

## Содержание

Равновесие при абсорбции .....	2
Материальный и тепловой балансы абсорбции .....	3
Неизотермическая абсорбция.....	5
Общее устройство и принцип работы абсорбера .....	5
Пленочные абсорберы.....	6
Трубчатый абсорбер .....	6
Абсорбер с плоскопараллельной насадкой.....	7
Гидродинамические режимы в пленочных колоннах .....	7
Насадочные абсорберы .....	9
Насадки. Выбор. ....	10
Тарельчатые абсорберы .....	13
Ситчатые тарелки .....	16
Клапанные тарелки.....	17
Колонны с тарелками без сливных устройств.....	18
Распыливающие абсорберы.....	19
Расчет абсорбера.....	21
Расчет насадочных абсорберов .....	23

*Абсорбцией* называют процесс поглощения газов или паров из газовых или парогазовых смесей жидким поглотителем - *абсорбентом*. Если поглощаемый газ – *абсорбтив* – химически не взаимодействует с абсорбентом, то такую абсорбцию называют *физической* (непоглощаемую составную часть газовой смеси называют *тертом*, или *инертным газом*). Если же абсорбтив образует с абсорбентом химическое соединение, то такой процесс называют *хемосорбцией*. В технике часто встречается сочетание обоих видов абсорбции.

Физическая абсорбция (или просто абсорбция) обычно обратима. На этом свойстве абсорбционных процессов основано выделение поглощенного газа из раствора - *десорбция*.

Сочетание абсорбции и десорбции позволяет многократно применять поглотитель и выделять поглощенный газ в чистом виде. Часто десорбцию проводить не обязательно, так как полученный в результате абсорбции раствор является конечным продуктом, пригодным для дальнейшего использования.

В промышленности абсорбцию применяют для решения следующих основных задач:

- 1) для получения готового продукта



- 2) для выделения ценных компонентов из газовых смесей (например, абсорбция бензола из коксового газа)

- 3) для очистки газов от вредных примесей (например, очистка топочных газов от  $\text{SO}_2$ , очистка от фтористых соединений газов, выделяющихся при производстве минеральных удобрений и т. д.).

### Равновесие при абсорбции

При взаимодействии какого-либо газа с жидкостью в состоянии равновесия, при условии постоянства температуры и общего давления зависимость между концентрациями распределяемого в газовой и жидкой

фазах компонента (или парциальным давлением газа и составом жидкости) будет однозначной. Эта зависимость выражается *законом Генри*. Из этого закона следует, что чем выше растворимость газа в абсорбенте, тем меньше расход этого абсорбента. Поэтому при выборе абсорбента растворимость в нем поглощаемого газа рассматривается как важнейшее свойство данного абсорбента (наряду со стоимостью, доступностью, токсичностью, пожаро- и взрывоопасностью и т. п.).

Зависимость константы Генри от температуры выражается следующим уравнением;

$$\ln E = -(q/RT) + c,$$

где  $q$ -дифференциальная теплота растворения газа;  $c$ -постоянная, зависящая от природы газа и абсорбента.

Из этого уравнения следует, что с повышением температуры константа Генри растет (растворение ацетилен в воде).

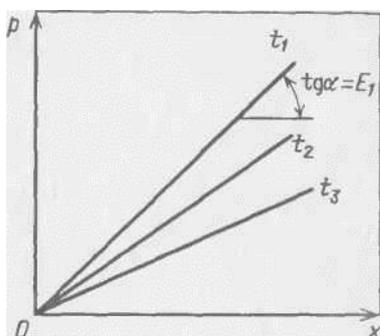
С помощью константы Генри определяются линии равновесия.

$$Y^* = mx_A,$$

где  $m = E/P$ -коэффициент распределения или константа фазового равновесия.

Из уравнения следует, что зависимость между концентрациями данного компонента в газовой смеси и в равновесной с ней жидкости выражается прямой линией (линия равновесия), проходящей через начало координат и имеющей угол наклона  $\alpha$ , тангенс которого равен  $m$ . Значения величины  $m$  уменьшаются при снижении температуры и увеличении давления в системе. Поэтому растворимость газа в жидкости увеличивается с повышением давления и снижением температуры.

Закон Генри применим лишь к сильноразбавленным растворам, поэтому обычно это величина переменная.



### Материальный и тепловой балансы абсорбции

Уравнение материального баланса процесса абсорбции:

$$G(Y_H - Y_K) = L(X_K - X_H)$$

где  $G$ -расход инертного газа, кмоль/с;  $Y_H$  и  $Y_K$ -начальная и конечная концентрации абсорбтива в газовой смеси, кмоль/кмоль инертного газа;  $L$ -расход абсорбента, кмоль/с;  $X_H$  и  $X_K$  начальная и конечная концентрации абсорбтива в поглотителе, кмоль/кмоль абсорбента.

Обычно из уравнения материального баланса определяют общий расход абсорбента:

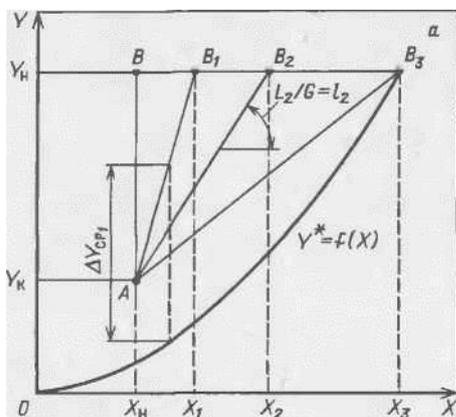
$$L = G * (Y_H - Y_K) / (X_K - X_H)$$

или его удельный расход / (кмоль/кмоль инертного газа):

$$l = L/G = (Y_H - Y_K) / (X_K - X_H)$$

Это уравнение показывает, что изменение концентрации в абсорбере происходит прямолинейно, а, следовательно, рабочая линия абсорбции в координатах  $Y—X$  представляет собой прямую с углом наклона, тангенс которого равен  $l = L/G$ .

Между удельными расходами абсорбента и размерами аппарата существует определенная связь.

