


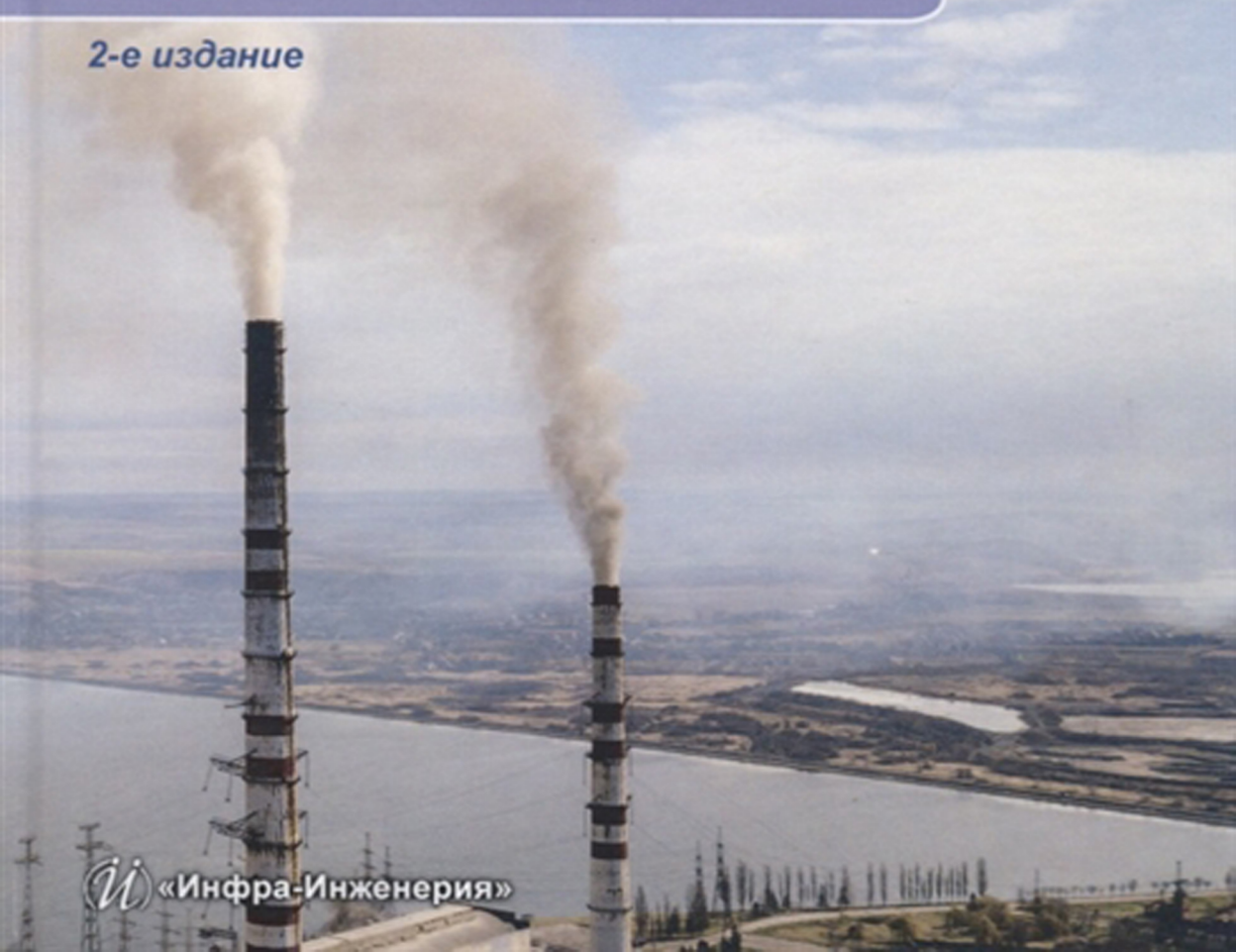
А. Г. Ветошкин

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ ОТ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Инженерная экология для бакалавриата

2-е издание

 «Инфра-Инженерия»



УДК 628.5
ББК 20.1
В39

Рецензенты:

кафедра инженерной экологии Пензенского государственного
университета архитектуры и строительства
(зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *Демьянова В. С.*);
д-р техн. наук, профессор *Таранцева К. Р.*
(Пензенский государственный технологический университет)

Ветошкин, А. Г.

В39 Аппаратурное оформление процессов защиты атмосферы от газовых выбросов : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 248 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0510-2

Рассмотрены основы процессов и аппаратов технологии защиты атмосферы от выбросов вредных газов и паров с использованием массообменных процессов очистки газовых выбросов путем абсорбции и адсорбции.

Приведены основы расчета и проектирования процессов и аппаратов (абсорберов и адсорберов) для защиты атмосферы от вредных газов и паров.

Для студентов, обучающихся на уровне бакалавриата по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Может быть использовано при изучении дисциплин «Экология» и «Безопасность жизнедеятельности» других направлений подготовки при подготовке магистров и аспирантов, а также преподавателями вузов и специалистами проектных организаций.

УДК 628.5
ББК 20.1

ISBN 978-5-9729-0510-2

© А. Г. Ветошкин, 2020
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

Глава 1. Абсорбция газовых примесей

Абсорбцией называется перенос компонентов газовой смеси в объем соприкасающейся с ней конденсированной фазы. При абсорбции происходит избирательное поглощение одного или нескольких компонентов из газовой смеси жидкими поглотителями.

Обратный процесс, т. е. удаление из объема конденсированного вещества поглощенных молекул газа, называется *дегазацией* или *де(аб)сорбцией*.

Вещество, которое содержится в газовой фазе и при абсорбции не переходит в жидкую фазу, называют *газом-носителем*, вещество, в котором происходит растворение абсорбируемых компонентов, называют *растворителем* (*поглотителем* или *абсорбентом*), вещество, которое содержится в газовой фазе и при абсорбции переходит в жидкую фазу, т.е. поглощаемый компонент, называют *абсорбтивом*, поглощаемое вещество в объеме поглотителя – *абсорбатом*.

Абсорбат удерживаются в абсорбенте, равномерно распределяясь среди его молекул, вследствие *растворения* или *химической реакции*.

Процесс, завершающийся растворением абсорбата в поглотителе, называют *физической абсорбцией* (в дальнейшем - *абсорбция*). При физической абсорбции происходит физическое растворение абсорбируемого компонента в растворителе, при этом молекулы абсорбента и молекулы абсорбтива не вступают между собой в химическое взаимодействие.

