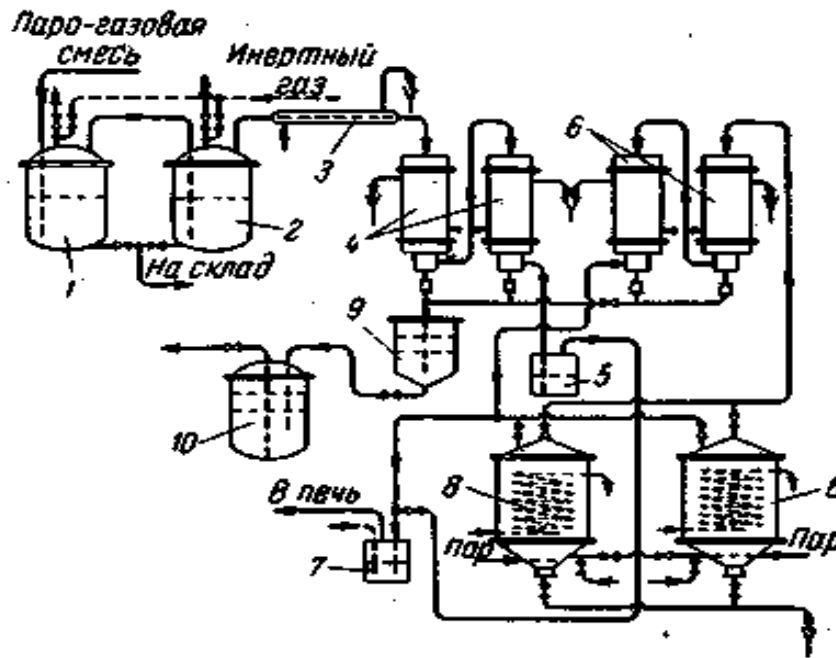
а – из плоского листа; б – ступенчатая; в – с отогнутыми кромками щелей; г – трубчато-решетчатая; ж – жидкость; п – пар.

# Схемы основных разновидностей барботажных тарелок:



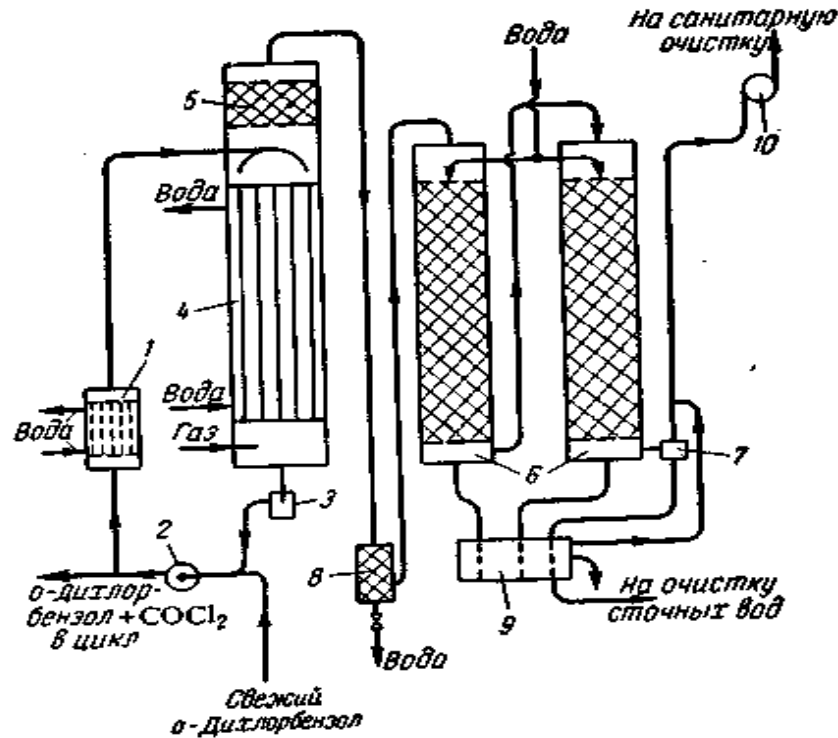
а – колпачковая; б – клапанная; в – ситчатая; ж – жидкость; п – пар.

# Схема обезвреживания отходящих газов производства каптакса



1, 2 – поглотители сероводорода; 3 – холодильник; 4, 6 – холодильники-конденсаторы; 5, 7 – гидрозатворы; 8 – адсорберы; 9 – промежуточный сборник сероуглерода; 10 – сборник, сероуглерода.

