



А.А. Ляпков

Оборудование производств органического синтеза



А.А. Ляпков

***Оборудование производств
органического синтеза***

Учебное пособие

Томск 2006

УДК [66.01:678.5].6

Ляпков, А.А.

Оборудование производств органического синтеза.
Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 95 с.

В учебном пособии рассмотрено основное оборудование заводов органического синтеза. Показаны конструктивные особенности реакционных устройств и вспомогательного оборудования.

Учебное пособие может служить практическим руководством для инженерно-технических работников предприятий органического синтеза.

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

© Ляпков А. А., 2006

© Томский политехнический университет, 2006

Оглавление

Оглавление.....	4
Введение	5
1. Емкостная аппаратура	6
2. Теплообменная аппаратура.....	12
2.1. Классификация и основные требования к теплообменным аппаратам.....	12
2.2. Теплообменные устройства реакционных аппаратов	24
3. Колонные аппараты	33
3.1. Классификация колонных аппаратов.....	34
3.2. Тарельчатые колонны.....	37
3.3. Насадочные колонны.....	43
3.4. Отбойные устройства	49
3.5. Узлы ввода сырья.....	51
3.6. Распределительные устройства для жидкости и пара.....	52
4. Реационные аппараты в химической промышленности	54
4.1. Классификация химических реакторов	54
4.2. Реакторы на основе типовой аппаратуры.....	55
4.3. Реакторы для контактно-каталитических процессов	60
4.4. Реакторы высокого давления.....	72
4.5. Реакторы для проведения высокотемпературных химических процессов	74
5. Машины для перемещения газов и жидкостей.....	77
6. Трубопроводные системы.....	81
6.1. Трубы и их фасонные части.....	81
6.2. Трубопроводная арматура.....	84
Заключение	92
Литература.....	93
1. Основная	93
2. Дополнительная	93

Введение

Оборудование органических производств условно разделяется на две основные группы:

- нестандартизованную аппаратуру, представляющую собой главным образом конструкции котельно-сварного типа;
- стандартизованное оборудование – компрессоры, насосы, центрифуги, машины для обработки пластмасс и т.д.

При подборе оборудования для оснащения нового цеха следует стремиться к максимальному использованию типового, стандартизованного, серийно выпускаемого оборудования. Большое разнообразие химических процессов, различные условия их протекания (от вакуума до высоких давлений), разная производительность проектируемых установок делают целесообразной разработку аппаратов, специально приспособленных для работы в конкретном производстве. К такому оборудованию в основном относятся емкостная аппаратура, некоторые виды теплообменников, колонные аппараты.

Рабочие чертежи этих аппаратов разрабатываются в конструкторских бюро машиностроительных заводов. Основанием для разработки служит технический проект аппарата, прилагаемый к заказу и состоящий из расчетов и чертежей общего вида и наиболее ответственных узлов. Основанием для разработки технического проекта служит задание соответствующего механико-технологического отдела.

Задание состоит из эскиза общего вида аппарата и его краткой технической характеристики. В процессе эскизной проработки конструкции аппарата механики совместно с технологами выполняют следующую работу:

- разрабатывают мероприятия, обеспечивающие заданный технологический режим;
- определяют материал аппарата и его отдельных узлов;
- выясняют возможность применения типовых узлов и цельных агрегатов;
- проверяют соответствие основных размеров аппарата, определенных в процессе технологического расчета, действующим ГОСТ и стандартам;
- разрабатывают детали и приспособления, облегчающие транспортировку аппарата, его монтаж, обслуживание в процессе эксплуатации (чистки, замена быстро изнашивающихся деталей) и демонтаж;
- разрабатывают мероприятия по безопасной эксплуатации проектируемого оборудования.

До начала эскизного конструирования механик-проектировщик должен получить полное представление о месте проектируемого аппарата в технологической схеме производства и его назначении, а так же разместить его в помещении цеха. Затем следует собрать все исходные данные, в число которых входят:

- рабочие параметры процесса (температура, давление);
- физические и химические свойства перерабатываемых веществ, особенно агрессивных при рабочих условиях;
- максимальные расходы через различные элементы и узлы аппарата;
- основные размеры аппарата, определенные в процессе технологического расчета оборудования, (например, диаметр колонны, высоту и длину аппарата и т.д.);
- характеристика помещения в соответствии с правилами электроустановок для оборудования с электроприводом;

- сведения о характере технологического процесса (непрерывный или периодический);
- способы эксплуатации аппарата;
- опыт эксплуатации аналогичных аппаратов;
- особенности строительных конструкций, на которые предполагается установить аппарат.

При разработке конструкции необходимо стремиться к ее максимальной технологичности, придавать аппаратам простые формы, удобные для изготовления и доступные для разработки. Не следует забывать, что переделать проект легче, чем потом оказаться перед выбором: переделывать аппаратуру или мириться с ее плохой работой.

Рассмотрим теперь особенности эскизного конструирования различных групп аппаратов, используемых в производстве органического синтеза.