Иногда растворяющийся газ вступает в химическую реакцию непосредственно с самим растворителем. Процесс, сопровождающийся химической реакцией между поглощаемым компонентом и абсорбентом, называют *химической абсорбцией* (в дальнейшем - *хемосорбция*). При хемосорбции абсорбируемый компонент вступает в химическую реакцию с поглотителем, образуя новые химические соединения в жидкой фазе.

При физической абсорбции обычно используют в качестве абсорбента воду, а также органические растворители и неорганические, не реагирующие с извлекаемыми компонентами и их водными растворами.

При хемосорбции в качестве абсорбента используют водные растворы солей, органические вещества и водные суспензии различных веществ.

Абсорбция представляет процесс химической технологии, включающей массоперенос между газообразным компонентом и жидким растворителем, осуществляемый в аппарате для контактирования газа с жидкостью. Аппараты, в которых осуществляют процесс абсорбции, называют *абсорберы*.

Процесс, обратный абсорбции, называется *десорбцией*. Если изменяются условия, например, происходит понижение давления над жидкостью или снижается температура, процесс становится обратимым и происходит выделение газа из жидкости. Таким образом, может быть осуществлен циклический процесс абсорбции-десорбции. Это позволяет выделить поглощенный компонент. Сочетая абсорбцию с десорбцией, можно многократно использовать почти без потерь жидкий поглотитель (абсорбент) в замкнутом контуре аппаратов: абсорбер-десорбер-абсорбер (круговой процесс), выделяя поглощенный компонент в чистом виде.

Абсорбция — наиболее распространенный процесс очистки газовых смесей во многих отраслях, например, в химической промышленности. Абсорбцию широко применяют для очистки выбросов от сероводорода, других сернистых соединений, паров соляной, серной кислот, цианистых соединений, органических веществ (фенола, формальдегида и др.).

Для более полного извлечения компонента из газовой смеси при физической абсорбции необходимо использовать принцип противотока с непрерывной подачей в абсорбер свежего раствора.

Схема абсорбционной установки приведена на рис. 1.

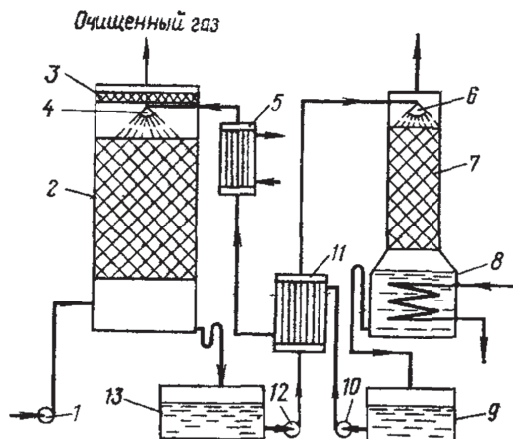


Рис. 1. Схема абсорбционной установки:

- 1 - вентилятор (газодувка); 2 - абсорбер; 3 - брызгоотбойник; 4, 6 - оросители; 5 - холодильник;
7 - десорбер; 8 - куб десорбера; 9, 13 - ёмкость для абсорбента; 10, 12 - насосы;
11 - теплообменник-рекуператор

Газ на абсорбцию подается газодувкой 1 в нижнюю часть колонны, где равномерно распределяется перед поступлением на контактный элемент (насадку или тарелки). Абсорбент из промежуточной емкости 9 насосом 10 подается в верхнюю часть колонны и равномерно распределяется по поперечному сечению абсорбера с помощью оросителя 4. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ, пройдя брызгоотбойник 3, выходит из колонны. Абсорбент стекает через гидрозатвор в промежуточную емкость 13, откуда насосом 12 направляется на регенерацию в десорбер 7, после предварительного подогрева в теплообменнике-рекуператоре 11. Исчерпывание поглощенного компонента из абсорбента производится в кубе 8, обогреваемом, как правило, насыщенным водяным паром. Перед подачей на орошение колонны абсорбент, пройдя теплообменник-рекуператор 11, дополнительно охлаждается в холодильнике 5.

Абсорбционная система может быть простой, в которой жидкость применяется только один раз и удаляется из системы без отделения абсорбированного загрязнения. В другом варианте загрязнение отделяют от абсорбирующей жидкости, выделяя её в чистом виде. Затем абсорбент вновь подают на стадию абсорбции, снова регенерируют и возвращают в систему.

Глава 2. Способы выражения составов смесей

Содержание компонентов и другие характеристики реальной смеси могут быть оценены лишь с некоторой степенью приближения.

Гомогенную газовую смесь представляют в виде смеси идеальных газов, считая возможным применять к ней и к каждому ее компоненту законы идеальных газов.

Для расчетов процессов, связанных с изменением давления в системе, состав смеси обычно задают в единицах давления.

Согласно закону Дальтона давление газовой смеси P можно подсчитать, складывая парциальные давления ее компонентов:

$$P = N \sum_{i=1} p_i .$$

Парциальным давлением i -го компонента называют давление, которое он производил бы при температуре смеси и в том же количестве, если бы один занимал весь объем смеси. Задание состава идеальной газовой смеси набором парциальных давлений ее компонентов равносильно заданию количества (числа молей) каждого компонента в долях от общего количества (числа молей) смеси.

По закону Амага, аналогичному с законом Дальтона, предполагается аддитивность парциальных объемов:

$$V = \sum_{i=1}^N V_i .$$

Парциальный объем i -го компонента газовой смеси - это объем, который он занимал бы, находясь в том же количестве при температуре и давлении смеси. Исходя из этого состав смеси может задаваться парциальными объемами компонентов в единицах измерения объема.

Часто составы смесей задают относительными величинами, используя для этого объемные, молярные и массовые доли или проценты.

Объемная доля i -го компонента v_i выражается отношением его парциального объема к объему смеси, молярная доля n_i - количеством вещества (молей) i -го компонента, отнесенным к количеству вещества (молей) смеси, массовая доля g_i - отношением массы i -го компонента к массе смеси:

$$v_i = V_i / V; \quad n_i = N_i / N; \quad g_i = m_i / m .$$

Численные значения объемных и молярных долей компонентов идеальной газовой смеси одинаковы, так как в равных объемах идеальных газов при равенстве температур и давлений содержится одинаковое количество вещества (молей). Массовые доли связаны с объемными и молярными долями соотношением:

$$g_i = v_i M_i / M = n_i M_i / M ,$$

где M - средняя (кажущаяся) молярная масса смеси, которую подсчитывают по правилу аддитивности:

$$M = \sum_{i=1}^N M_i v_i = 1 / \sum_{i=1}^N (g_i / M_i).$$

Очевидно, что:

$$N \sum_{i=1}^N v_i = \sum_{i=1}^N n_i = \sum_{i=1}^N g_i = 1.$$

Наряду с долями содержание компонентов смеси выражают в объемных, молярных и массовых процентах.