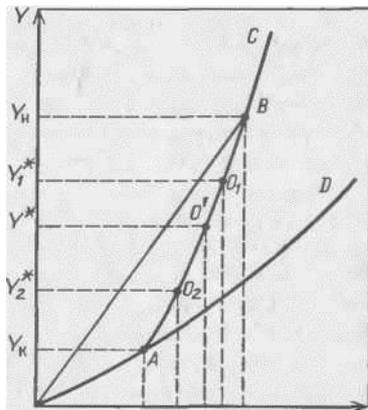


Движущая сила процесса абсорбции для любого значения  $X$  и выбранной величины  $l$  будет выражаться разностью ординат  $Y—Y^*$ , изображенных вертикальными отрезками, соединяющими соответствующие точки рабочей линии и линии равновесия. Для всего абсорбера можно принять среднее значение  $\Delta Y_{ср}$ . Величина движущей силы будет тем больше, чем круче наклон рабочей линии и, следовательно, чем больше удельный расход абсорбента. При совпадении рабочей линии с вертикалью  $\Delta Y_{ср}$  будет

иметь максимальное значение, и, следовательно, размеры аппарата при этом минимальны. Отметим, что увеличение удельного расхода  $l$  абсорбента одновременно с уменьшением высоты абсорбера может привести к заметному увеличению его диаметра. Это происходит потому, что с увеличением  $I = L/G$  возрастает также расход поглотителя  $L$  ( $G$  остается постоянной величиной), а при этом снижаются допустимые скорости газа в абсорбере, по которым находят его диаметр.

### Неизотермическая абсорбция

В случае неизотермической абсорбции при растворении газа в жидкости температура ее повышается вследствие выделения теплоты. Для технических расчетов пренебрегают нагреванием газа и считают, что вся теплота идет на нагрев жидкости.



Пусть линия равновесия изображена как OAD. Если температура абсорбента увеличивается, то линия равновесия будет располагаться выше, т.е. она будет OAC.

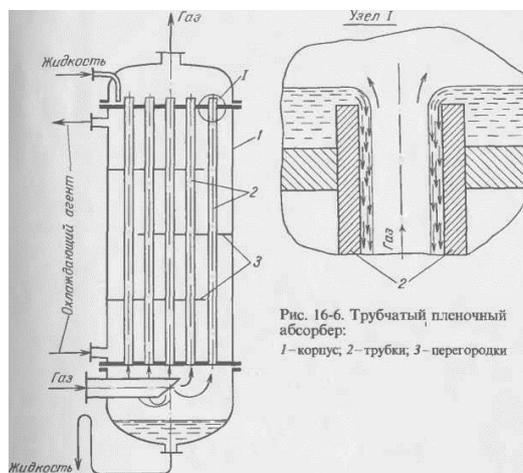
### Общее устройство и принцип работы абсорбера

Абсорбция, как и другие процессы массопередачи, протекает на поверхности раздела фаз. Поэтому абсорбционные аппараты-абсорберы должны обеспечить развитую поверхность контакта между жидкой и газовой фазами. По способу образования этой поверхности, что непосредственно связано с конструктивными особенностями абсорберов, их можно подразделить на четыре основные группы:

- 1) пленочные;
- 2) насадочные;
- 3) тарельчатые;
- 4) распыливающие.

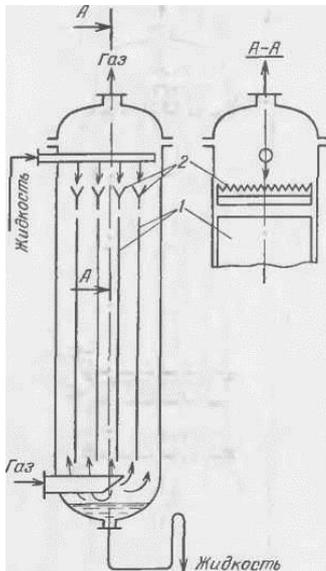
В пленочных абсорберах поверхностью контакта фаз является поверхность жидкости, текущей по твердой, обычно вертикальной стенке. К этому виду аппаратов относятся: 1) трубчатые абсорберы; 2) абсорберы с плоскопараллельной или листовой насадкой; 3) абсорберы с восходящим движением пленки жидкости.

### Трубчатый абсорбер



Абсорбент поступает на верхнюю трубную решетку, распределяется по трубам 2 и стекает по их внутренней поверхности в виде тонкой пленки. В абсорберах с большим числом труб для улучшения распределения абсорбента по трубам применяют специальные распределительные устройства. Газ движется по трубам снизу-вверх навстречу стекающей жидкой пленке. В случае необходимости отвода теплоты абсорбции в межтрубное пространство абсорбера подают охлаждающий агент (обычно

### Абсорбер с плоскопараллельной насадкой



Пленочный абсорбер с плоскопараллельной (листовой) насадкой:

1 - пакеты листовой насадки; 2-распределительное устройство

Пакет листовой насадки 1 в виде вертикальных листов из различного материала (металл, пластические массы, натянутая на каркас ткань и др.) помещают в колонну (абсорбер). В верхней части абсорбера находятся распределительные устройства 2 для обеспечения равномерного смачивания листовой насадки с обеих сторон.

#### Гидродинамические режимы в пленочных колоннах

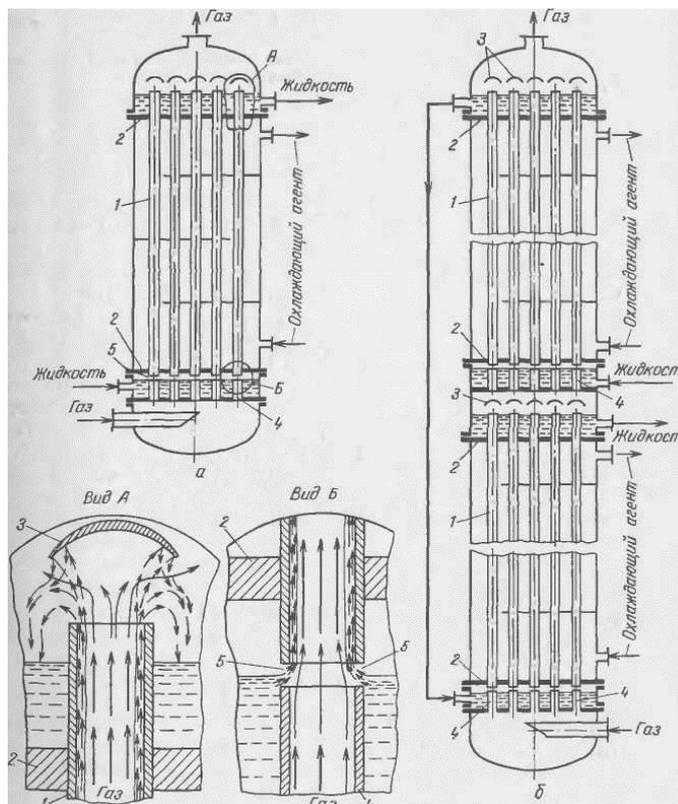
Следует подчеркнуть, что пленочные противоточные колонны работают при скоростях газа, не превышающих скорости захлебывания (не более 3-6 м/с).

