

Ректификационные аппараты

По дисциплине: ПиАХТ
Выполнила: Макарова М.А., 1ХТ – 39Д

Понятие Ректификации:

- **Ректификация** - процесс разделения жидких смесей при помощи одновременно и многократно повторяемых частичных испарений и конденсаций. Простейшими способами перегонки жидких смесей являются:
 - *частичное испарение жидкости и конденсация полученных паров с отводом конденсата (простая перегонка) и*
 - *частичная конденсация паров перегоняемой смеси с отводом конденсата (простая конденсация). Каждый из этих процессов в отдельности не приводит к получению достаточно чистых продуктов, но, осуществляя оба эти процесса одновременно и многократно в противоточных колоннах, можно достичь разделения жидкой смеси на чистые, составляющие смесь компоненты.*

Сущность процесса ректификации:

Процесс ректификации осуществляют в ректификационной установке, включающей

- ⦿ ректификационную колонну,
- ⦿ дефлегматор,
- ⦿ холодильник-конденсатор,
- ⦿ подогреватель исходной смеси,
- ⦿ сборники дистиллята и кубового остатка.

Дефлегматор, холодильник-конденсатор и подогреватель представляют собой обычные теплообменники. **Основным аппаратом**

установки является ректификационная колонна, в которой пары перегоняемой жидкости поднимаются снизу, а навстречу парам сверху стекает жидкость, подаваемая в верхнюю часть аппарата в виде флегмы.

- Процесс ректификации осуществляется в противоточных аппаратах-колоннах:
- Пары перегоняемой жидкости протекают снизу вверх, а навстречу парам сверху вниз протекает жидкость, подаваемая в верхний элемент колонны.
- Между жидкой и паровой фазами возникает массообмен, вследствие которого пары по мере их продвижения по колонне обогащаются легколетучим компонентом, а жидкость—менее летучим компонентом.
- Пар, выходящий из верхней части колонны, представляет собой более или менее чистый легколетучий компонент, конденсация которого дает готовый продукт—дистиллят, а из нижней части колонны вытекает сравнительно чистый менее летучий компонент, так называемый кубовый остаток, который, так же как и дистиллят, может быть конечным продуктом перегонки.

- Жидкость, поступающую на орошение колонны, называют **ф л е г м о й**; ее получают путем конденсации паров, поднимающихся из верхней части колонны, в специальных конденсаторах— **д е ф л е г м а т о р а х**.
- Для образования паров нижний элемент колонны снабжают греющими приспособлениями в виде змеевиков или трубчаток, в которые и подводят необходимое количество тепла, в большинстве случаев с греющим водяным паром.
- Степень разделения жидкой смеси на составляющие ее компоненты и чистота получаемых дистиллята и кубового остатка зависят от того, насколько развита поверхность фазового контакта, а последнее определяется количеством орошаемой жидкости — флегмы и конструктивным оформлением аппарата.

Ректификационная установка периодического действия

- В периодически действующей ректификационной установке (рис. 386) перегоняемую смесь загружают в куб 1, нагревают глухим паром до температуры кипения и затем непрерывно поддерживают состояние кипения. Образующийся в кубе пар поступает в колонну 2 (так называемую укрепляющую колонну), где происходит процесс ректификации.

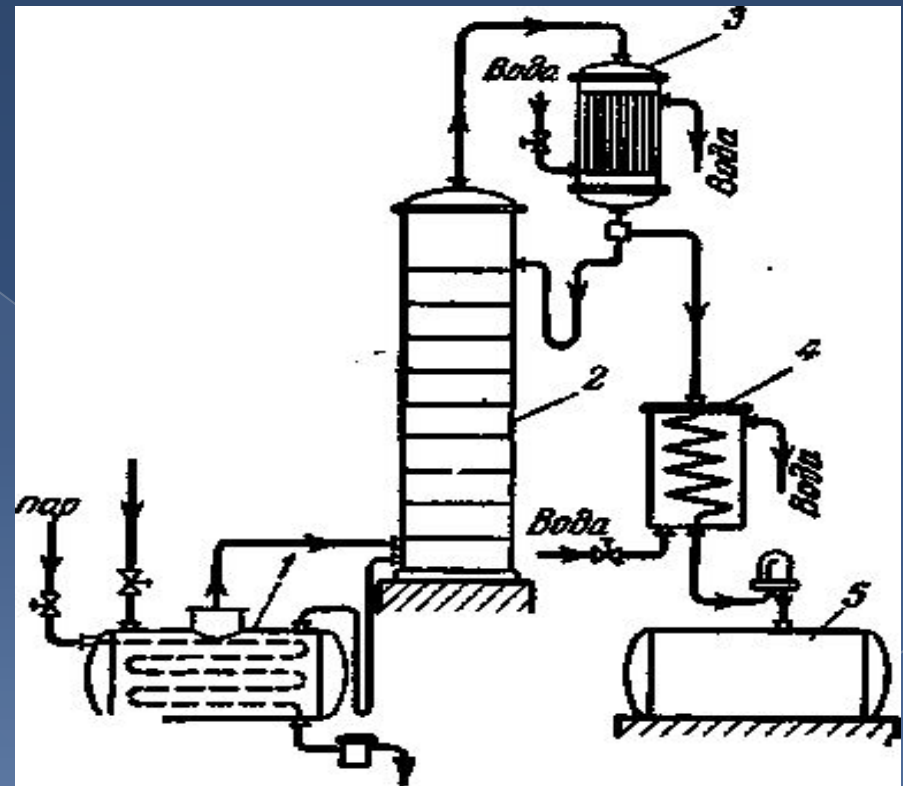


Рис. 386. Схема периодически действующей ректификационной установки:
1—куб; 2—колонна;
3—дефлегматор; 4—холодильник-конденсатор; 5—сборник дистиллята.

Ректификационная установка периодического действия

- Поднимающийся с верхней тарелки пар направляется в дефлегматор 3, где часть его конденсируется и в виде жидкости—флегмы стекает обратно на верхнюю тарелку для орошения колонны.
- Несконденсировавшиеся пары из дефлегматора поступают в холодильник 4, где они полностью конденсируются, и полученный жидкий дистиллят охлаждается до заданной температуры.
- Из холодильника дистиллят поступает через контрольный фонарь в сборник 5. По ареометру, который находится в фонаре, контролируют конденсацию дистиллята по удельному весу. Наблюдая через фонарь за протеканием дистиллята, регулируют скорость перегонки. Если при перегонке нужно отобрать несколько фракций с различной температурой кипения, то устанавливают несколько сборников дистиллята (по числу фракций) и по мере протекания перегонки собирают фракции в отдельные сборники.

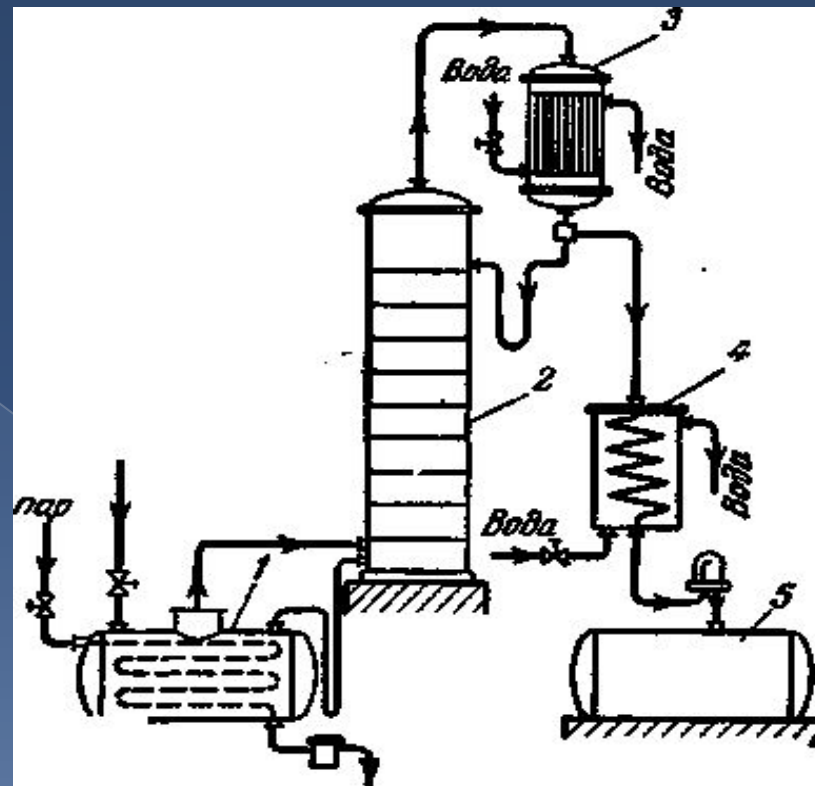


Рис. 386. Схема периодически действующей ректификационной установки:
1—куб; 2—колонна;
3—дефлегматор; 4—холодильник-конденсатор; 5—сборник дистиллята.