В практике пылегазоочистки принято состав газа-носителя (воздуха, дымовых газов) задавать объемными или массовыми процентами, а содержание вредных ингредиентов - массовыми концентрациями на единицу объема выбросов.

Используемые в дальнейшем изложении и расчетах обозначения концентраций вещества A в веществе B , выраженных различными способами, приведены в таблице П.1 приложения, а в таблице П.2 приложения представлены формулы для пересчета концентраций вещества A в газовой и жидкой фазах.

Глава 3. Устройство и принцип действия абсорберов

Процесс абсорбции осуществляется в специальных аппаратах - *абсорберах*.

Абсорбция, как и другие процессы массопередачи, протекает на поверхности раздела фаз. Для интенсификации процесса абсорбции необходимы аппараты с развитой поверхностью контакта между жидкой и газовой фазами (абсорбента с газом-носителем). По способу образования этой поверхности и диспергации абсорбента, что непосредственно связано с конструктивными особенностями абсорберов, их можно подразделить на четыре основные группы: 1) пленочные; 2) насадочные; 3) барботажные (тарельчатые); 4) распыливающие или распылительные (брызгальные).

По способу организации массообмена абсорбционные устройства принято делить на аппараты с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. К устройствам с непрерывным контактом можно отнести насадочные колонны, распылительные аппараты (полые скрубберы, скрубберы Вентури, ротоклоны и др.), однополочные барботажные и пенные устройства, а к устройствам со ступенчатым контактом - тарельчатые колонны, многополочные барботажные и пенные устройства.

Для абсорбции газовых загрязнителей чаще всего применяются насадочные и тарельчатые колонные аппараты.

3.1. Насадочные колонны

Насадочные абсорберы получили наибольшее применение в промышленности. В насадочных колоннах обеспечивается лучший контакт обрабатываемых газов с абсорбентом, чем в полых распылителях, благодаря чему интенсифицируется процесс массопереноса и уменьшаются габариты очистных устройств.

Эти абсорберы представляют собой колонны, заполненные насадкой - твердыми телами различной формы. Некоторые распространенные типы насадок показаны на рис. 2.

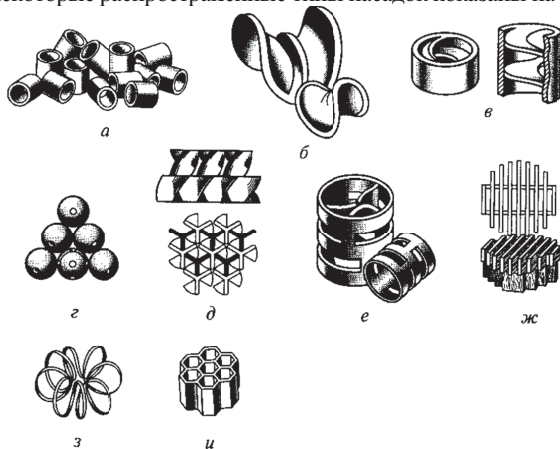


Рис. 2. Насадочные элементы:

а — кольца Рашига; б — седлообразная насадка «Инталокс»; в — кольца с перегородками; г — шары; д — пропеллерная насадка; е — кольца Палля; ж — хордовая насадка; з — спирали; и — керамические блоки

К основным характеристикам насадки относят ее удельную поверхность f ($\text{м}^2/\text{м}^3$) и свободный объем ϵ ($\text{м}^3/\text{м}^3$). Еще одной характеристикой насадки является ее свободное сечение S ($\text{м}^2/\text{м}^2$). Принимая, что свободное сечение насадки S равно по величине ее свободному объему, т. е. $S = \epsilon$.

Максимальную поверхность контакта на единицу объема образуют седлообразные насадки "Инталокс" (рис. 2, б). Они имеют и минимальное гидравлическое сопротивление, но стоимость их выше, чем колецевых насадок. Из кольцевых насадок наилучший контакт создают кольца Палля (рис. 2, е), но они сложны в изготовлении и дороже колец Рашига (рис. 2, а).

В качестве насадки наиболее широко применяют тонкостенные кольца Рашига (рис. 2, а), имеющие высоту, равную диаметру, который изменяется в пределах 15...150 мм. Кольца малых размеров засыпают в колонну навалом. Большие кольца (от 50×50 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.

Хордовые деревянные насадки (рис. 2, ж) имеют минимальную удельную поверхность и стоимость. Хордовую насадку (см. рис. 2, ж) обычно применяют в абсорберах большого диаметра. Несмотря на простоту ее изготовления, хордовая насадка вследствие небольших удельной поверхности и свободного сечения вытесняется более сложными и дорогостоящими видами фасонных насадок, часть из которых представлена на рис. 2). В таблице приложения 3 приведены основные характеристики насадок некоторых типов.

Устройство насадочной колонны диаметром 1000 мм и расположение ее конструктивных элементов показано на рис. 3.

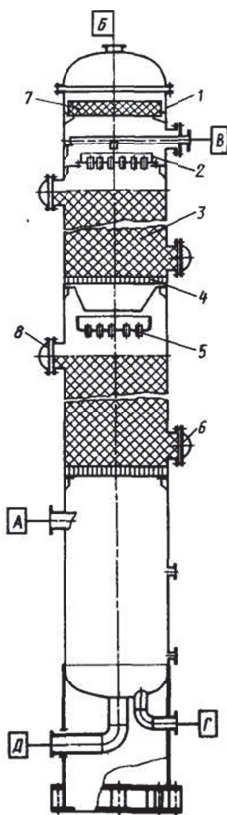


Рис. 3. Конструкция насадочного абсорбера:

- 1 – корпус; 2 – распределительная тарелка; 3 – насадка; 4 – опорные решетки;
5 - перераспределительная решетка; 6, 8 – люки; 7 – отбойное устройство

Эффективность массопередачи в насадочных колоннах значительно зависит от равномерности распределения потоков контактирующих фаз, соотношения их скоростей и условий орошения элементов насадки.

Жидкость в насадочной колонне течет по элементу насадки в виде тонкой пленки, поэтому поверхностью контакта фаз является в основном смоченная поверхность насадки. Однако при перетекании жидкости с одного элемента насадки на другой пленка жидкости разрушается и на нижележащем элементе образуется новая пленка. При этом часть жидкости проходит на расположенные ниже слои насадки в виде струек, капель и брызг. Часть поверхности насадки, в основном в местах соприкосновения насадочных элементов друг с другом, бывает смочена неподвижной (застойной) жидкостью.