Начало захлебывания (подвисяния) характеризуется резким возрастанием гидравлического сопротивления, а также количества находящейся в аппарате жидкости. При небольшом увеличении скорости газа

аппарат начинает заполняться жидкостью, через которую барботирует газ. При дальнейшем повышении скорости происходит выброс жидкости вместе с газом через верхнюю часть аппарата или (при подаче жидкости снизу) переход к восходящему прямотоку.

В противоточных пленочных аппаратах гидравлическое сопротивление очень мало, поэтому их целесообразно применять при больших производительностях по газу, необходимости малых гидравлических сопротивлений и сравнительно невысокой степени извлечения компонентов.

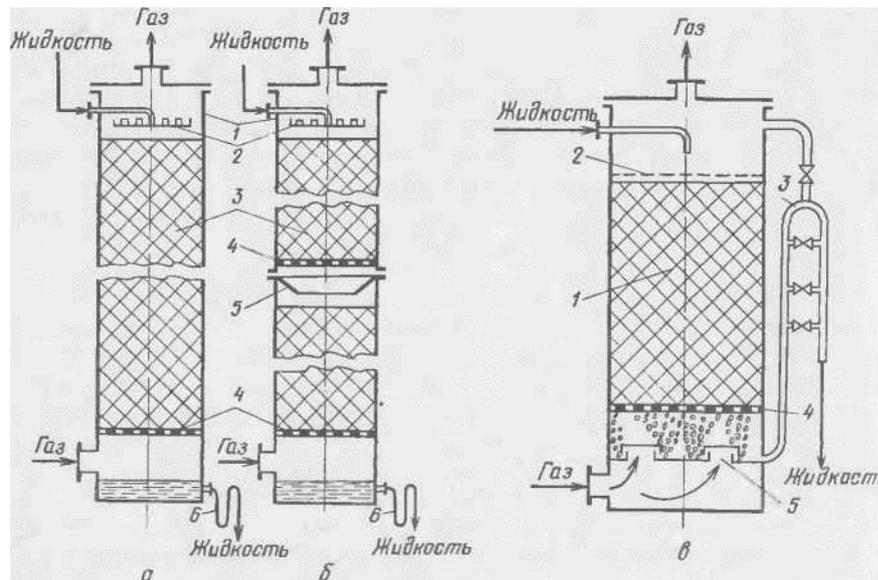
В аппаратах с восходящим потоком жидкости можно создавать коэффициенты массопередачи при этом существенно возрастают, но одновременно с этим сильно растет их гидравлическое сопротивление. Последнее обстоятельство затрудняет широкое применение этих аппаратов для проведения процессов абсорбции при невысоких давлениях в системе.



Пленочные абсорберы с восходящим движением жидкости:

о-одноступенчатый абсорбер; б-двухступенчатый абсорбер, узел А схема движения фаз на выходе из труб; узел Б-схема движения фаз на входе в трубы; 1-трубы; 2-трубные решетки; 5-брызгоотбойники; 4-распределительные патрубки; 5-щели для подачи абсорбента

## Насадочные абсорберы



Насадочные абсорберы:

*а-с* со сплошным слоем насадки; *б-с* секционной загрузкой насадки: 1 - корпуса; 2-распределители жидкости; 3-насадка; 4-опорные решетки; 5-перераспределитель жидкости; 6 гидравлические затворы; *в* эмульгационная насадочная колонна: 1-насадка; 2-сетка, фиксирующая насадку; 3-гидравлический затвор; 4-опорная решетка; 5-распределитель газа

Насадочные абсорберы получили наибольшее применение в промышленности. Эти абсорберы представляют собой колонны, заполненные насадкой-твердыми телами различной формы. В насадочной колонне 1 насадка 3 укладывается на опорные решетки 4, имеющие отверстия или щели для прохождения газа и стока жидкости, которая достаточно равномерно орошает насадку 3 с помощью распределителя 2 и стекает по поверхности насадочных тел в виде тонкой пленки вниз. Однако равномерного распределения жидкости по всей высоте насадки по сечению колонны обычно не достигается, что объясняется пристеночным эффектом. Жидкость имеет тенденцию растекаться от центральной части колонны к ее стенкам.

Поэтому часто насадку в колонну загружают секциями высотой в четыре-пять диаметров (но не более 3-4 метров в каждой секции), а между секциями (слоями насадки) устанавливают перераспределители жидкости 5, назначение которых состоит в направлении жидкости от периферии колонны к ее оси.

### Насадки. Выбор.

Жидкость стекает по насадке в виде тонкой пленки, поэтому поверхностью контакта фаз является смоченная поверхность насадки.

Чтобы насадка работала эффективно, она должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) хорошо смачиваться орошающей жидкостью, т. е. материал насадки по отношению к орошающей жидкости должен быть лиофильным;
- 2) оказывать малое гидравлическое сопротивление газовому потоку, т. е. иметь возможно большее значение свободного объема или сечения насадки;
- 3) создавать возможность для высоких нагрузок аппарата по жидкости и газу; для этого насадка должна также иметь большие значения  $\epsilon$  или  $S_{CB}$ ;
- 4) иметь малую плотность;
- 5) равномерно распределять орошающую жидкость;
- 6) быть стойкой к агрессивным средам;
- 7) обладать высокой механической прочностью;
- 8) иметь невысокую стоимость.

Универсальных насадок нет, поэтому применяют самые разные насадки.