Непрерывная ректификация

- Для непрерывного протекания процесса ректификации необходимо, чтобы поступающая на разделение смесь соприкасалась со встречным потоком пара с большей концентрацией труднолетучего (высококипящего) компонента, чем в смеси.
- Поэтому в установках для непрерывной ректификации (рис. 387) колонны выполняют из двух частей: нижней / (исчерпывающей) и верхней 3 (укрепляющей). В исчерпывающей части колонны происходит удаление легколетучего компонента из стекающей вниз жидкости, а в верхней—обогащение поднимающихся вверх паров легколетучим компонентом.

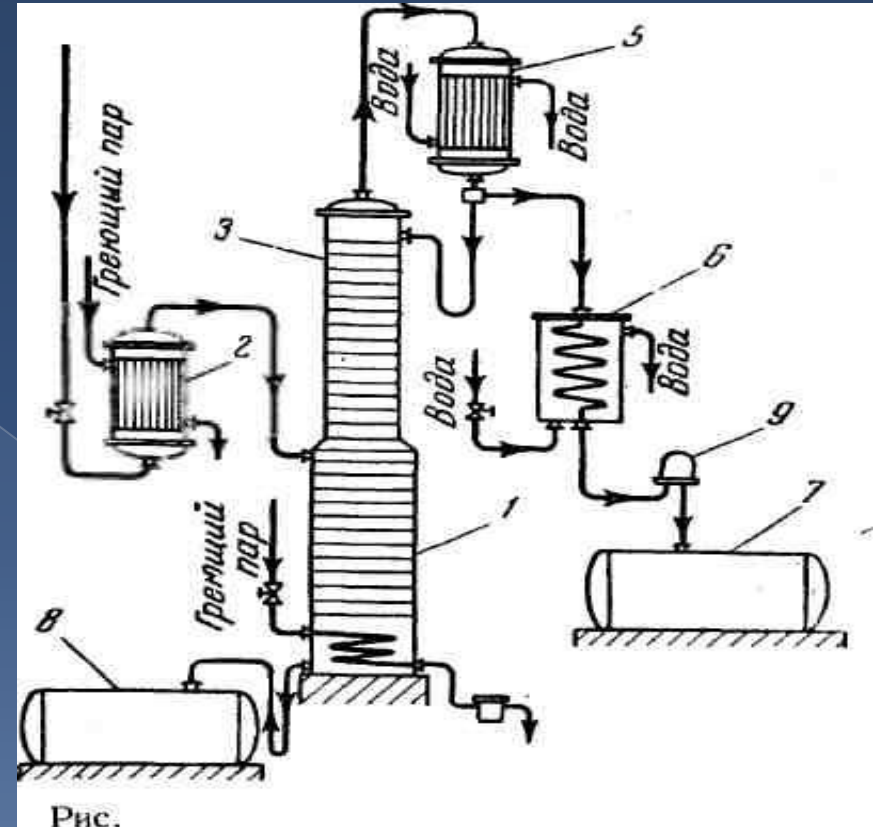


Рис. 387. Схема непрерывно действующей ректификационной установки:

1—исчерпывающая часть колонны; 2—подогреватель исходной смеси; 3—укрепляющая часть колонны; 4—напорный резервуар; 5—дефлегматор; 6—холодильник-конденсатор; 7—сборник дистиллята; 8—сборник кубового остатка; 9—контрольный смотровой фонарь.

Непрерывная ректификация

- Начальная жидкая смесь непрерывно поступает из напорного резервуара 4 на верхнюю тарелку исчерпывающей части колонны (так называемую питательную тарелку). Проходя до колонны через подогреватель 2, смесь подогревается обычно до температуры кипения на питательной тарелке. На питательной тарелке жидкость смешивается с флегмой из укрепляющей части колонны и, стекая по тарелкам, взаимодействует с поднимающимся навстречу паром, более богатым труднолетучим (высококипящим) компонентом; при этом из жидкости удаляется легколетучий (низкокипящий) компонент.
- Таким образом, в исчерпывающей части колонны происходит процесс ректификации (исчерпывания) жидкости. В нижний элемент колонны стекает жидкость, состоящая почти целиком из труднолетучего компонента. Часть ее, так называемый кубовый остаток, непрерывно ОТВОДИТСЯ, а оставшая часть испаряется за счет тепла глухого греющего пара, подводимого в нижний элемент колонны (кипятильник).

Непрерывная ректификация

- Пар поднимается по всей колонне снизу вверх, обогащается легколетучим компонентом и поступает в дефлегматор 5. Здесь часть пара конденсируется и возвращается в колонну, где стекает в виде флегмы сверху вниз. Другая часть пара поступает в холодильник-конденсатор 6, где происходит его конденсация и охлаждение полученного дистиллята; дистиллят направляется в сборник 7. Греющий пар подводится, в змеевик, установленный в кубе колонны; из куба непрерывно стекает в сборник 8 остаток от перегонки, т. е. почти чистый менее летучий компонент.

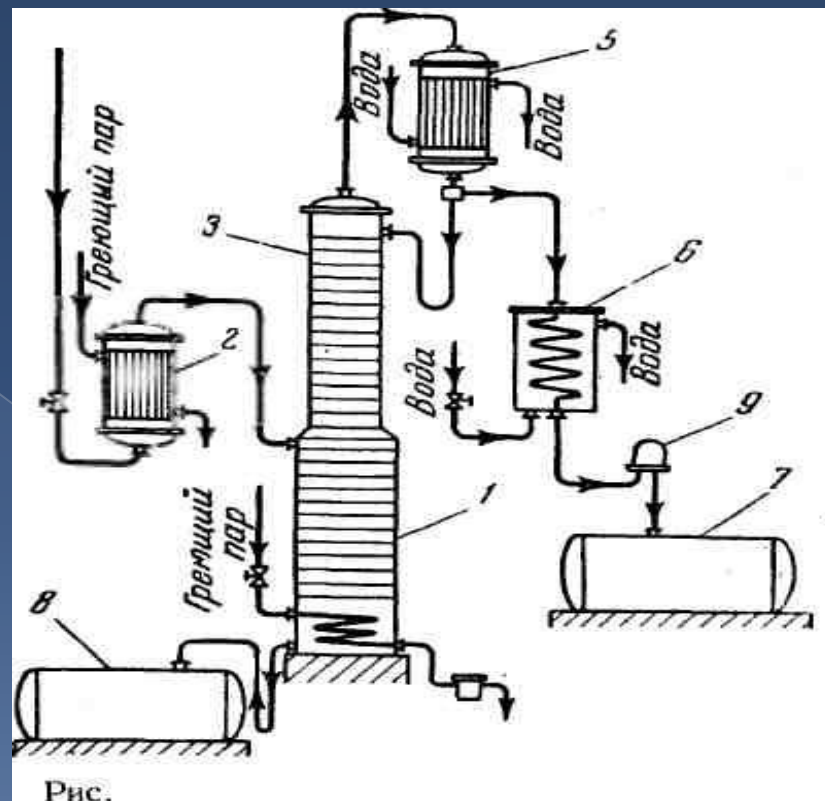
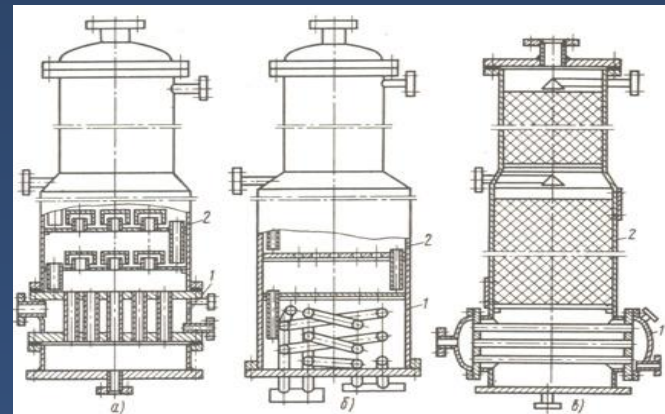