# Схема абсорбции фосгена



1 – холодильник; 2 – насос; 3 – гидрозатвор; 4 – абсорбер; 5 – каплеуловитель;  
6 – скрубберы; 7 – разделитель фаз; 8 – поглотитель воды; 9 – сборник-гидрозатвор; 10 – эксгаустер.

# АДСОРБЦИЯ

*Адсорбцией* называется процесс поглощения газов (паров) или жидкостей поверхностью твердых тел (адсорбентов).

Поглощаемое вещество, находящееся вне пор адсорбента, называется *адсорбтивом*, а после его перехода в адсорбированное состояние — *адсорбатом*.

# В нефтехимической промышленности адсорбция применяется для:

- отбензинивания природных и попутных углеводородных газов,
- при разделении газов нефтепереработки с целью получения водорода и этилена,
- для осушки газов и жидкостей,
- выделения низкомолекулярных ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов) из бензиновых фракций,
- для очистки масел и т. п.

# Виды адсорбции

- физическая
- химическая.

При *физической адсорбции* молекулы поглощенного вещества, находящиеся на поверхности адсорбента, не вступают с ним в химическое взаимодействие.

При *хемосорбции* молекулы поглощаемого вещества химически взаимодействуют с адсорбентом.

При физической адсорбции связь молекул поглощенного вещества (адсорбата) с адсорбентом менее прочна, чем при хемосорбции.

Физическая адсорбция является экзотермическим процессом.

Для газов и паров теплота адсорбции примерно равна теплоте их конденсации, теплота адсорбции из растворов несколько меньше.



Процесс адсорбционного разделения прекращается, когда активная поверхность (или объем пор) адсорбента оказывается заполненной молекулами адсорбата.

Исчерпание адсорбционной способности – *проскок* определяет время *защитного действия* адсорбента по отношению к данному компоненту.

Адсорбируемость веществ зависит от :

- их природы,
- строения молекул,
- от природы и структуры адсорбента (величины удельной поверхности, размеров пор и т. п.).

Адсорбируемость углеводородов обычно возрастает с увеличением их молекулярной массы, однако более значительное влияние оказывают структура и размеры их молекул.

# В качестве адсорбентов используются:

- активированный уголь,
- силикагель,
- алюмосиликаты,
- цеолиты ( $\text{Me}_{2/n}\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  )
- и др.

Удельная поверхность пор может составлять от 200 до 1000 м<sup>2</sup>/г, а средний радиус пор от 2 до 100 А.

- Характеристикой адсорбентов является их *активность*, или емкость  $a$ :

$$A = G_A / g_A$$

где  $G_A$  - масса поглощенных компонентов;  
 $g_A$  - масса адсорбента.

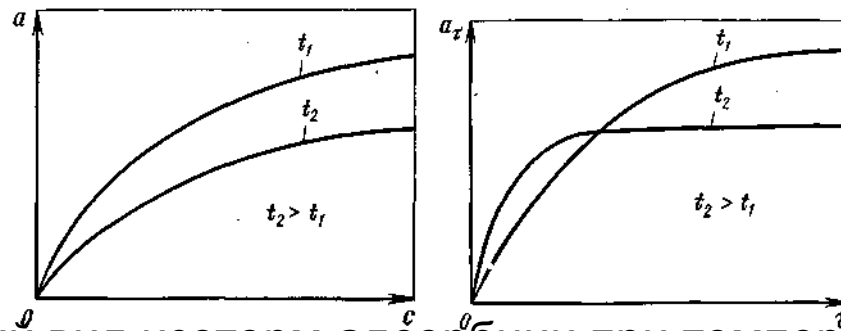
**Статическая активность** определяется количеством вещества, поглощенного единицей массы (или объема) адсорбента до установления состояния равновесия между поглотителем и средой, из которой извлекается данный компонент.

**Динамическая активность** характеризуется количеством вещества, поглощенного единицей массы (или объема) адсорбента, до начала «проскока» через него данного компонента.

Статическая активность на 10...20% больше динамической. Значения статической и динамической активности адсорбента весьма важны для расчета адсорбционной аппаратуры.

# *Изотерма адсорбции*

она связывает активность адсорбента (в массовых, мольных или объемных единицах) с концентрацией или парциальным давлением (в случае газовой фазы) компонента разделяемой смеси при данной температуре.



Общий вид изотерм адсорбции при температурах  $t_1$  и  $t_2$   
Кинетические кривые адсорбции при разных температурах.