В качестве насадки наиболее широко применяют тонкостенные кольца Рашига, имеющие высоту, равную диаметру, который изменяется в пределах 10-100 мм. Кольца малых размеров засыпают в колонну навалом. Большие

кольца (от 50 x 50 мм и выше) укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга. Такой способ заполнения аппарата насадкой называют загрузкой в укладку, а загруженную таким способом насадку - регулярной. Регулярная насадка имеет ряд преимуществ перед нерегулярной, навалом засыпанной в колонну: обладает меньшим гидравлическим сопротивлением, допускает большие скорости газа. Однако регулярная насадка требует более сложных по устройству оросителей, чем насадка, засыпанная навалом.

Хордовую насадку (тоже регулярная) из деревянных реек обычно применяют в абсорберах большого диаметра.

При выборе размеров насадки необходимо учитывать, что с увеличением размеров ее элементов увеличивается допустимая скорость газа, а гидравлическое сопротивление насадочного абсорбера снижается. Общая стоимость колонны с крупной насадкой будет ниже за счет снижения диаметра абсорбера, несмотря на то что высота насадки несколько увеличится по сравнению с таковой в абсорбере, заполненном насадкой меньших размеров. Это особенно относится к абсорбции хорошо растворимых газов. При абсорбции плохо растворимых газов более подходящей может быть и сравнительно мелкая насадка.

Если необходимо провести глубокое разделение газовой смеси, требующее большого числа единиц переноса, то в этом случае рациональнее использовать мелкую насадку. Мелкая насадка предпочтительнее при проведении абсорбции под повышенным давлением, так как при этом потеря напора в абсорбере составит малую долю от общего давления газовой смеси.

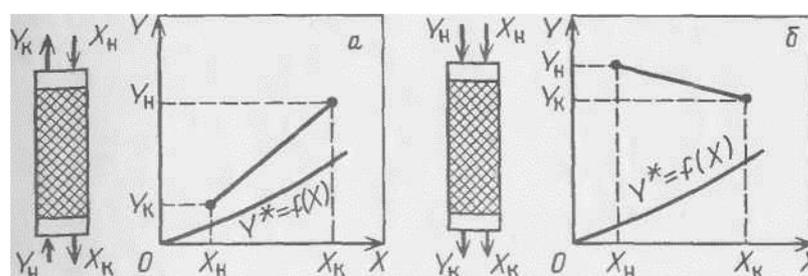
В случае загрязненных сред целесообразно применять регулярные насадки, в том числе при работе под повышенным давлением. Для этих сред можно использовать также так называемые абсорберы с плавающей насадкой. В качестве насадки в таких абсорберах обычно применяют легкие полые шары из пластмассы, которые при достаточно высоких скоростях газа переходят во взвешенное состояние. Вследствие их интенсивного взаимодействия такая насадка практически не загрязняется.

В абсорберах с плавающей насадкой возможно создание более высоких скоростей, чем в колоннах с неподвижной насадкой. При этом увеличение скорости газа приводит к расширению слоя шаров, что способствует снижению скорости газа в слое насадки. Поэтому существенное увеличение скорости газового потока в таких аппаратах (до 3-5 м/с) не приводит к значительному возрастанию их гидравлического сопротивления.

При работе насадочной колонны в пленочном режиме обычно не вся поверхность насадки смочена жидкостью. В этом случае поверхность массопередачи будет меньше поверхности насадки.

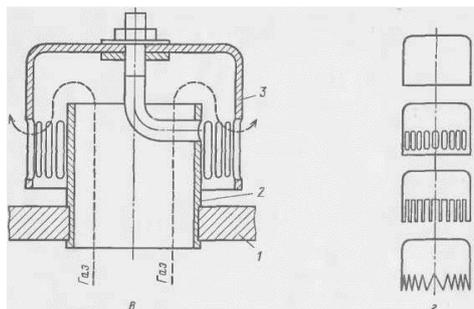
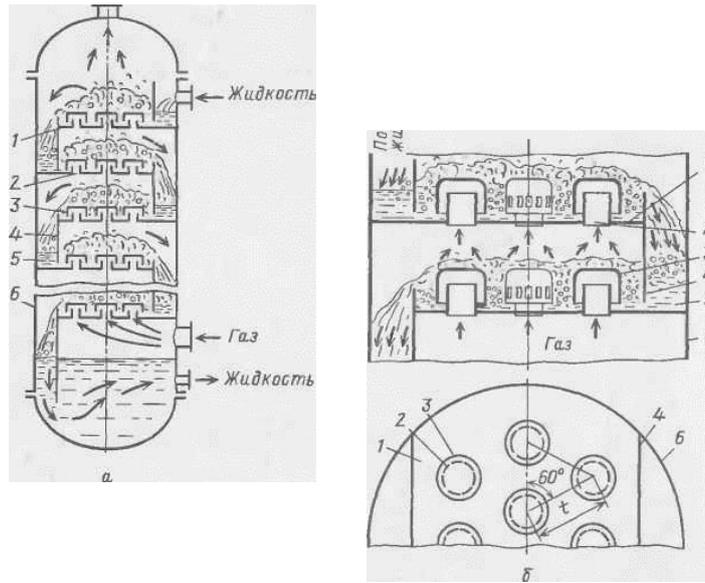
Следует также отметить, что не вся смоченная поверхность активна для массопередачи. Это объясняется тем, что активной является лишь поверхность, покрытая текущей пленкой жидкости. Части поверхности, покрытые неподвижной пленкой жидкости, не являются активными.

Насадочные колонны, как правило, работают по принципу противоточного движения фаз. При противоточной схеме абсорбции газ идет через абсорбер снизу вверх, а жидкость стекает вниз. При этом уходящий газ соприкасается со свежим абсорбентом, над которым парциальное давление поглощаемого компонента очень мало или даже равно нулю. Поэтому при противотоке можно достичь более полного извлечения компонента из газовой смеси, чем при прямоточной схеме, поскольку уходящий газ в этом абсорбере соприкасается с концентрированным раствором поглощаемого газа, что приводит к снижению расхода абсорбента.