Рис. 387. Схема непрерывно действующей ректификационной установки:

1—исчерпывающая часть колонны; 2—подогреватель исходной смеси; 3—укрепляющая часть колонны; 4—напорный резервуар; 5—дефлегматор; 6—холодильник-конденсатор; 7—сборник дистиллята; 8—сборник кубового остатка; 9—контрольный смотровой фонарь.

Виды ректификационных аппаратов:

- В промышленности применяют
- колпачковые,
 - ситчатые,
 - насадочные,
 - пленочные трубчатые колонны
 - центробежные пленочные ректификаторы.



Они различаются в основном конструкцией внутреннего устройства аппарата, назначение которого — обеспечение взаимодействия жидкости и пара. Это взаимодействие происходит при барботировании пара через слой жидкости на тарелках (колпачковых или ситчатых) либо при поверхностном контакте пара и жидкости на насадке или поверхности жидкости, стекающей тонкой пленкой.

Тарельчатые колпачковые КОЛОННЫ

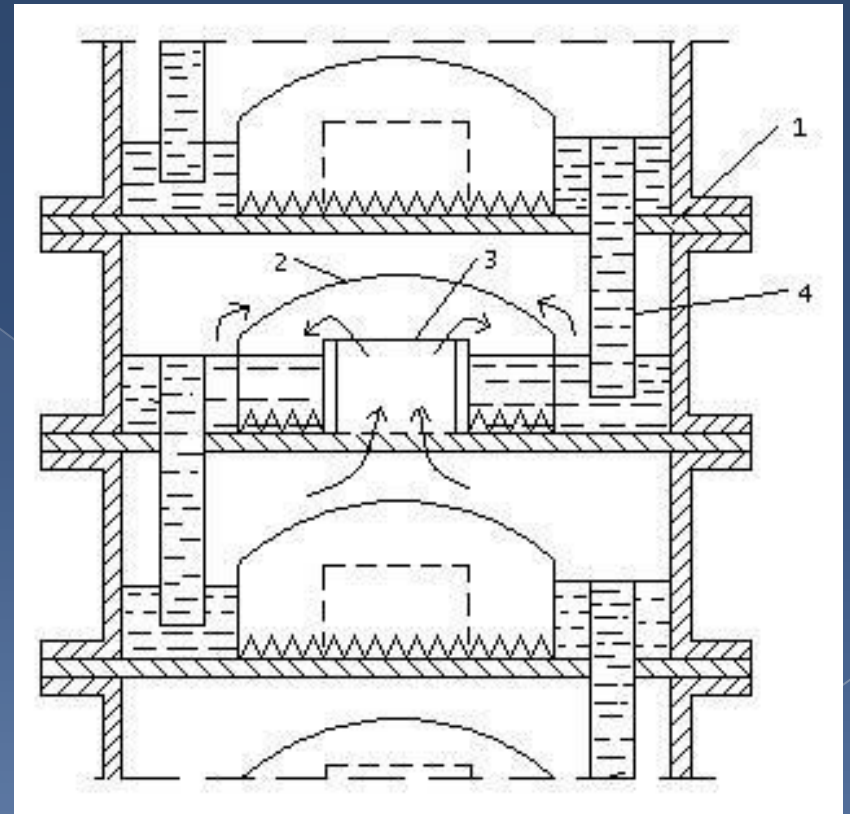
- Степень разделения жидкой смеси на составляющие ее компоненты и чистота получаемых дистиллята и кубового остатка зависят от того, насколько развита поверхность фазового контакта, а последнее определяется количеством орошаемой жидкости—флегмы и конструктивным оформлением аппарата.
- Наиболее наглядно процесс ректификации можно проследить на схеме тарельчатой колонны (рис. 385).
- Колонна состоит из ряда горизонтально расположенных перегородок-тарелок, имеющих большое число отверстий и переливные трубки, верхние концы которых выступают на 30—50 мм выше тарелки, а нижние — находятся в жидкости на нижележащей тарелке, что обеспечивает поддержание на тарелках определенного постоянного уровня жидкости. На нижнюю тарелку поступает пар из куба колонны, а сверху подается флегма.



Рис. 385. Схема
ректификационной
тарельчатой
колонны:
1, 2, 3, 4, 5, 6—
тарелки колонны.

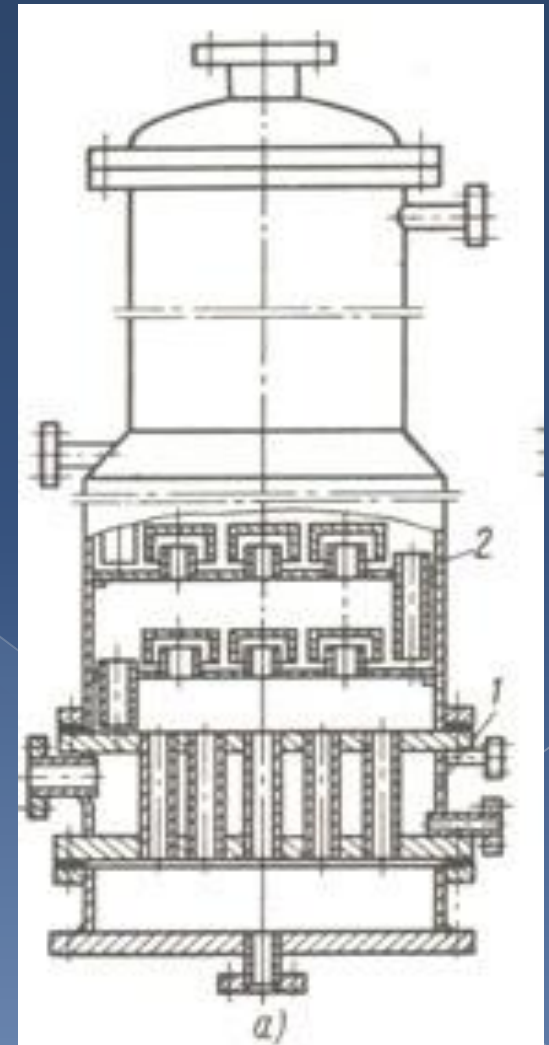
Схема устройства тарельчатой (колпачковой) колонны:

- 1 - тарелка;
- 2 - колпачок;
- 3- паровой патрубков;
- 4 - переливная трубка.