Равномерность распределения газа по сечению абсорберов зависит от способа его ввода в аппарат. При вводе по оси аппарата газ движется преимущественно в центральной его части, лишь постепенно заполняя все сечение аппарата. Наличие опорно-распределительной решетки значительно повышает равномерность движения газа в основном объеме аппарата. Для насадочных колонн очень важным является равномерный по сечению колонны ввод газа под опорную решетку, для того чтобы избежать байпасирования газа в насадке по ее высоте. С этой целью расстояние между днищем абсорбера и насадкой делают достаточно большим.

Начальная равномерность распределения абсорбента достигается посредством ее диспергированной подачи на поверхность насадки через распылительные форсунки или распределительные тарелки с большим числом отверстий. При дальнейшем передвижении жидкости ее контактирование с газовой фазой ухудшается из-за оттока к стенкам колонны. Поэтому высоту насадки делят на несколько слоев (ярусов), устанавливая между ними перераспределительные устройства в виде тарелок.

Конструкции тарелок (по ОСТ 26-705-73) распределительных ТСН-III (а) и перераспределительных ТСН-II (б) для стандартных типоразмеров насадочных колонн показаны на рис. 4, а их технические характеристики приведены в таблице приложения 4.

Недостаточное орошение элементов насадки ведет к недоиспользованию поверхности ее контакта. Значительный избыток жидкости может вызвать частичное затопление насадки, что также ведет к ухудшению контакта фаз на поверхности насадочных элементов. Ориентировочно минимальную плотность орошения ρ_{\min} м³/ч на 1 м² поверхности насадки, можно принять как $0,12 f_v$, где f_v - удельная поверхность насадки, м²/м³, а максимальную плотность орошения - в 4...6 раз выше минимальной.

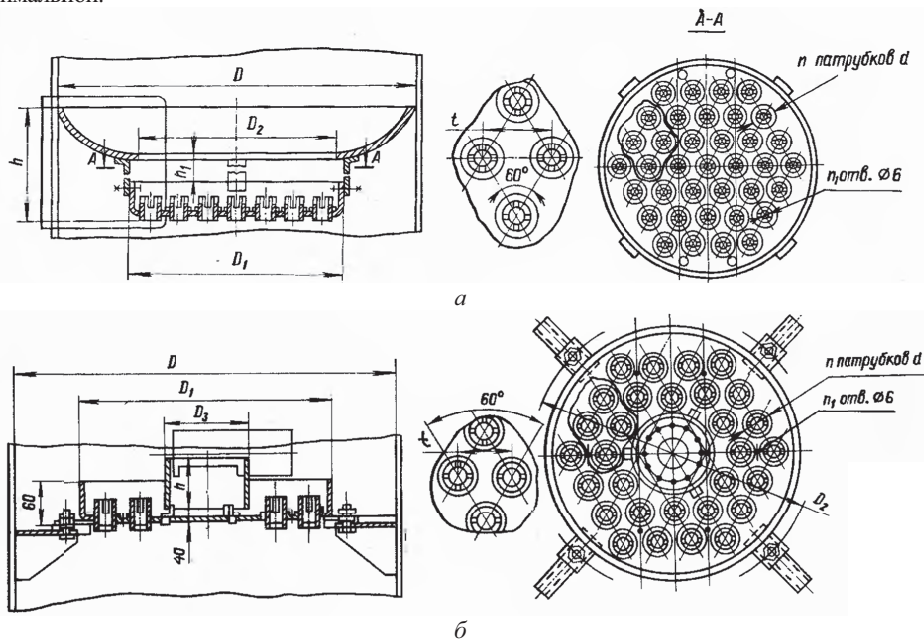


Рис. 4. Конструкции распределительных тарелок:
а - тип ТСН-III; б - тип ТСН-II

Соотношение расходов жидкости и газа, поступающих в колонну, должно соответствовать оптимальному гидравлическому режиму работы насадочного слоя. При низких расходах газа наблюдается *плечное* стекание жидкости. С увеличением подачи газа наступает момент, когда часть жидкости начинает задерживаться и скапливаться в слое насадки, а его гидравлическое сопротивление быстро растет. Такой режим называют началом (точкой) *подвисания* (или *торможения*). Дальнейшее увеличение расхода газа приводит к запиранию потока жидкости и ее *эмульгированию*. При этом наступает обращение, или *инверсия*, фаз (жидкость становится сплошной фазой, а газ - дисперсной). Соответствующий режим называют началом (точкой) *захлебывания*. Режим *эмульгирования* соответствует максимальной эффективности насадочных колонн вследствие увеличения контакта фаз, но это повышение эффективности насадочной колонны сопровождается резким увеличением ее гидравлического сопротивления.

Скорость захлебывания снижается с увеличением отношения расхода жидкости к расходу газа, насыпной плотности насадки и с уменьшением размера насадочных элементов, а также зависит от типа насадки.

Насадочные абсорберы должны работать с максимально возможными скоростями газового потока, при которых насадка не захлебывается. Обычно эта скорость превышает половину *скорости захлебывания*. Для колец Рашига ее можно принимать до 60...80 %, для седлообразных насадок - до 60...85 % от скорости захлебывания.

При выборе размеров насадки необходимо учитывать, что с увеличением размеров ее элементов увеличивается допустимая скорость газа, а гидравлическое сопротивление насадочного абсорбера снижается.

Диаметр колонны с крупной насадкой будет ниже, несмотря на то что высота насадки несколько увеличится по сравнению с абсорбером, заполненным 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.

3.2. Тарельчатые колонны

Тарельчатые колонны составляют основную группу массообменных аппаратов. Они представляют собой вертикальный цилиндр (цельносварной или состоящий из нескольких царг, соединенных между собой наглухо или разъемными фланцами), по высоте которого расположены специальные контактные устройства – тарелки, используемые в одних случаях как технологические, в других — как опорные устройства. Корпус колонны (цилиндр) выполняется из различных материалов - листового металла, металлического литья, керамики и т. д. в зависимости от коррелирующих свойств перерабатываемой смеси температурного и барометрического режимов работы аппарата.

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. Жидкость непрерывно перетекает с верхних тарелок на нижние, отделенные друг от друга свободным пространством, где газ, пар или легкая жидкость отделяется от уносимых ими частиц более тяжелой фазы.

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.

Выбор того или иного типа тарелок обуславливается технологическими соображениями.