Схемы проведения процесса абсорбции:

а - противоточная; б - прямоточная

Тарельчатые абсорберы

Устройство колонны и колпачковых тарелок с капсульными колпачками:  
 а- колонна с тарелками; б- две соседние тарелки; в- капсульный колпачок; 1- формы капсульных колпачков; 2- тарелки; 3- газовые (паровые) патрубки; 4- круглые колпачки; 5- переточные перегородки (или трубы) с порогами, 6- гидравлические затворы; б- корпус колонны

Тарельчатые абсорберы обычно представляют собой вертикальные цилиндры - колонны, внутри которых на определенном расстоянии друг от друга по высоте колонны размещаются горизонтальные перегородки - тарелки. Тарелки служат для развития поверхности контакта фаз при направленном движении этих фаз (жидкость течет сверху вниз, а газ проходит снизу вверх) и многократном взаимодействии жидкости и газа.

Таким образом, процесс массопереноса в тарельчатых колоннах осуществляется в основном в газожидкостных системах, создаваемых на тарелках, поэтому в таких аппаратах процесс проходит ступенчато, и тарельчатые колонны в отличие от насадочных, в которых массоперенос происходит непрерывно, относят к группе ступенчатых аппаратов.

По способу слива жидкости с тарелки абсорберы этого типа подразделяют на колонны с тарелками со сливными устройствами и с тарелками без сливных устройств (с неорганизованным сливом жидкости).

Тарельчатые колонны со сливными устройствами. Эти тарелки имеют специальные устройства для перетока жидкости с одной тарелки на другую - сливные трубки, карманы и др. Нижние концы сливных устройств погружены в жидкость на нижерасположенных тарелках для создания гидрозатвора, предотвращающего прохождение газа через сливное устройство.

Принцип работы абсорберов такого типа показан на примере колонны с *колпачковыми* тарелками. Жидкость подается на верхнюю тарелку, движется вдоль тарелки от одного сливного Устройства к другому, перетекает с тарелки на тарелку и удаляется из нижней части абсорбера. Переливные устройства на тарелках располагают таким образом, чтобы жидкость на соседних по высоте аппарата тарелках протекала во взаимопротивоположных направлениях. Газ поступает в нижнюю часть абсорбера, проходит через

прорези колпачков (в других абсорберах-через отверстия, щели и т.д.), в-и затем попадает в слой жидкости на тарелке, высота которого регулируется в основном высотой сливного порога. При этом газ в жидкости распределяется в виде пузырьков и струй, образуя в ней слой пены, в которой происходят основные процессы массо- и теплопереноса. Эта пена нестабильна, и при подходе ее к сливному устройству жидкость осветляется. Пройдя через все тарелки, газ уходит из верхней части аппарата.

Гидродинамические режимы работы тарелок. Основное влияние на эффективность тарелок любых конструкций оказывают гидродинамические условия их работы. Эти условия в значительной мере зависят от скорости газа и в существенно меньшей-от плотности орошения и физических свойств фаз. В зависимости от скорости газа различают три основных гидродинамических режима работы тарельчатых аппаратов: пузырьковый, пенный и струйный (или инжекционный).

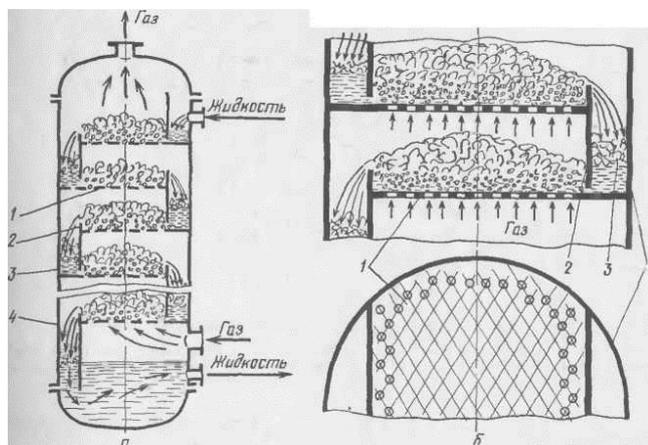
Пузырьковый (барботажный) режим возникает при небольших скоростях газа, когда в виде отдельных пузырьков газ движется через слой жидкости. Отметим, что поверхность контакта фаз в этом режиме невелика.

Пенный режим возникает при увеличении скорости газа, когда его пузырьки, выходящие из прорезей или отверстий, сливаются в струи, которые вследствие сопротивления барботажного слоя разрушаются (на некотором расстоянии от места истечения) с образованием большого числа мелких пузырьков. При этом на тарелке образуется газожидкостная система - пена, которая является нестабильной и разрушается мгновенно после прекращения подачи газа. Основной поверхностью контакта фаз в такой системе является поверхность пузырьков, а также струй газа и капель жидкости над газожидкостной системой, которые образуются при разрушении пузырьков газа в момент их выхода из барботажного слоя. Поверхность контакта фаз при пенном режиме наибольшая, поэтому пенный режим обычно является наиболее рациональным режимом работы тарельчатых абсорберов.

Струйный (инжекционный) режим возникает при дальнейшем

увеличении скорости газа, когда увеличивается длина газовых струй и наступает такой режим, при котором они выходят из газожидкостного слоя не разрушаясь, но образуя значительное количество брызг-вследствие разрушения большого числа пузырьков газа. В этом режиме поверхность контакта фаз существенно меньше, чем в пенном.

Очевидно, что поверхность контакта фаз на тарелке должна зависеть от числа отверстий и прорезей, поскольку чем их больше, тем больше струек газа будет поступать в слой жидкости на тарелке.