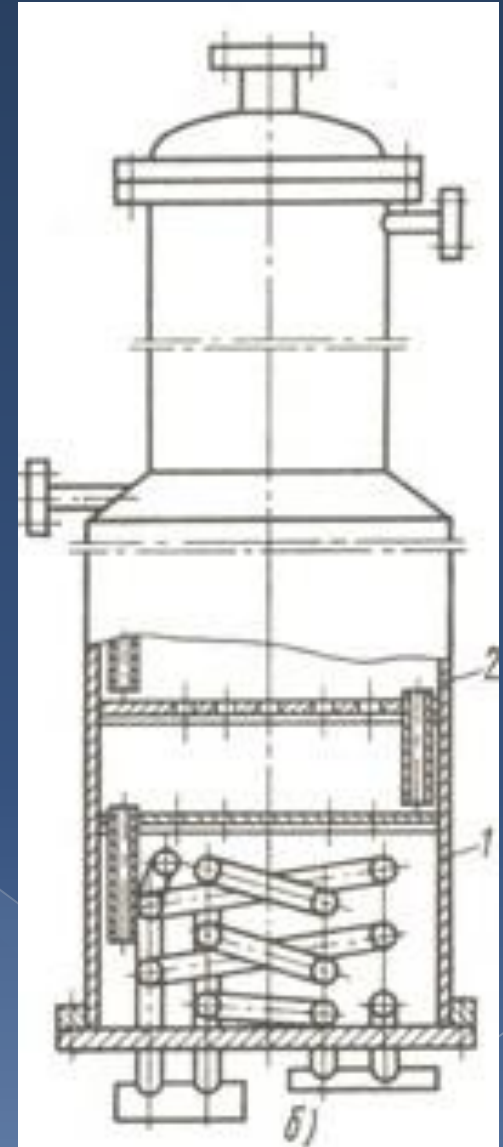
Тарельчатые колпачковые КОЛОННЫ

- Пары с предыдущей тарелки попадают в паровые патрубки колпачков и барботируют через слой жидкости, в которую частично погружены колпачки. Колпачки имеют отверстия или зубчатые прорезы, расчленяющие пар на мелкие струйки для увеличения поверхности соприкосновения его с жидкостью.
- Переливные трубки служат для подвода и отвода жидкости и регулирования ее уровня на тарелке. Основной областью массообмена и теплообмена между парами и жидкостью, как показали исследования, является слой пены и брызг над тарелкой, создающийся в результате барботажа пара.
- Высота этого слоя зависит от размеров колпачков, глубины их погружения, скорости пара, толщины слоя жидкости на тарелке, физических свойств жидкости и др.



Следует отметить, что, кроме колпачковых тарелок, применяют также

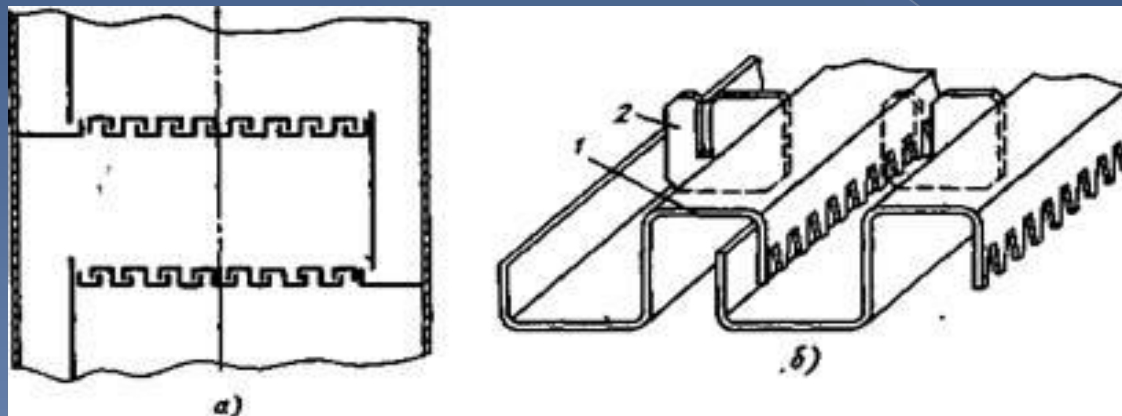
- клапанные,
- желобчатые,
- S-образные,
- чешуйчатые,
- провальные и другие конструкции тарелок.
- **Клапанные тарелки** (рис. б) показали высокую эффективность при значительных интервалах нагрузок благодаря возможности саморегулирования.
- Площадь живого сечения отверстий для пара составляет 10—15% площади сечения колонны.
- Скорость пара достигает 1,2 м/с. Клапаны изготавливают в виде пластин круглого или прямоугольного сечения с верхним (рис. б) или нижним (рис. в) ограничителем подъема.



Виды и устройство тарелок:

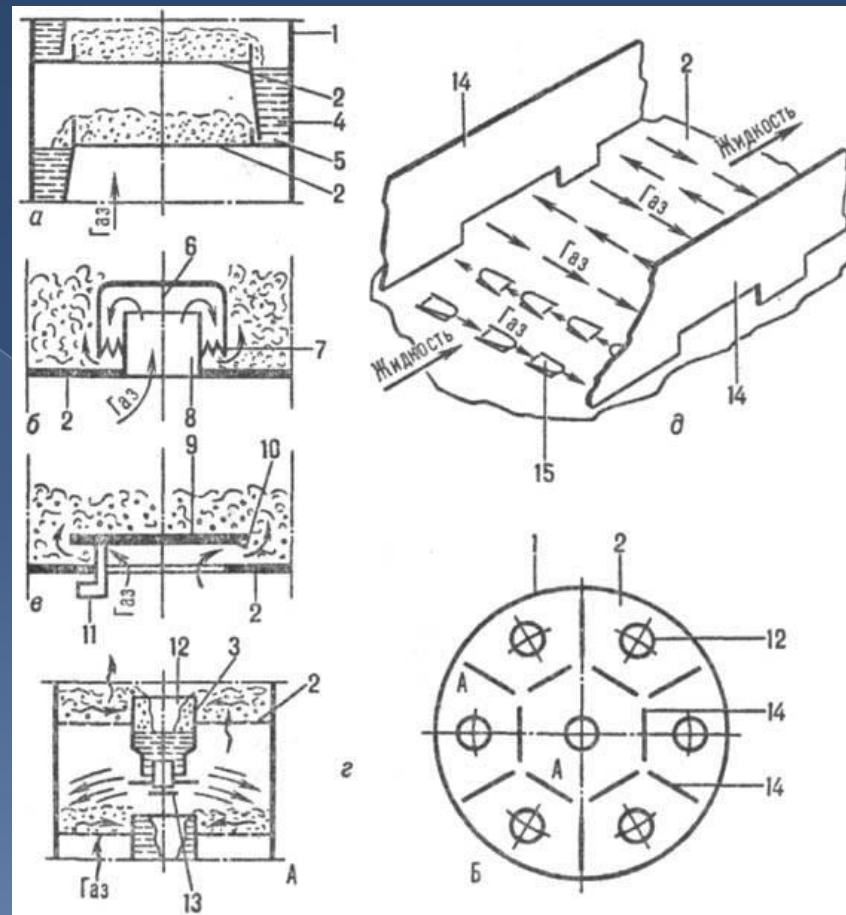
- Тарелки, собранные из S-образных элементов, обеспечивают движение пара и жидкости в одном направлении, способствуя выравниванию концентрации жидкости на тарелке. Площадь живого сечения тарелки составляет 12—20% от площади сечения колонны. Коробчатое поперечное сечение элемента создает значительную жесткость, позволяющую устанавливать его на опорное кольцо без промежуточных опор в колоннах диаметром до 4,5 м.

Тарелка с S-образными элементами: а - общий вид; б - схема



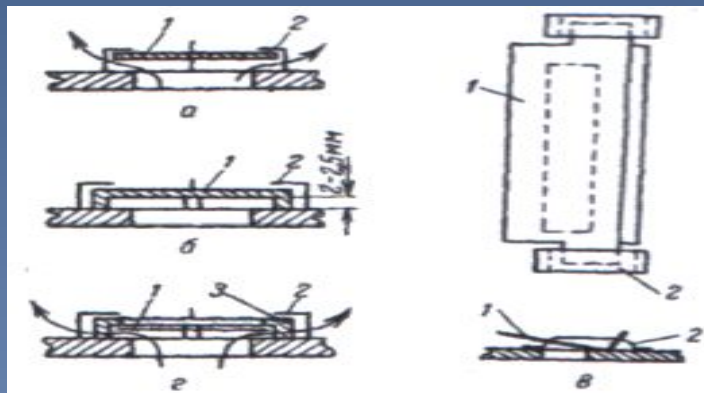
Виды и устройство тарелок:

- Чешуйчатые тарелки подают пар в направлении потока жидкости. Они работают наиболее эффективно при струйном режиме, возникающем при скорости пара в чешуях свыше 12 м/с. Площадь живого сечения составляет 10% площади сечения колонны. Чешуи бывают арочными и лепестковыми; их располагают на тарелке в шахматном порядке. Простота конструкции, эффективность и большая производительность — преимущества этих тарелок.