Диапазон диаметров тарелок (независимо от их типа и конструкции), применяемых в колонной аппаратуре, составляет 200...8000 мм — в соответствии с диаметрами колонн, для которых они предназначаются.

Количество тарелок в одной колонне бывает обычно не менее 20...30, а в отдельных случаях доходит до 80 шт. и более.

Расстояния между тарелками зависят в основном от физико-химических свойств разделяемой среды, а также некоторых других соображений и бывают от 60 до 600 мм и более.

Тарелки малых размеров выполняются цельными, тарелки больших размеров — большей частью составными (разборными) из отдельных секций, соединяемых между собой струбцинами, болтами и другими приспособлениями. В отдельных случаях в стальной сварной аппаратуре крупногабаритные тарелки выполняются неразборными, свариваемыми на месте монтажа.

Тарелки характеризуются нагрузками по пару и жидкости, относительная величина которых в зависимости от разделяемой среды может в значительной степени отличаться друг от друга.

Рабочие параметры разделения в ректификационных и абсорбционных колоннах, также в зависимости от разделяемой среды, бывают различными: по давлению — от глубокого вакуума до избыточного 4 МПа и выше, а по температуре от минус 250 до плюс 250 °С и более.

Ситчатые, ситчато-клапанные, клапанные и жалюзийно-клапанные тарелки диаметром от 1,2 до 4,0 м бывают двух исполнений: 1 - для нагрузок по жидкости до $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и 2 - для нагрузок по жидкости свыше $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Ситчато-клапанные тарелки изготовляют двух модификаций - А и В. Они отличаются величиной относительно свободного сечения и количеством клапанов.

Тарелки с двумя зонами контакта фаз бывают трех исполнений: с ситчатыми, ситчато-клапанными и клапанными секциями. В зависимости от нагрузок по жидкости устанавливаются 4 модели тарелок по переливным устройствам:

Модель	Диаметр переливного устройства, м
01	0,3 (однощелевой)
02	0,3 (двухщелевой)
03	0,4 (однощелевой)
04	0,4 (двухщелевой)

Основные типы тарелок и области их применения приведены в табл. 1.

Типы и области применения тарелок

Тип тарелки	Диаметр, м	Область применения
Колпачковые	0,4...4,0	Для процессов, протекающих при атмосферном и повышенном давлении и не стабильных режимах. Диапазон устойчивой работы тарелок 4,5*
Ситчатые	То же	Для процессов, протекающих при любом давлении и стабильных режимах. Диапазон устойчивой работы тарелок 2
Тарелки с двумя Зонами контакта фаз	1,6...4,0	Стандарт устанавливает три исполнения тарелок: исполнение 1 – с ситчатыми секциями, исполнение 2 – с ситчато-клапанными секциями, исполнение 3 – с клапанными секциями. В зависимости от нагрузок по жидкости для всех исполнений тарелок установлено 4 типа размеров переливов с диаметрами 300 и 400 мм, оснащенными одно- или двухшелевыми выходными устройствами для жидкости. Диапазон устойчивой работы тарелок от 2 до 4
Ситчато-клапанные	0,4...4,0	Для процессов, протекающих преимущественно под разрежением и при умеренном давлении. Диапазон устойчивой работы тарелок 3-3,5
Клапанные	То же	Для процессов, протекающих преимущественно при атмосферном и повышенном давлении. Диапазон устойчивой работы тарелок 3,5
Жалюзийно-клапанные	1,0...4,0	Для процессов, протекающих преимущественно при атмосферном и повышенном давлении. Диапазон устойчивой работы тарелок 4,5

* Под диапазоном устойчивой работы тарелки подразумевают отношение максимально допустимого значения фактора паровой (газовой) нагрузки к минимально допустимому.

На каждой тарелке, в зависимости от ее конструкции, можно поддерживать тот или иной вид движения фаз, обычно перекрестный ток или полное перемешивание жидкости.

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).

К тарельчатым аппаратам со сливными устройствами относятся колонны с колпачковыми, ситчатыми, клапанными и другими тарелками. Эти тарелки имеют специальные устройства для перетока жидкости с одной тарелки на другую - переливные трубки, карманы и др. Нижние концы переливных устройств погружены в жидкость на нижерасположенных тарелках для создания гидрозатвора, предотвращающего прохождение газа через переливное устройство (рис. 5).

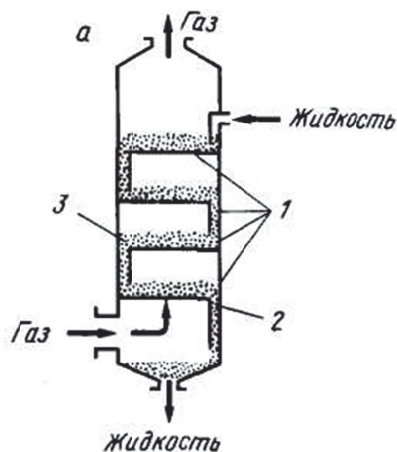


Рис. 5. Схема тарельчатой абсорбционной колонны:
1 — тарелки; 2 — корпус колонны; 3 — переливная трубка

Жидкость подается на верхнюю тарелку, движется вдоль тарелки от одного переливного устройства к другому, перетекает с тарелки на тарелку и удаляется из нижней части абсорбера. Переливные устройства на тарелках (рис. 6) располагают таким образом, чтобы жидкость на соседних по высоте аппарата тарелках протекала во взаимно противоположных направлениях. Газ поступает в нижнюю часть абсорбера, проходит через прорези колпачков (в других абсорберах через отверстия, щели и т. д.) 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.

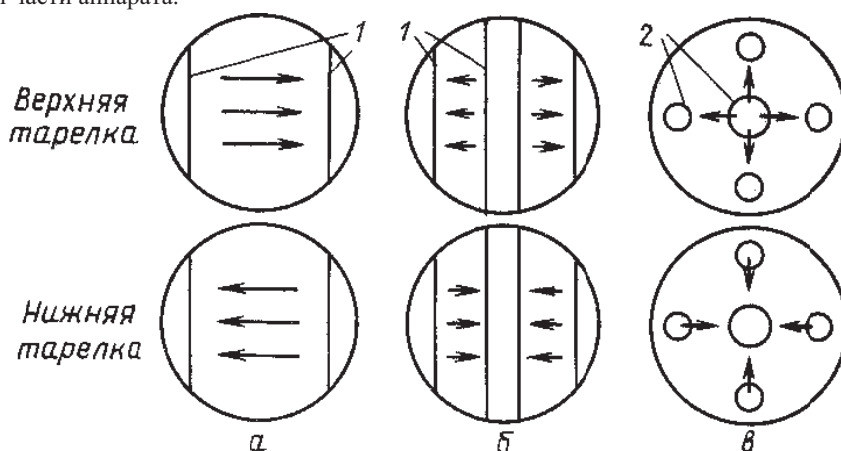


Рис. 6. Некоторые типы сливных устройств тарельчатых колонн:

- а - однопоточное устройство со сливными перегородками 1;
- б - двухпоточное устройство со сливными перегородками 1;
- в - устройство для радиального направления жидкости с переливными трубами 2

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*). Эти режимы различаются структурой газожидкостного слоя на тарелке, которая в основном определяет его гидравлическое сопротивление, высоту и поверхность контакта на тарелке.