Ситчатые тарелки

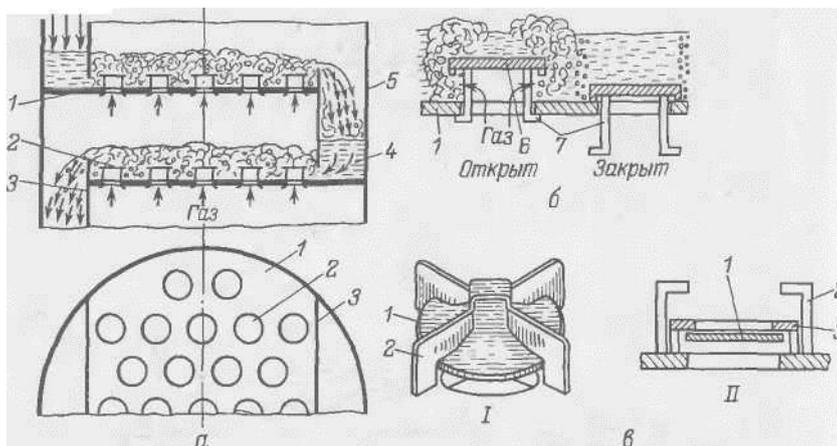
Устройство колонны с ситчатыми переточными тарелками: а-колонна с тарелками; б-две соседние тарелки, 1-тарелки; 2 перегонные перегородки или трубы с порогами, 3 гидравлические затворы; 4-корпус колонны

Эти тарелки имеют большое число отверстий диаметром 2-8 мм, через которые проходит газ в слой жидкости на тарелке. Уровень жидкости на тарелке 1 поддерживается переливным устройством 2. При слишком малой скорости газа его давление не может удержать слой жидкости, соответствующий высоте перелива, и жидкость может просачиваться (или «проваливаться») через отверстия тарелки на нижерасположенную тарелку, что приводит к существенному снижению движущей силы процесса абсорбции. Поэтому газ должен двигаться с определенной скоростью и иметь давление, достаточное для того, чтобы преодолеть давление слоя жидкости на тарелке и предотвратить стекание жидкости через отверстия тарелки. Таким образом,

ситчатые тарелки обладают более узким диапазоном работы по сравнению с колпачковыми.

К достоинствам ситчатых тарелок относятся простота их устройства, легкость монтажа и ремонта, сравнительно низкое гидравлическое сопротивление, достаточно высокая эффективность. Однако эти тарелки чувствительны к загрязнениям и осадкам, которые забивают их отверстия. Если происходит внезапное прекращение подачи газа или существенное снижение его давления, то с ситчатых тарелок сливается вся жидкость, и для возобновления нормальной работы аппарата необходимо вновь запускать колонну.

### Клапанные тарелки.



Устройство клапанных тарелок: а - две соседние тарелки с круглыми клапанами, б - принцип работы клапана; У-тарелка; 2-клапан; 3-перегородка перегородка с порогом, 4-гидравлический затвор; I-корпус колонны; б-ДИСК клапана; 7-ограничители подъема клапана; в-круглые клапаны с верхним ограничителем (У) и с балластом (II): У-дисковый клапан; 2-ограничитель; 3 балласт

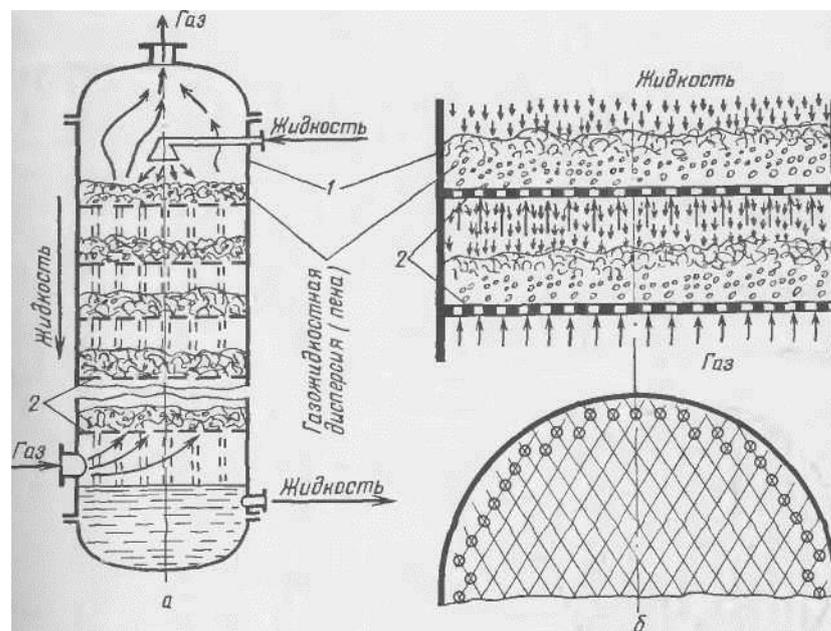
Принцип действия этих тарелок состоит в том, что клапан 2, свободно лежащий над отверстием в тарелке I, с изменением расхода газа увеличивает подъем и соответственно площадь зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа. Поэтому скорость газа в этом зазоре, а значит и во входе в слой жидкости на тарелке, остается приблизительно постоянной, что обеспечивает неизменно эффективную работу тарелки.

Гидравлическое сопротивление тарелки при этом увеличивается незначительно. Высота подъема клапана определяется высотой ограничителя 7 (рис. 16-20,б) и обычно не превышает 6-8 мм. Диаметр отверстий под

клапаном составляет 35-40 мм, а диаметр самого клапана 45-50 мм.

К достоинствам клапанных тарелок следует отнести прежде всего их гидродинамическую устойчивость и высокую эффективность в широком интервале изменения нагрузок по газу. К недостаткам этих тарелок относятся их повышенное гидравлическое сопротивление, обусловленное весом клапана, и усложненная конструкция тарелки.

Колонны с тарелками без сливных устройств.



Устройство колонны и провальных тарелок:

а-колонна с провальными тарелками; б-две соседние дырчатые провальные тарелки (1 колонна; 2 -тарелки)

В тарелке без сливных устройств газ и жидкость проходят через одни и те же отверстия или щели. При этом одновременно с взаимодействием фаз на тарелке происходит сток жидкости на нижерасположенную тарелку-«проваливание» жидкости. Поэтому тарелки такого типа часто называют провальными.

Из провальных чаще всего используют решетчатые и дырчатые. Поскольку дырчатые и решетчатые тарелки просты по устройству и монтажу,

обладают низким гидравлическим сопротивлением и другими достоинствами, то они более широко применяются в промышленности по сравнению с другими провальными тарелками.