Для описания изотермы адсорбции наибольшее распространение получили

- уравнение Лэнгмюра  $A = A_1 b c / (1 + b c)$
- уравнение Фрейндлиха  $a = A_2 c^d$

где  $a$  – активность (емкость) адсорбента;

$c$  – концентрация или парциальное давление адсорбируемого компонента;

$A_1, A_2, b, d$  – коэффициенты и показатели степени, зависящие от природы адсорбента и адсорбата, а также от температуры.



# *Скорость адсорбции*

определяется скоростями следующих основных стадий:

- 1) подвода вещества к поверхности зерен адсорбента – внешняя диффузия;
- 2) перемещения вещества внутри зерен по порам адсорбента – внутренняя диффузия;
- 3) собственно адсорбции.

# ДЕСОРБЦИЯ

После окончания стадии адсорбции осуществляется стадия десорбции поглощенных компонентов из адсорбента.

# Десорбция адсорбента осуществляется следующими способами.

- Вытеснение поглощенных компонентов с поверхности адсорбента другим веществом, обладающим более высокой адсорбируемостью, с последующим его выделением из адсорбента.
- Вытеснение адсорбированных компонентов веществом, обладающим меньшей адсорбируемостью (неполярные растворители).
- Испарение адсорбированных компонентов при нагреве адсорбента или при понижении общего давления в системе либо парциального давления адсорбированных компонентов.
- Окислительная регенерация, при которой адсорбированные компоненты удаляют из адсорбента путем их сжигания.

Десорбция облегчается:

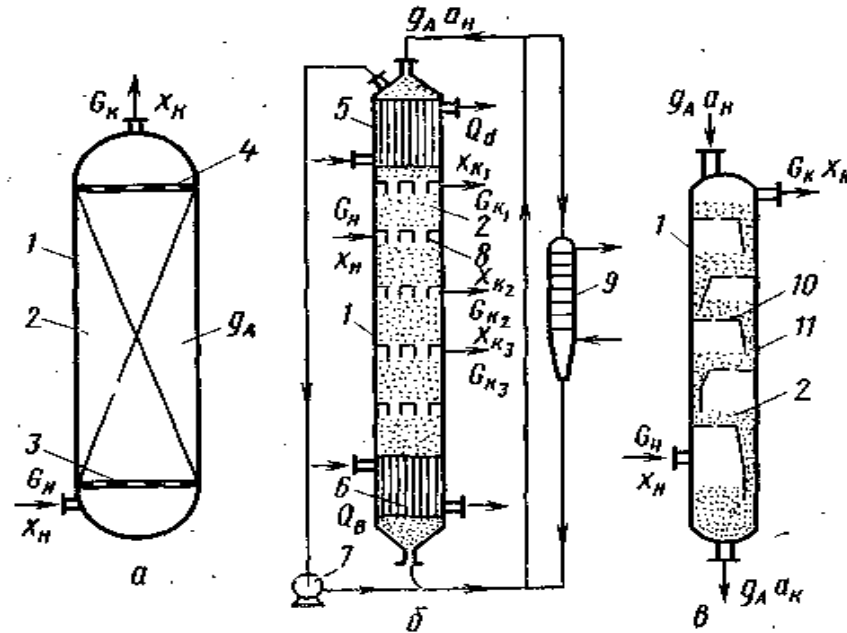
- с повышением температуры
- увеличением расхода десорбирующего агента
- при понижении давления в системе.

# МЕТОДЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ

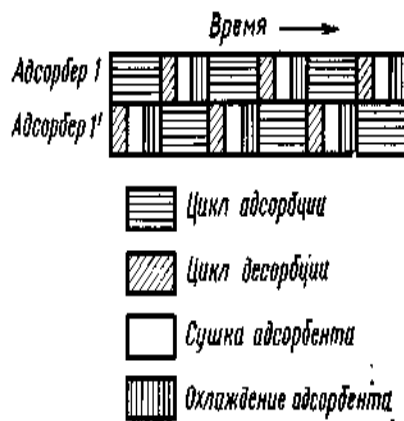
В промышленности применяются следующие варианты осуществления процесса адсорбции:

- с неподвижным слоем адсорбента;
- с движущимся слоем адсорбента;
- с псевдооживленным слоем адсорбента.

# Схемы процесса адсорбции



а – с неподвижным слоем; б – с движущимся слоем; в – с псевдоожиженным слоем; 1 – корпус; 2 – адсорбент; 3 – опорная решетка; 4 – ограничительная решетка; 5 – холодильник; 6 – подогреватель; 7 – газодувка; 8 – распределитель; 9 – реактиватор; 10 – контактная тарелка; 11 – переточное устройство.