Пузырьковый (барботажный) режим возникает при небольших скоростях газа, когда в виде отдельных пузырьков газ движется через слой жидкости. Если при этом пузырьки газа не сливаются друг с другом, то гидродинамика такого движения (диаметр пузырьков, скорость их всплывания) может быть описана уравнениями, полученными для всплывания одиночного пузырька. 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 в виде пены, 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.

Количество конструктивных разновидностей тарелок весьма велико. В принципе они отличаются друг от друга формой и расположением контактных элементов и переливных устройств, а также схемой движения жидкости на тарелках и по высоте колонны.

Наиболее распространены тарелки следующих типов: колпачковые; ситчатые; провальные (решетчатые); клапанные и др. Ситчатые, ситчато-клапанные, клапанные и жалюзийно-клапанные тарелки диаметром от 1,2 до 4,0 м бывают двух исполнений: 1 - для нагрузок по жидкости до $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и 2 - для нагрузок по жидкости свыше $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Выбрать оптимальное контактное устройство из большого разнообразия типов тарелок довольно сложно. Приведенные ниже конструкции тарелок (рис. 7) характеризуются следующими показателями.

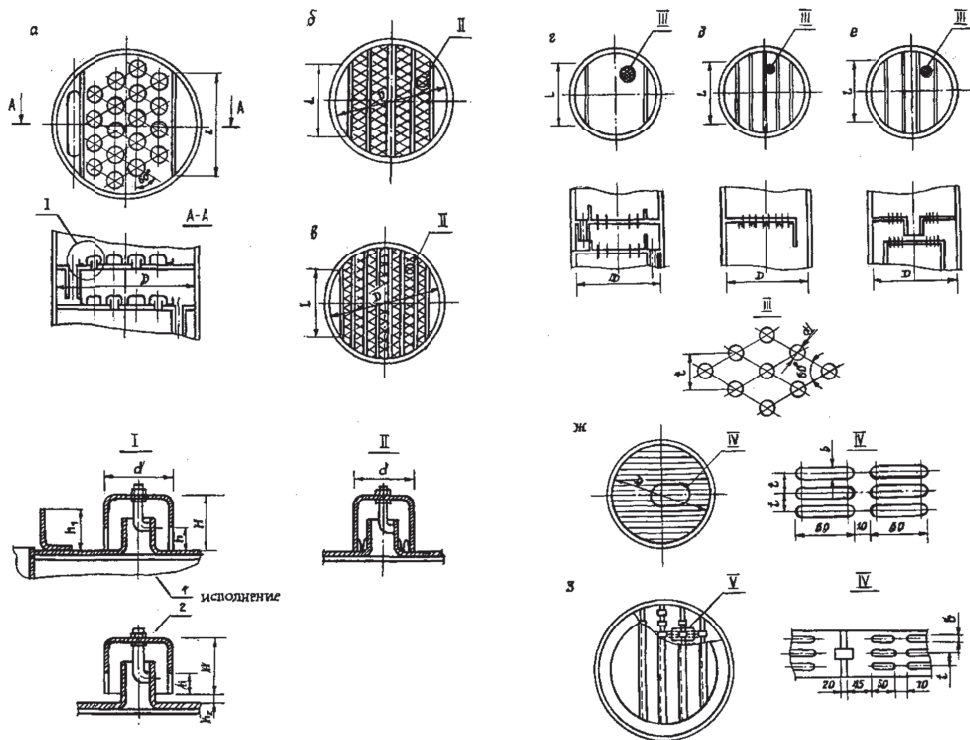


Рис. 7. Основные конструкции тарелок колонных аппаратов:
 а, б, в – колпачковая, г, д, е – ситчатая, ж, з – решетчатая (провальная)

Ситчатые и решетчатые тарелки могут работать с высокими нагрузками по жидкости и газу. Решетчатые тарелки обладают минимальным гидравлическим сопротивлением и минимальной металлоемкостью, удобны для монтажа, осмотра, чистки и ремонта, менее других конструкций подвержены воздействию агрессивных сред, могут работать со взвесями. Однако устойчивый режим барботажа газа через слой жидкости, находящейся на решетчатой тарелке, возможен только в узком диапазоне скоростей. Это не позволяет использовать их при переменных нагрузках, что важно при обработке газовых выбросов.

Ситчатые и колпачковые конструкции тарелок устойчиво работают в широком диапазоне нагрузок, но практически непригодны для очистки газов, содержащих дисперсные примеси. Они имеют худшие показатели по работе с агрессивными средами, брызгоуносу и ремонтпригодности. Колпачковые конструкции достаточно сложны в монтаже, но надежны в эксплуатации. Они имеют максимальное гидравлическое сопротивление и требуют повышенного количества абсорбента для создания достаточно высокого слоя поглотительной жидкости на каждой тарелке.

Рассмотрим конструкции тарелок для абсорберов. Основные типы *колпачковых тарелок* приведены на рис.8, а, б, в.