### Распыливающие абсорберы

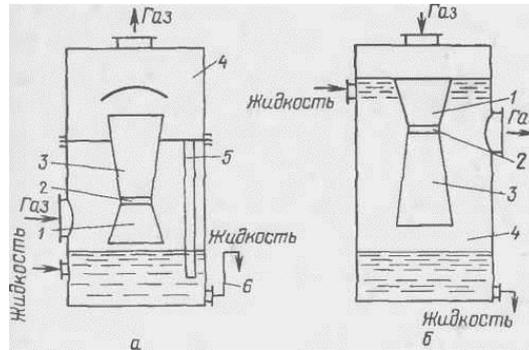
В распиливающих абсорберах контакт между фазами достигается распиливанием или разбрызгиванием жидкости в газовом потоке. Эти абсорберы подразделяют на следующие группы: 1) полые (форсуночные) распиливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется на капли форсунками; 2) скоростные прямоточные распиливающие абсорберы, в которых распыление жидкости осуществляется за счет кинетической энергии газового потока; 3) механические распиливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется вращающимися деталями.

Полые распиливающие абсорберы представляют собой полые колонны. В этих абсорберах газ движется снизу вверх, а жидкость подается через расположенные в верхней части колонны 1 форсунки 2 с направлением факела распыла обычно сверху вниз. Эффективность таких абсорберов невысока, что обусловлено перемешиванием газа по высоте колонны и плохим заполнением ее сечения факелом распыленной жидкости. В результате объемный коэффициент массопередачи и число единиц переноса в этих аппаратах невелики. Поэтому распылительные форсунки в полых абсорберах часто устанавливают на нескольких уровнях.

Полые распиливающие абсорберы отличаются простотой устройства, низкой стоимостью, малым гидравлическим сопротивлением, их можно применять для обработки сильно загрязненных газов.

К недостаткам полых распиливающих абсорберов, помимо их низкой эффективности, относятся также низкие скорости газа (до 1 м/с) во избежание уноса, неудовлетворительная их работа при малых плотностях орошения, достаточно высокий расход энергии на распыление жидкости. Распыливающие полые абсорберы целесообразно применять для улавливания хорошо растворимых газов.

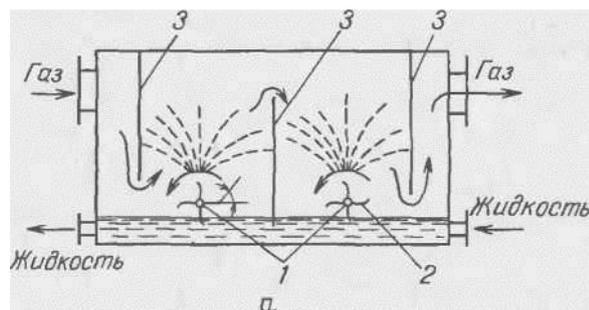
Скоростные прямоточные распыливающие абсорберы отличаются тем, что в случае прямотока процесс можно проводить при высоких скоростях газа (до 20-30 м/с и выше), причем вся жидкость уносится с газом и отделяется от него в сепарационном пространстве 4. Основной узел такого устройства- труба Вентури.

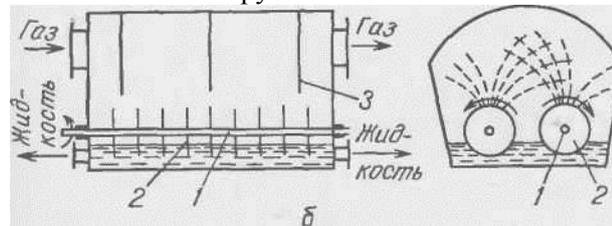


Устройство бесфорсуночного абсорбера Вентури:

Жидкость поступает в конфузор 1, течет в виде пленки и в горловине 2 распыляется газовым потоком. Затем жидкость газовым потоком выносится в диффузор 3, в котором скорость газа снижается и его кинетическая энергия переходит в энергию давления с минимальными потерями. Отделение капель от газа происходит в сепараторе 4.

Механические распыливающие абсорберы.





Распиливающие абсорберы:

*а-с* разбрызгиванием жидкости валками лопастного типа; *б-с* разбрызгиванием жидкости Дисками /—валы, 2 -разбрызгиватели; 3- перегородки

В этих абсорберах разбрызгивание жидкости производится с помощью вращающихся устройств, т. е. с подводом внешней энергии для развития поверхности фазового контакта. По сравнению с абсорберами других типов механические абсорберы более компактны и эффективны, но они значительно сложнее по конструкции и требуют больших затрат энергии для проведения процесса. Поэтому механические распыливающие абсорберы целесообразно применять в тех случаях, когда распыление с помощью форсунок или газом, взаимодействующим с жидкостью, по каким-либо причинам не представляется возможным.

### Расчет абсорбера

После того как выбран тип абсорбера, приступают к его расчету. Обычно при расчете абсорберов заданы расход газа, его начальная и конечная концентрации, начальная концентрация абсорбента. В этом случае основными определяемыми величинами являются расход абсорбента  $L$ , диаметр  $D$  и высота  $H$  абсорбера, его гидравлическое сопротивление  $DP$ .

Расход абсорбента. Количество поглотителя  $L$  на проведение процесса абсорбции определяют по уравнению материального баланса, в котором заданной величиной является значение его конечной концентрации  $X_k$ .

Диаметр абсорберов. Расчет диаметра  $D$  абсорбера производится по уравнению расхода, написанного относительно величины  $D$ :

$$D = [4Q/(\pi w_0)]^{0,5},$$

где  $Q$ -объемный расход газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $w_0$ - фиктивная скорость газа, т.е. скорость газа, отнесенная к полному сечению абсорбера,  $\text{м}/\text{с}$ .

Для определения величины  $w_0$  обычно предварительно рассчитывают предельную скорость газа для данных условий, т.е. скорость захлебывания, и затем задаются скоростью  $w_0$  в долях от скорости захлебывания.