Виды и устройство тарелок:

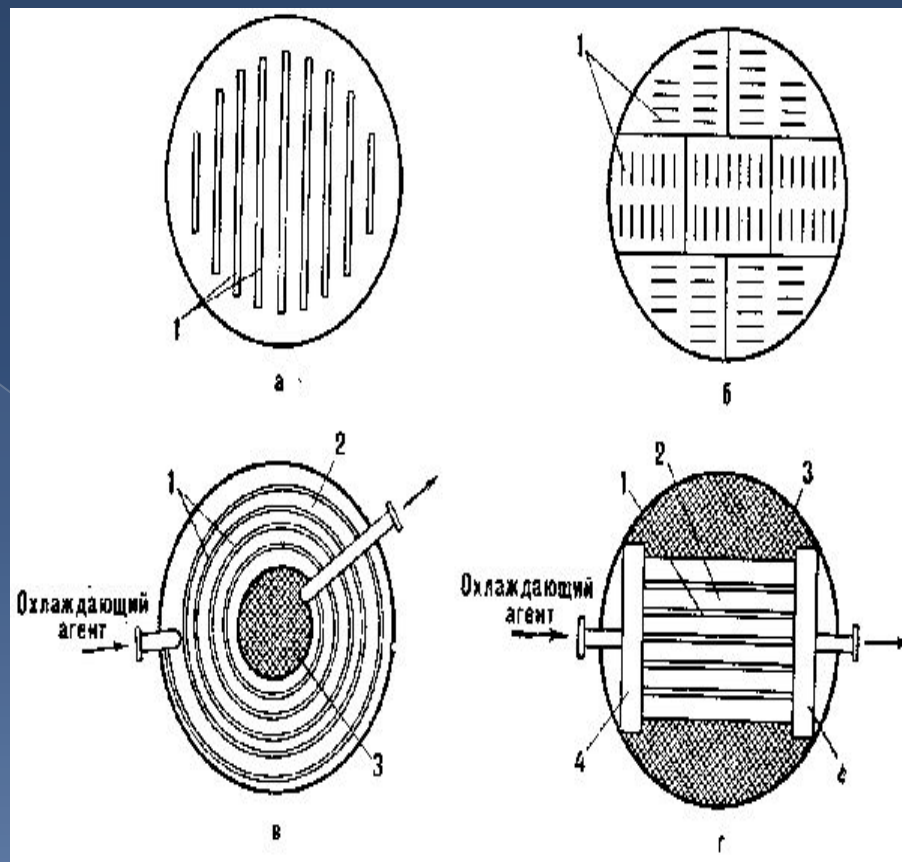
- ◎ **Пластинчатые тарелки** собраны из отдельных пластин, расположенных под углом $4—9^\circ$ к горизонтам. В зазорах между пластинами проходит пар со скоростью $20—50$ м/с. Над пластинами установлены отбойные щитки, уменьшающие брызгоунос. Эти тарелки отличаются большой производительностью, малым сопротивлением и простотой конструкции.



Виды и устройство тарелок:

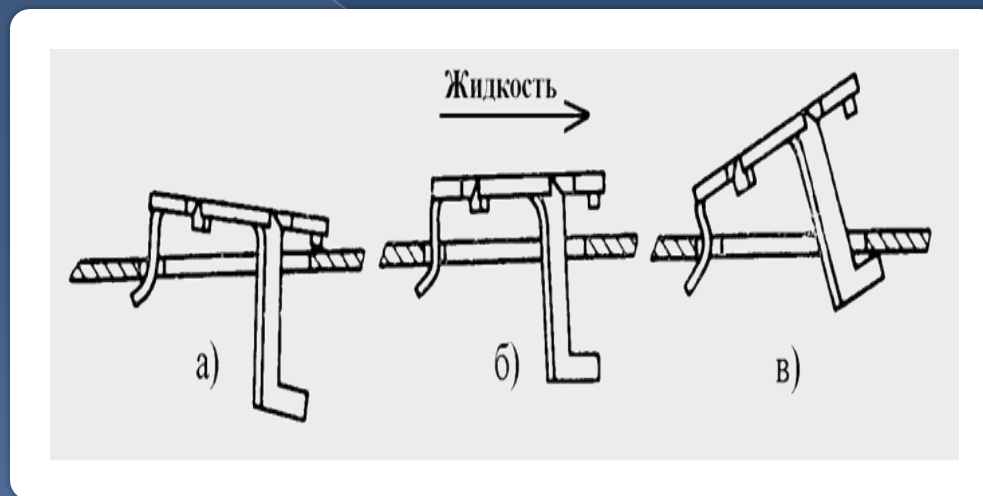
- К **провальным** относят тарелки решетчатые, колосниковые, трубчатые, ситчатые (плоские или волнистые без сливных устройств). Площадь живого сечения тарелок изменяется в пределах 15—30%. Жидкость и пар проходят попеременно через каждое отверстие в зависимости от соотношения их напоров. Тарелки имеют малое сопротивление, высокий к. п. д., работают при значительных нагрузках и отличаются простотой конструкции.

Провальные тарелки: а, б - решетчатые; в, г - трубчатые; 1 - щели; 2 - труба; 3 - перфорированный лист; 4 - коллекторы.



Виды и устройство тарелок:

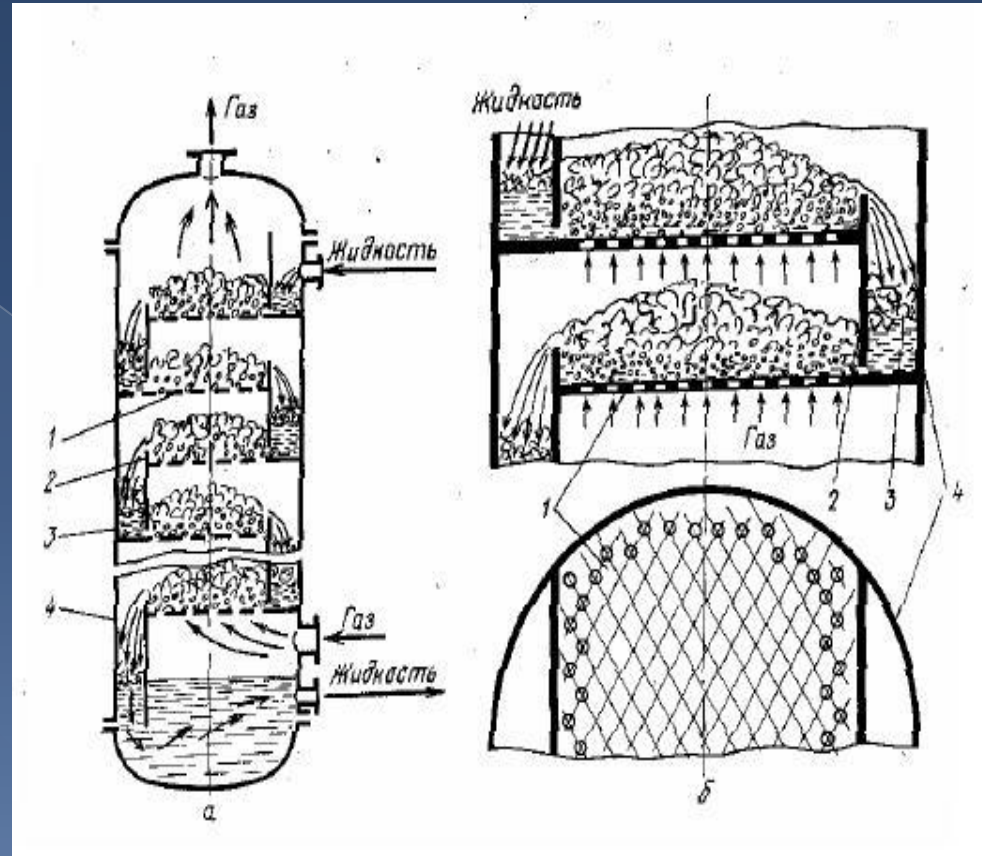
- **Прямоточные тарелки** обеспечивают длительное контактирование пленки жидкости с паром, движущимся со скоростью 14—45 м/с. Площадь живого сечения тарелки достигает 30%.