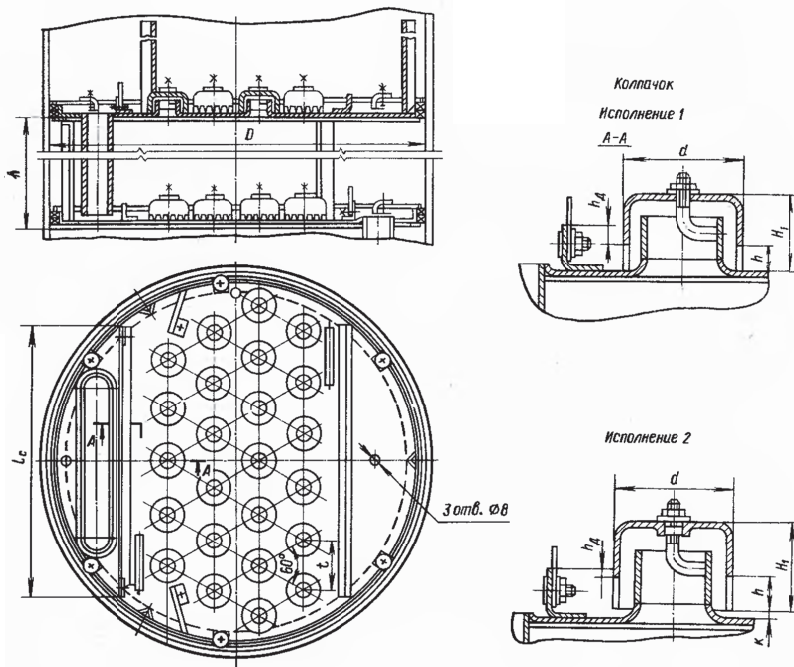


Рис. 8, а. Конструкция однопоточных цельных колпачковых тарелок типа ТСК-1

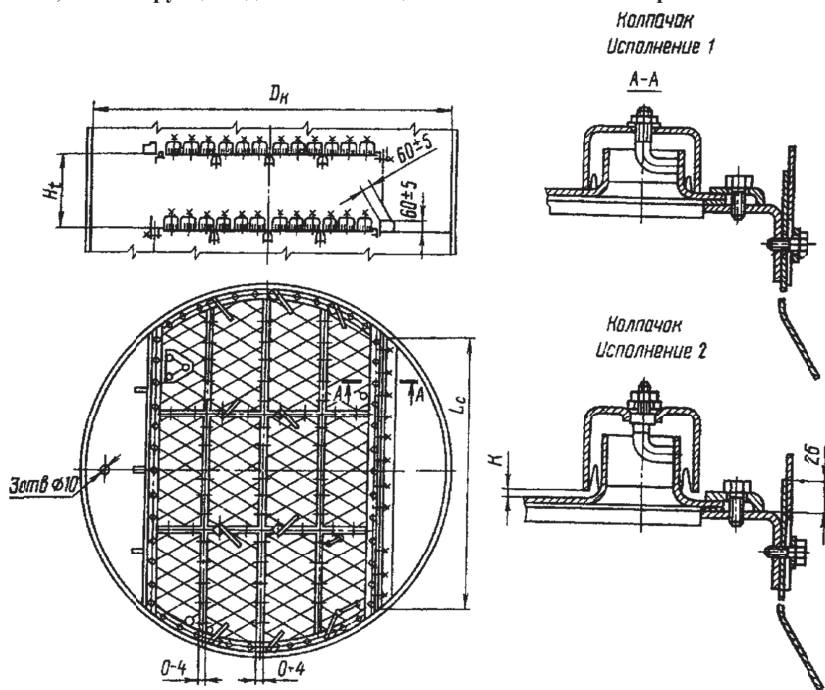


Рис. 8, б. Конструкция однопоточных разборных колпачковых тарелок типа ТСК-Р

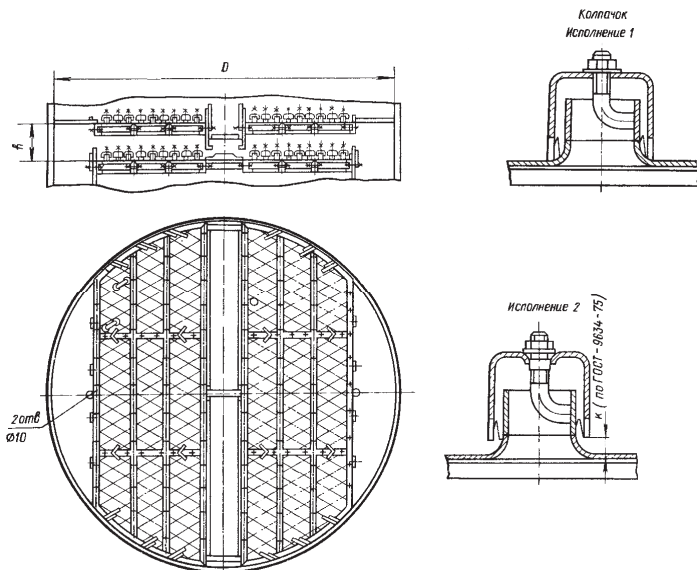


Рис. 8, в. Конструкция двухпоточных разборных колпачковых тарелок типа ТСК-РЦ и ТСК-РБ

На корпусе колпачковой тарелки в виде круга имеются сквозные отверстия для установки патрубка для газа. Над патрубком с коаксиальным зазором смонтирован колпачок. Нижние края колпачков снабжены зубцами или прорезями в виде узких вертикальных щелей. Для колонн диаметром 0,4...0,8 м тарелки выполняются неразборными (рис. 8, а), для колонн диаметром 1,0...4,0 м - разборными (рис. 8, б и 8, в).

Ситчатая тарелка — горизонтальная перегородка в форме круга, имеющая перфорированные круглые отверстия $d = (2...20)$ мм или щелевые отверстия шириной 4 мм. Устройство ситчатых тарелок представлено на рис.9, а, б, в.

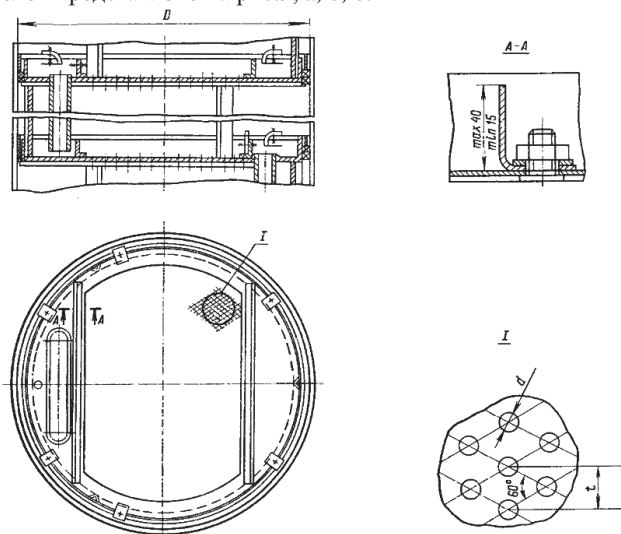


Рис. 9, а. Ситчатая тарелка типа ТС

Газ проходит через отверстия в тарелке, жидкость перетекает с тарелки на тарелку по переливным трубам или через переливной порог. Оптимальный размер отверстий $d = (5 \dots 12)$ мм. Отверстия располагают в вершинах равностороннего треугольника с шагом $t = (2,5 \dots 5)d$. Отверстия удалены от стенок аппарата на 50 мм, от сливного стакана на 100 мм. Свободное сечение тарелки составляет $\sim 2 \dots 15 \%$, высота слоя жидкости (без вспенивания) ~ 50 мм.