Высота абсорберов. Следует отметить, что обычно поверхность контакта в колонных аппаратах трудноопределима. При непрерывном контакте фаз (пленочные и насадочные абсорберы) высоту  $H$  абсорбера находят с помощью уравнения массопередачи, выраженного через объемный или поверхностный коэффициенты массопередачи. С учетом величины поверхности смоченной насадки которую приравнивают к поверхности массопередачи.

$$H = M / (K_y a S \Delta y_{cp} \Psi)$$

$$H = M / (K_x a \Psi S \Delta x_{cp})$$

Высоту аппарата со ступенчатым контактом фаз (тарельчатые абсорберы) можно определять с помощью объемного коэффициента массопередачи, который относят к единице объема газожидкостной смеси на тарелке, или коэффициента массопередачи, отнесенного к единице рабочей площади тарелки. С помощью этих коэффициентов по уравнению массопередачи или находят общий объем газожидкостной смеси или общую площадь тарелок для проведения данного процесса. Зная объем газожидкостной смеси на одной тарелке, определяют число тарелок в абсорбере. Высоту ступенчатого абсорбера можно определить также методом теоретической ступени (теоретической тарелки) и КПД колонны или методом построения кинетической кривой.

Гидравлическое сопротивление абсорберов. Величина гидравлического сопротивления  $\Delta P$  абсорберов зависит от гидродинамических режимов, которые в основном определяются скоростью газа, и от конструктивных особенностей аппарата. Оптимальную скорость в абсорбере можно

определить только технико-экономическим расчетом с учетом влияния скорости газа как на гидравлическое сопротивление, так и на диаметр и высоту аппарата.

При проведении абсорбции под повышенным давлением потери напора на преодоление гидравлического сопротивления абсорбера составляют небольшую долю от общего давления в аппарате и поэтому не оказывают существенного влияния на экономические показатели абсорбционной установки. В этом случае целесообразно использовать скорости газа в абсорбере, близкие к предельным, т. е. близкие к скоростям захлебывания. В абсорберах, работающих при атмосферном или более низком давлении, следует принимать более низкие скорости газа, чтобы снизить затраты электроэнергии для перемещения газа через абсорбер. Отметим, что более существенной экономии на капитальных вложениях можно достичь при повышенных скоростях газа - за счет уменьшения диаметра колонны, хотя при этом ее высота несколько увеличивается.

#### Расчет насадочных абсорберов

Диаметр абсорбера. Определение диаметра абсорбера необходимо увязывать со смачиваемостью насадки абсорбентом. Связь плотности орошения, от которой существенно зависит полнота смачиваемости насадки, с диаметром абсорбера и расходом абсорбента выражается уравнением

$$U = L_0 / 0,785D^2,$$

где  $U$  - плотность орошения,  $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ ;  $L_0$  - объемный расход абсорбента,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

С помощью полученной величины  $U$  определяют значение коэффициента смачиваемости  $\psi$  по уравнению

$$\psi = 1 - A \exp(-m),$$

Где  $n$  - показатель степени; величины  $A$ ,  $C$  и  $n$  приводятся в литературе 'например, для колец Рашига размерами 15-35 мм  $A = 1,02$ ,  $C = 0,16$ , и  $n = 0,4$ ).

По уравнению, зная удельную поверхность насадки  $a$ , определяют ее

удельную смоченную поверхность  $\gamma_{см}$ . Если при данном значении  $U$  величина  $\gamma$  близка к единице, то на этом расчет диаметра абсорбера можно считать законченным. Если же  $\gamma$  заметно меньше единицы, то смачиваемость насадки следует признать неудовлетворительной, и тогда необходимо либо повысить  $U$  с по следующим пересчетом скорости газа, либо заменить данную насадку на насадку больших размеров. Последнее позволяет увеличить допустимую скорость газа и уменьшить площадь сечения колонны, что при одном и том же расходе абсорбента приводит к повышению плотности орошения.

**Высота абсорбера.** Коэффициенты массоотдачи в газовой  $P_r$  и жидкой  $P_k$  фазах для расчета коэффициентов массопередачи  $K_y$  и  $K_x$  находят по частным критериальным уравнениям. Например, для насадок, загруженных внавал, коэффициент массоотдачи  $P_r$  можно определить по уравнению

$$Nu_r = 0,407 Re_r^{0,655} (Pr_r)^{1/3}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе для кольцевой насадки определяют по следующему уравнению:

$$Nu_{ж} = 0,002 Re_{ж}^{0,75} (Pr_{ж})^{0,5}$$

Высоту насадки можно также рассчитать с помощью ВЕП или высоты насадки, эквивалентной теоретической ступени. Вопрос выбора метода расчета высоты насадки зависит прежде всего от того, для какого метода имеется больше данных для расчета.

После того как высота насадки рассчитана, для определения высоты абсорбера следует провести ее секционирование, а также выбрать высоту над насадочной (от верхнего уровня насадки до крышки) и под насадочной (от нижней решетки под насадку до днища колонны) частей абсорбера.

Гидравлическое сопротивление абсорберов. При расчете гидравлического сопротивления абсорбера предварительно определяют сопротивление сухой насадки  $\Delta P$  по известному выражению

где  $X$  коэффициент сопротивления, учитывающий суммарные потери давления на трение и местные сопротивления насадки;  $d_3 = 4e/a$  - эквивалентный диаметр насадки.

Значения  $X$  обычно определяют по эмпирическим уравнениям. Например, для кольцевой насадки, загруженной внавал, коэффициент сопротивления определяют по следующим зависимостям:

при  $Re_r < 40$  (ламинарный режим)

$$\lambda = 40/Re_r$$

при  $Re_r > 40$  (турбулентный режим)

$$\lambda = 16/Re_r^{0,2},$$

где  $Re_r = wd_3\rho_r/\mu_r$  - критерий Рейнольдса для газа.

Гидравлическое сопротивление орошаемой насадки  $AP_{\text{Вр}}$  больше сопротивления сухой насадки (вследствие сужения каналов между элементами насадочных тел при их смачивании и увеличения при этом скорости газа). Расчет гидравлического сопротивления орошаемой насадки является достаточно приближенным, поскольку зависит от

способа загрузки насадки, возможной неоднородности ее элементов и т. п.

При работе колонны в пленочном режиме гидравлическое сопротивление орошаемой насадки можно определить приближенно по следующему эмпирическому уравнению:

$$\Delta P_{\text{ср}} = 10^{bU} \Delta P_{\text{сух}}$$

где  $b$  - опытный коэффициент, значение которого можно найти в справочной литературе; например для насадки 25 x 25 x 3 мм при  $V = (0,5 \pm 36,5) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с), значение  $b$ .