Циклический график работы адсорберов

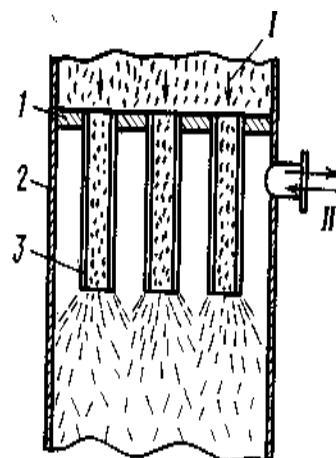
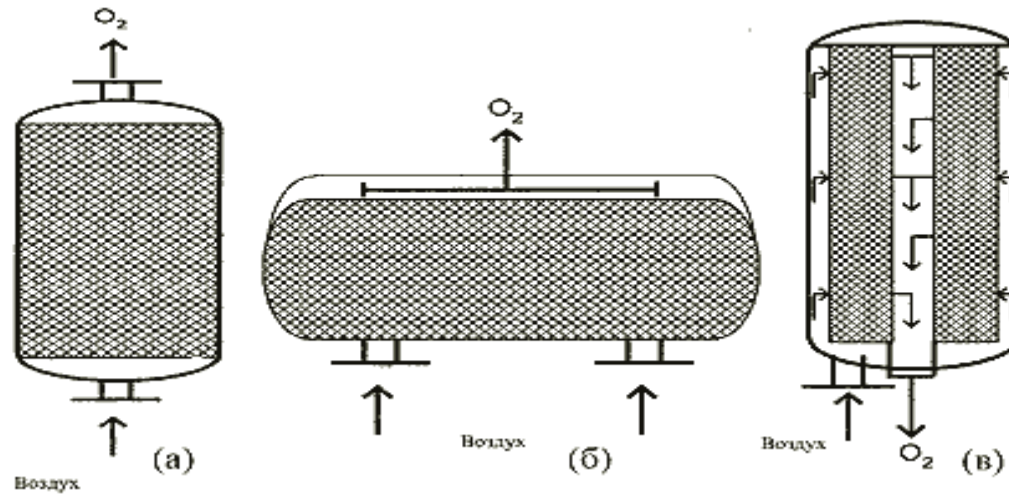


Схема сборно-распределительной тарелки: 1 – тарелка; 2 – корпус; 3 – патрубков.