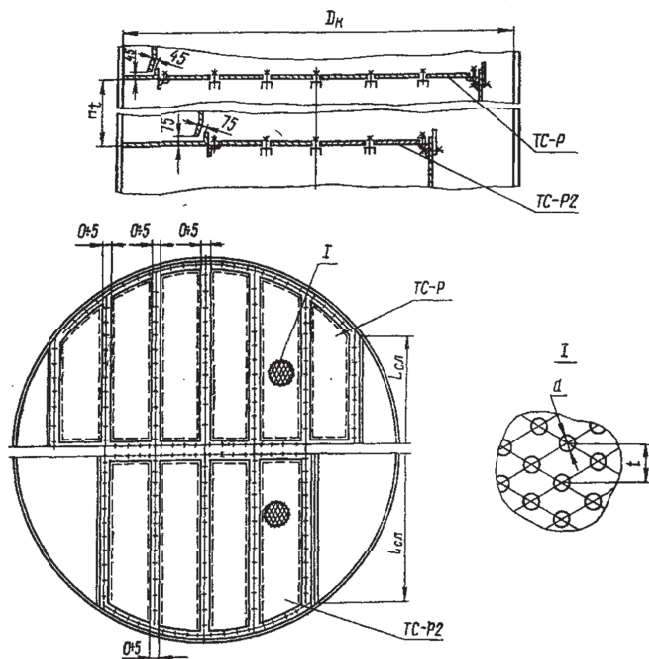


Рис. 9, б. Ситчатая тарелка типов ТС-Р и ТС-Р2

Эти тарелки относительно просты по устройству, однако обладают узким диапазоном измерения нагрузки по газу. При малых нагрузках жидкость будет протекать через отверстия, а при больших – уносить потоком газа на вышележащие тарелки. Кроме того, нормальная работа ситчатых тарелок возможна только при условии сохранения чистоты отверстий, поэтому применение таких тарелок допустимо лишь для разделения жидких смесей, не содержащих взвешенных твердых частиц и не образующих твердого осадка в течение процесса.

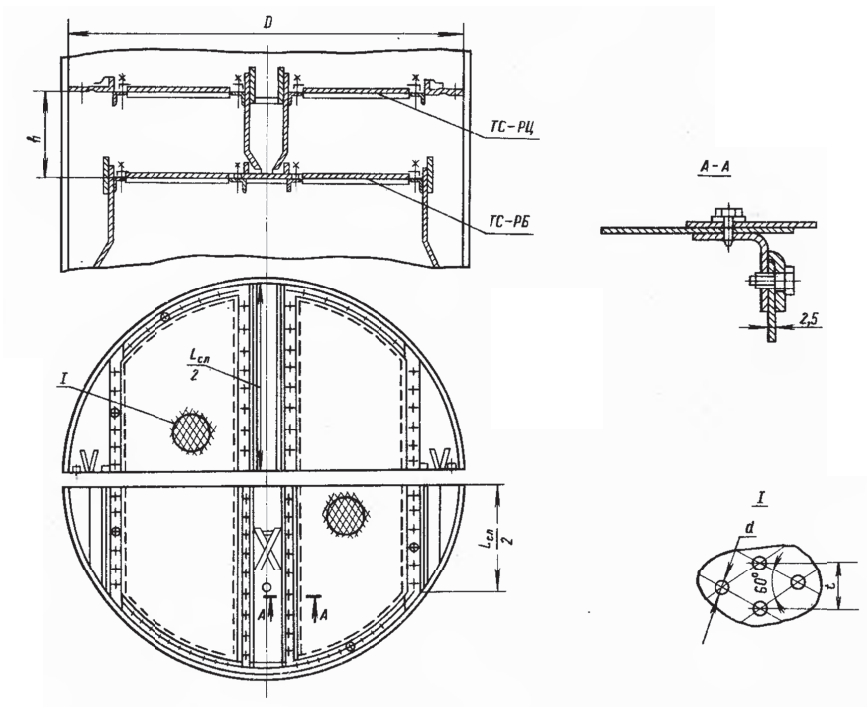


Рис. 9, в. Ситчатая тарелка типа ТС-РЦ/РБ

Повышение равномерности работы тарелки может быть достигнуто также за счет установления оптимальных высоты сливной перегородки и расстояния перемещения жидкости по тарелке. Поэтому лучшим способом обеспечения равномерной работы ситчатых тарелок является увеличение периметра сливного устройства и укорочение пути перемещения жидкости путем установки двух или нескольких переливов, т. н. многосливные тарелки или тарелки с двумя зонами контакта фаз (рис. 10). Увеличение периметра сливного устройства приводит к снижению сопротивления тарелки и позволяет уменьшить расстояние между тарелками.

Стандартизованные тарелки с двумя зонами контакта фаз для колонных аппаратов диаметром 1,0...4,0 м предназначены для проведения процессов абсорбции, дистилляции и ректификации при разрежении (остаточное давление свыше 20 кПа), атмосферном и избыточном давлении до 4 МПа с нагрузкой по жидкости до $120 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

Тарелки с двумя зонами контакта фаз бывают трех исполнений: с ситчатыми, ситчато-клапаннными и клапаннными секциями.

Расстояние между ситчатыми тарелками H_T в колонне 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 и 1,0 м. Основные параметры ситчатых тарелок приведены в таблицах приложения 14.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.	3
Введение	5
1. Абсорбция газовых примесей.	6
2. Способы выражения составов смесей.	8
3. Устройство и принцип действия абсорберов.	10
3.1. Насадочные колонны.	10
3.2. Тарельчатые колонны.	13
4. Расчет абсорберов.	35
4.1. Расчет насадочных абсорберов.	35
4.2. Расчет тарельчатых абсорберов.	60
5. Варианты заданий по абсорбции.	115
6. Адсорбционная очистка газов.	136
6.1. Устройство и принцип действия адсорберов.	139
6.2. Расчет адсорберов периодического действия.	151
6.3. Расчет адсорберов непрерывного действия.	161
7. Варианты заданий по адсорбции.	174
8. Содержание и объем курсового проекта.	190
8.1. Содержание и оформление расчетно-пояснительной записки.	190
8.2. Общие требования по оформлению графической части проекта.	193
8.3. Требования к выполнению технологической схемы.	195
8.4. Требования к выполнению чертежей общего вида аппарата.	198
8.5. Требования при защите курсового проекта.	201
Контрольные вопросы.	202
Приложения.	204
Список литературы.	241