Схемы работы клапана **прямоточной тарелки** стандартной конструкции при нагрузках по парам: а - малых; б - средних; в - больших.

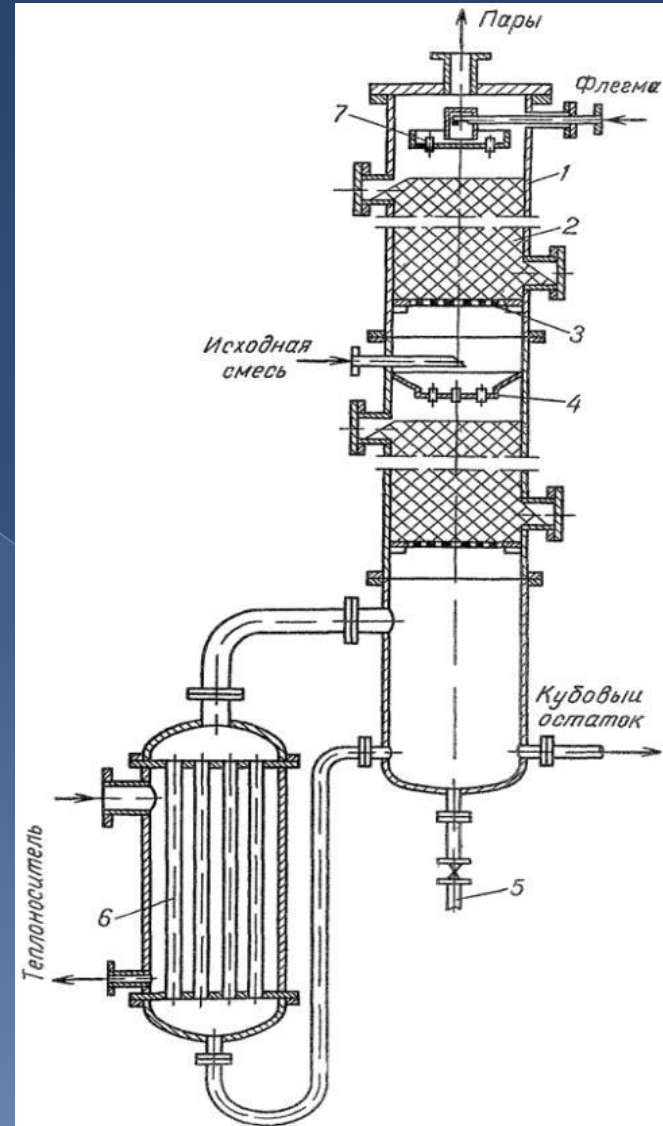
Ситчатые колонны

- Применяют главным образом при ректификации спирта и жидкого воздуха.
- Массо- и теплообмен между паром и жидкостью в основном происходят на некотором расстоянии от дна тарелки в слое пены и брызг.
- Ситчатые тарелки необходимо устанавливать строго горизонтально для обеспечения прохождения пара через все отверстия тарелки, а также во избежание стекания жидкости через них.
- Обычно диаметр отверстий ситчатой тарелки принимают в пределах 0,8—3,0 мм.



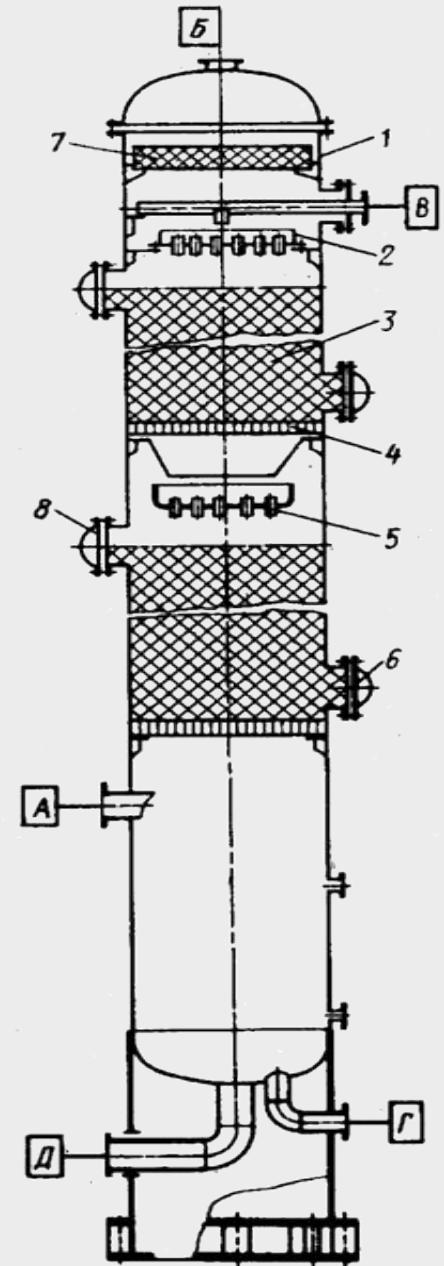
Насадочные колонны

- Получили широкое распространение в промышленности.
- Они представляют собой цилиндрические аппараты, заполненные инертными материалами в виде кусков определенного размера или насадочными телами, имеющими форму, например, колец, шаров для увеличения поверхности фазового контакта и интенсификации перемешивания жидкой и паровой фаз.



Насадочные КОЛОННЫ

- Диаметр насадочных колонн обычно не превышает 4000 мм. Для колонн большого диаметра трудно достичь высокой эффективности. Однако известны отдельные конструкции насадочных аппаратов диаметром до 12 м.
- Корпус 1 абсорбционной насадочной колонны выполняют (см. рис. 2.11) либо цельносварным, либо из отдельных царг с приварными или съемными крышками. Насадочные аппараты весьма чувствительны к неравномерности орошения, поэтому жидкость для орошения насадки подается через распределительную тарелку 2. Насадку 3 располагают по высоте аппарата в несколько слоев (секций) и укладывают на опорные решетки 4. Для загрузки и выгрузки насадки в верхней и нижней частях каждой секции обычно устанавливают люки 6 и 8. При больших нагрузках по газу и перепаде давлений 400-700 Па на 1 м высоты насадки, сверху на каждый слой укладывают удерживающую решетку, предотвращающую выброс насадки.



Насадочные колонны

- В верхней части колонны размещено отбойное устройство 7. Газ и жидкость движутся противотоком. При этом газ вводится в колонну снизу через штуцер А, а выводится через штуцер Б. Орошающая жидкость вводится сверху через штуцер В, а выводится через штуцеры Г и Д.
- При стекании жидкости по насадке происходит ее перераспределение и на некотором расстоянии от распределительной тарелки равномерность орошения может резко уменьшиться. При этом жидкость течет вдоль стенки аппарата, а центральная часть насадки остается не орошенной. Для исключения этого явления насадочное пространство разделяют на слои и устанавливают между слоями перераспределительные тарелки 5, которые собирают жидкость и распределяют ее вновь по сечению аппарата.
- Корпус и внутренние устройства серийно выпускаемых насадочных аппаратов изготавливают из тех же материалов, что и для тарельчатых массообменных аппаратов.