Потоки: / – катализатор и пары; // – пары

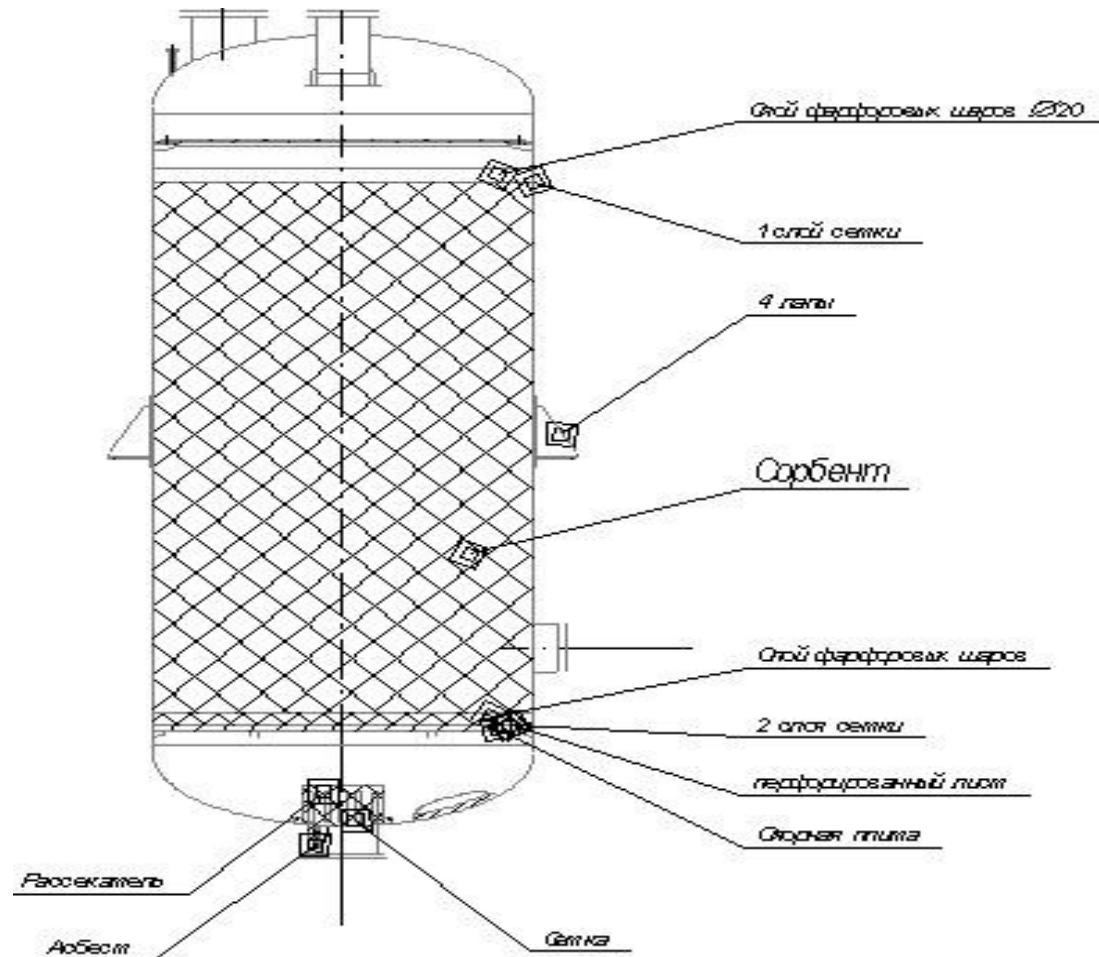
# Конструктивные схемы адсорберов



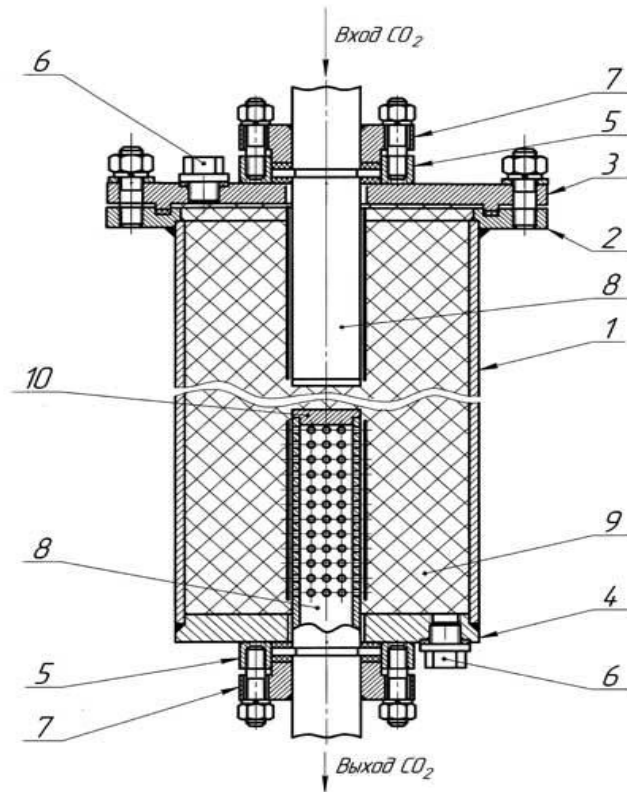
а - вертикальные; б- горизонтальные типов; в - радиальный



# Адсорбер



# Адсорбер для доочистки двуокиси углерода



- 1 - корпус; 2 - фланец; 3 - крышка; 4 - дно; 5 - кольцо; 6 - пробка; 7 - фланец;  
8 - фильтр; 9 - адсорбент; 10 - крышка фильтра

# ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА

от лат. percolatio-процеживание, фильтрация), один из видов адсорбционной очистки жидких или газообразных продуктов путем фильтрации (процеживания) их через слой адсорбента-поглотителя.

Позволяет удалять нежелательные компоненты из нефтепродуктов (т.е. очищать и осушать их) или разделять сложные смеси орг. соединений.