Типы насадок:

- **Нерегулярная насадка.**

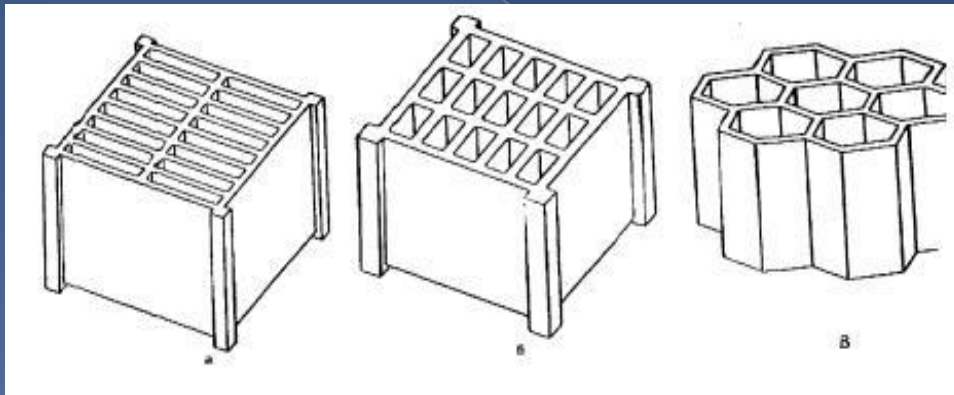
Нерегулярную насадку применяют в процессах массообмена, протекающих под давлением или в условиях неглубокого вакуума. Эта насадка обладает рядом преимуществ, одно из которых состоит в практическом отсутствии проблемы выбора материала. Насадку можно изготовить из металлов, полимеров, керамики.



Типы насадок:

- **Кусковая насадка.**

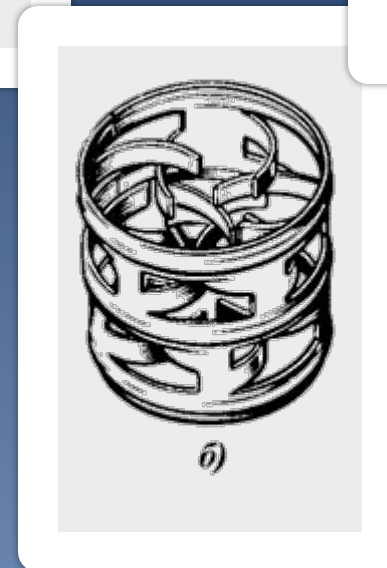
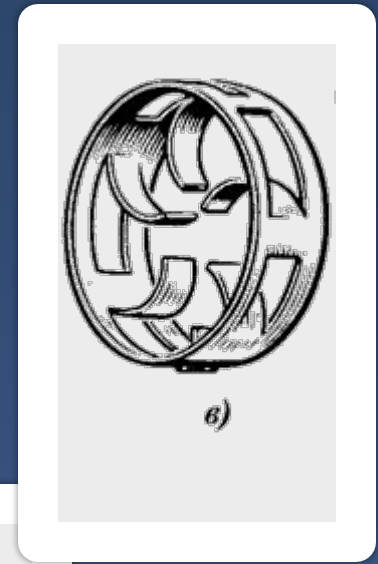
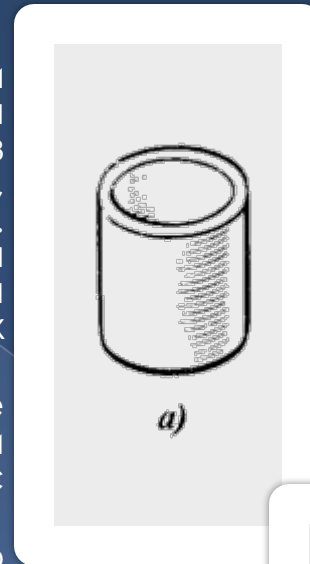
В качестве кусковой насадки применяют дробленные горные породы (кварц, андезит, кокс). Размеры кусковой насадки – 25-100 мм при беспорядочной засыпке. Достоинством насадки являются: дешевизна, химическая стойкость. Недостатком: малая удельная поверхность, малый свободный объем.



Блочные **насадки**. а - щелевые блоки; б - решетчатые блоки; в - сотовые блоки.

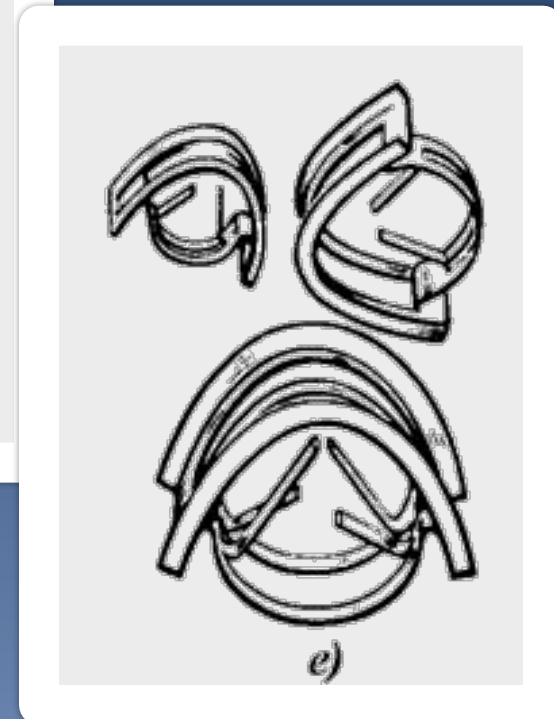
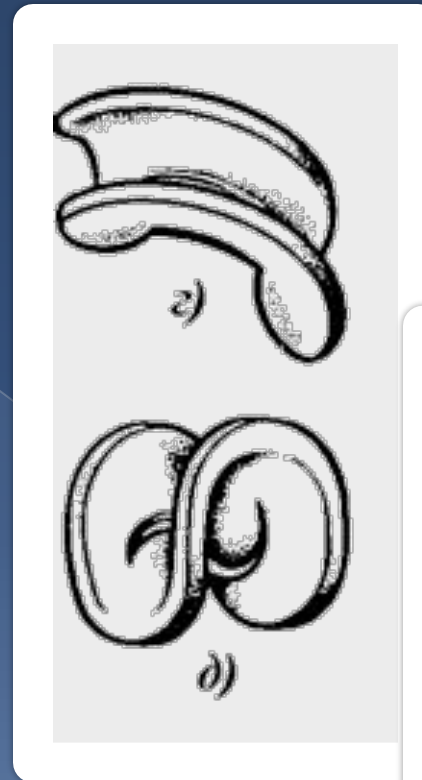
Типы насадок:

- **Кольцевая насадка.** Наиболее распространенный тип кольцевой насадки – кольца Рашига (рис. 2.12, а). Изготавливаются из керамики, фарфора, пластмассы, металлов, углеграфитовых масс. Диаметр колец 25-150 мм. Кольца диаметром до 50 мм загружаются навалом. При больших диаметрах кольца укладываются рядами.
- Существуют и другие кольцевые насадки: кольца с простой и крестообразной перегородкой, с прободенными стенками и т. д.
- Насадка Рашига имеет небольшую стоимость, но малоэффективна. Для повышения эффективности массообмена кольцевую насадку изготавливают перфорированной и с внутренними перегородками – кольца Палля (ФРГ) (рис. 2.12, б) и их модификации. К кольцевой насадке с перфорированной цилиндрической частью и внутренними перегородками относится насадка «Каскад-миниринг» (рис. 2.12, в).



Типы насадок:

- **Седлообразная насадка.** Имеет большую удельную поверхность (на 25 % больше, чем кольцевая) и большой свободный объем. Такую насадку выпускают, главным образом, в виде седел «Инталокс» (рис. 2.12, г) и седел Берля (рис. 2.12, д) из керамики и пластмассы размером 37×37 мм и 50×50 мм. Особое место среди седловидных насадок занимает насадка «Инталокс металл» (рис. 2.12, е), обладающая высокой эффективностью.

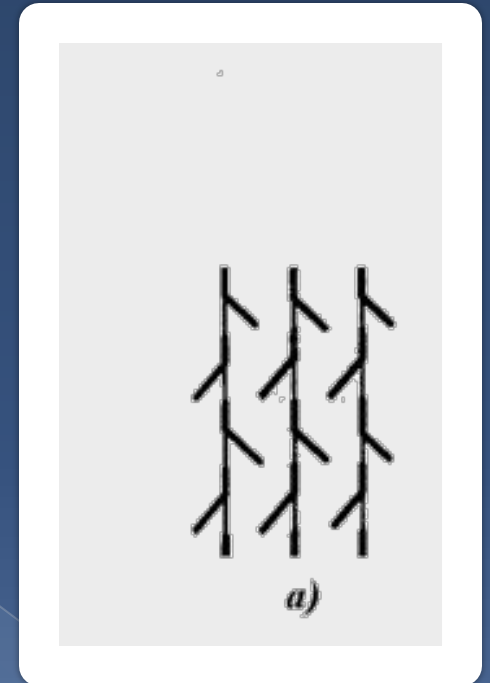


Типы насадок:

- **Регулярная насадка.** Правильно уложенная насадка отличается от нерегулярной меньшим гидравлическим сопротивлением и поэтому особенно пригодна для процессов вакуумной ректификации. К недостаткам следует отнести их высокую чувствительность к равномерности орошения.
- Простейшая регулярная насадка – плоскопараллельная – представляет собой пакеты, набираемые из плоских вертикальных, обычно металлических пластин толщиной 0,4-1,2 мм, расположенных параллельно с одинаковым зазором 10-20 мм. Высота пакета пластин 400-1000 мм. Наружный диаметр пакета соответствует внутреннему диаметру колонны. Для повышения равномерности распределения жидкости в колонне, пакеты устанавливаются один над другим, взаимно повернутыми на угол 45-90°. Недостатки этой насадки: высокая металлоемкость, плохое перераспределение жидкости, сравнительно низкая эффективность.

Типы насадок:

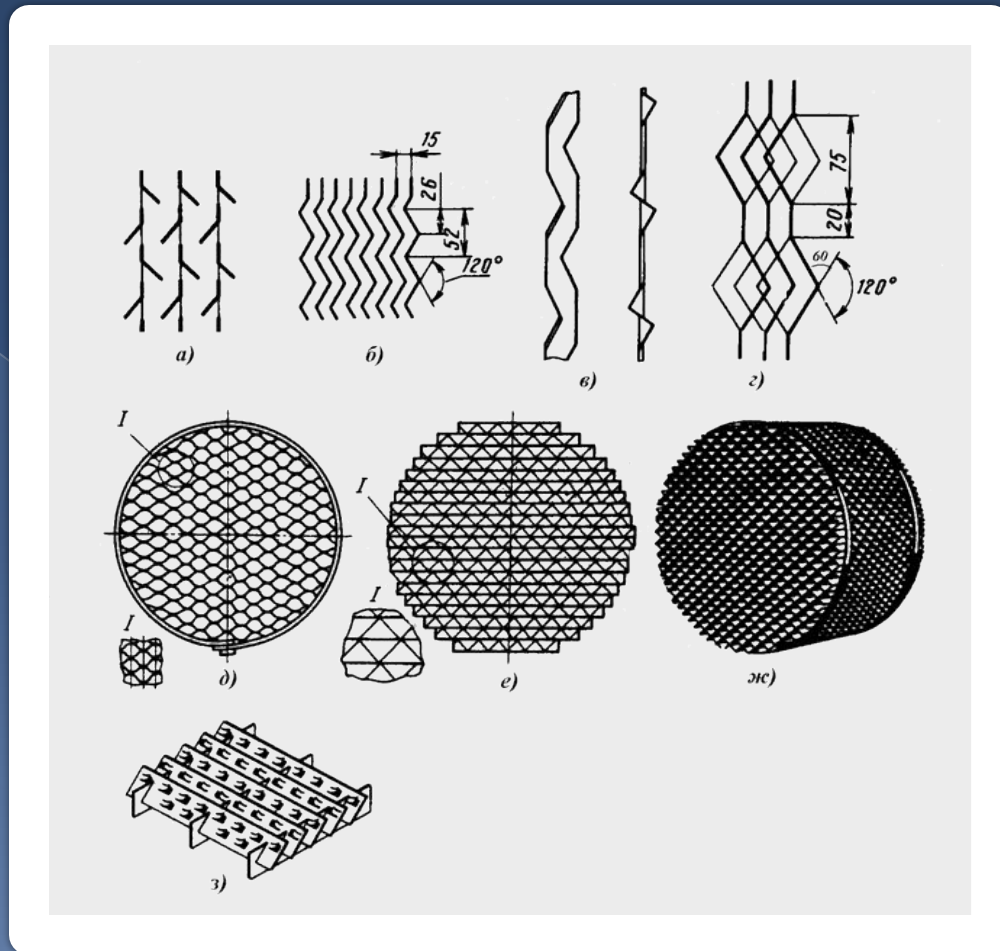
- Для устранения последнего недостатка, листы **плоскопараллельной насадки** выполняют с рифлением или с различными турбулизирующими элементами. Так, насадка состоит из вертикальных, параллельно расположенных листов, имеющих поперечные окна с отогнутыми лепестками (рис. 2.13, а). Соседние по высоте лепестки отогнуты в противоположные стороны и делят колонну в продольном направлении на контактные камеры. Газ, поднимаясь по колонне, проходит через камеры, многократно меняя направление движения при ударе о лепестки. Жидкость, стекая по насадке с лепестка на лепесток, распыляется восходящим газовым потоком.



Типы насадок:

- Насадка из гофрированной сетки

(рис. 2.13, е) рекомендована для процессов ректификации, проводимых под вакуумом. Пакеты такой насадки высотой 150-200 мм изготавливают из тканой проволочной сетки толщиной 0,2 мм. В последнее время разработана высокоэффективная насадка «Зульцер» (рис. 2.13, ж) из гофрированной сетки толщиной 0,16 мм, а также регулярная насадка «Роли пак», образованная ярусами наклонных листов с прорезями (рис. 2.13, з).



Трубчатые пленочные ректификационные колонны

- Трубчатые пленочные ректификационные колонны состоят из пучка вертикальных труб, по внутренней поверхности которых тонкой пленкой стекает жидкость, взаимодействуя с поднимающимся по трубам паром.
- Пар поступает из куба в трубки. Флегма образуется в дефлегматоре непосредственно на внутренней поверхности трубок, охлаждаемых водой в верхней их части. Диаметр применяемых трубок-5--20 мм. Эффект работы пленочного аппарата возрастает с уменьшением диаметра трубок.
- Трубчатые колонны характеризуются простотой изготовления, высокими коэффициентами массопередачи и весьма малыми гидравлическими сопротивлениями движению пара. Многотрубные (и длиннотрубные) колонны с искусственным орошением имеют значительно меньшие габаритные размеры и массу, чем тарельчатые.





Области применения

Ректификационных аппаратов:

- Ректификация известна с начала XIX века как один из важнейших технологических процессов главным образом спиртовой и нефтяной промышленности. В настоящее время ректификацию все шире применяют в самых различных областях химической технологии, где выделение компонентов в чистом виде имеет весьма важное значение (в производствах органического синтеза, изотопов, полимеров, полупроводников и различных других веществ высокой чистоты). Ректификация - это процесс многократного испарения и конденсации, в ходе которого исходная смесь разделяется на 2 или более компонентов, и паровая фаза насыщается легколетучим (низкокипящим) компонентом(ами), а жидкая часть смеси насыщается тяжелолетучим (высококипящим) компонентом(ами).