# Схема адсорбционной установки с двумя адсорберами

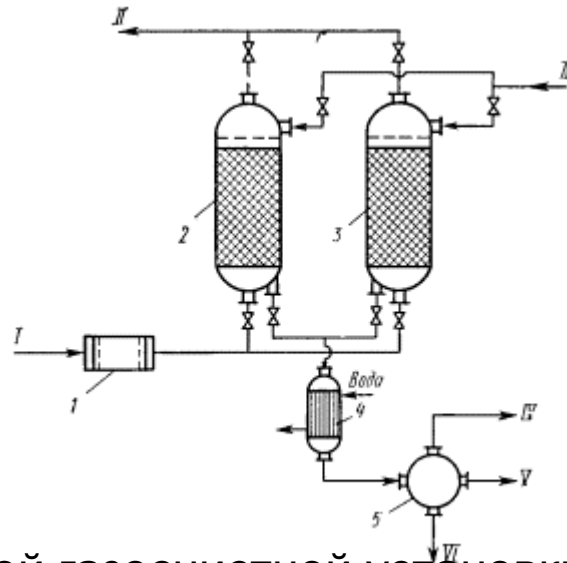


Схема адсорбционной газоочистной установки:

/ — фильтр, холодильник; 2, 3 — адсорберы; 4 — конденсатор; 5 — сепаратор;

/ — очищаемый газ;

// — очищенный газ;

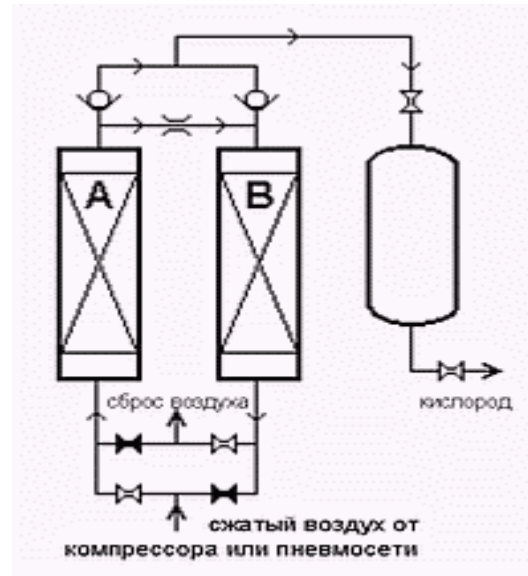
/// — водяной пар;

IV — неконденсируемые пары;

V — сконденсированный адсорбтив в хранилище;

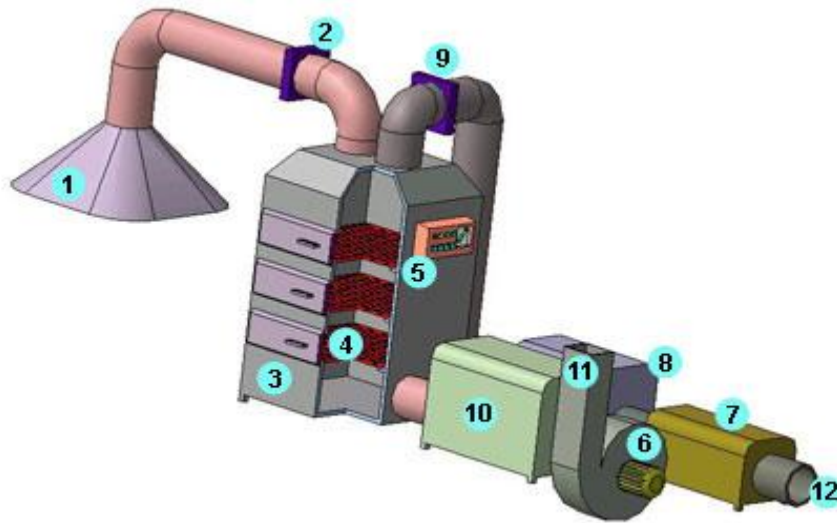
VI — водный конденсат

# Короткоцикловая безнагревная адсорбция



Азот поглощается адсорбентом, а кислород через обратный клапан поступает в ресивер. В это же время в адсорбере В происходит понижение давления и выброс накопленного азота. Через время полуцикла адсорберы обмениваются своими функциями. Адсорбер В задерживает азот и продуцирует кислород, а адсорбер А освобождается от накопленного азота. Извлеченный из воздуха концентрированный кислород накапливается в ресивере и может расходоваться в необходимых количествах.

# Адсорбционная регенерационная система очистки воздуха " APC - аэро "



1 - Забор загрязненного воздуха; 2 -Запорное устройство загрязненного воздуха; 3- Адсорбер; 4- Кассеты с адсорбентом; 5- Блок управления установкой очистки; 6- Вытяжной вентилятор; 7- Система воздухоподготовки; 8- Озонатор; 9- Запорное устройство озono - воздушной смеси; 10 -Блок термодеструкции озона ; 11 -Выход чистого воздуха; 12 -Забор воздуха для синтеза озона