1. Емкостная аппаратура

К емкостной аппаратуре относятся сборники (рис. 1) (вертикальные, горизонтальные, сферические) инерционные и центробежные сепараторы,



Рис. 1. Сборник горизонтальный

сферические и цилиндрические резервуары, разделительные сосуды, мерники, отделители высокого и низкого давления.

Требуемый объем емкостной аппаратуры определяют по формуле:

$$V = \frac{G \cdot \tau}{\rho \cdot \varphi},$$

где G – часовая производительность по продукту, для которого предназначена емкость (берется из материального баланса); τ – время, на которое рассчитывается расход жидкого продукта (берется по технологическим соображениям); ρ – плотность жидкости; φ – коэффициент заполнения емкости, обычно $\varphi = 0,6 \dots 0,8$.

Исходными данными для разработки эскиза сборника служат:

- расчетный объем;
 - рабочие давление и температура;
 - физические и химические свойства среды;
 - назначение сборника.
- Разработка эскиза сборника состоит из следующих этапов:
- определение формы аппарата;

- выбор конструкционного материала;
- определение штуцеров и устройств, необходимых для поддержания заданного режима;
- разработка вспомогательных устройств и деталей;
- оформление задания на разработку технического проекта емкости.

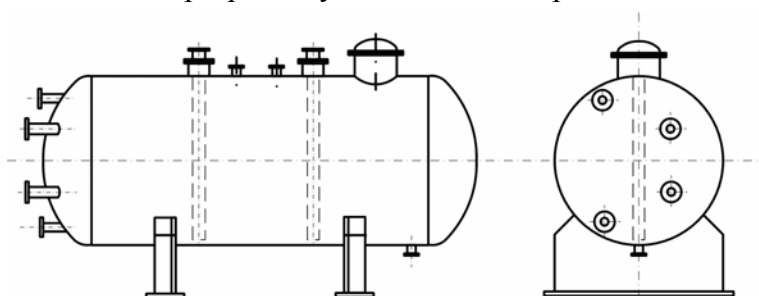


Рис. 2. Горизонтальный сборник с эллиптическими днищами

Большие сборники (объемом больше 25 м^3) работающие под давлением или вакуумом, обычно выполняются в виде горизонтальных цилиндрических аппаратов с приварными эллиптическими днищами (рис. 2, 3).

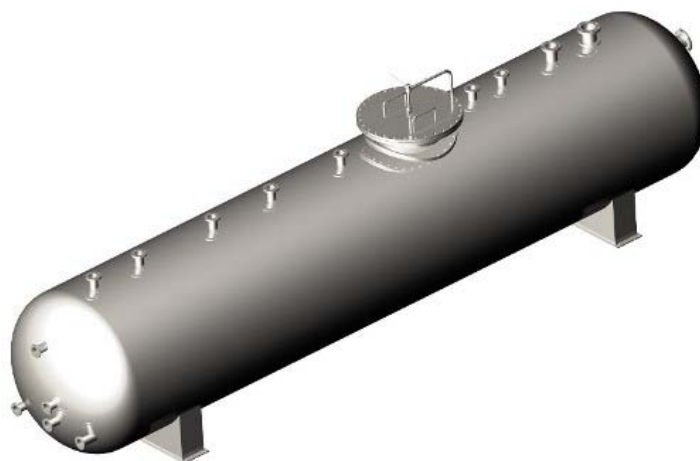


Рис. 3. Цилиндрический горизонтальный резервуар

С целью уменьшения теплопередающей поверхности при необходимости максимального объема сборник для сжиженных углеводородов часто

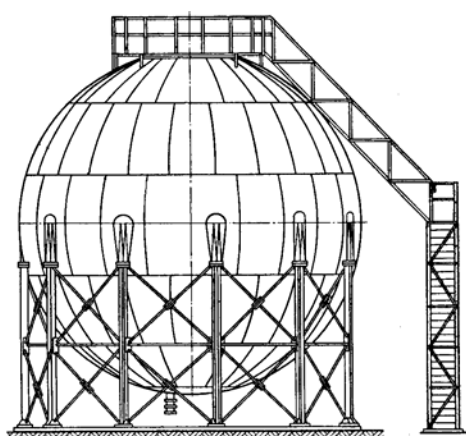


Рис. 4. Шаровый резервуар

проектируют в виде сфер емкостью до 400 м^3 (рис. 4).

Сборники емкостью до 50 м^3 , работающие под избыточным давлением, можно выполнять в виде горизонтальных и вертикальных аппаратов с приварными эллиптическими днищами. При этом следует иметь в виду, что горизонтальные аппараты проще обслуживать, а вертикальные аппараты занимают значительно меньше места на территории цеха.



Рис. 5. Вертикальный цилиндрический сборник

С целью экономии рабочего места сборники, работающие при атмосферном давлении, рекомендуется выполнять в виде вертикальных цилиндрических аппаратов с приварными плоскими днищами и плоскими сферическими или коническими крышками (рис. 5). Форма крышки зависит от диаметра аппарата и от материала, из которого он изготовлен. Стальные

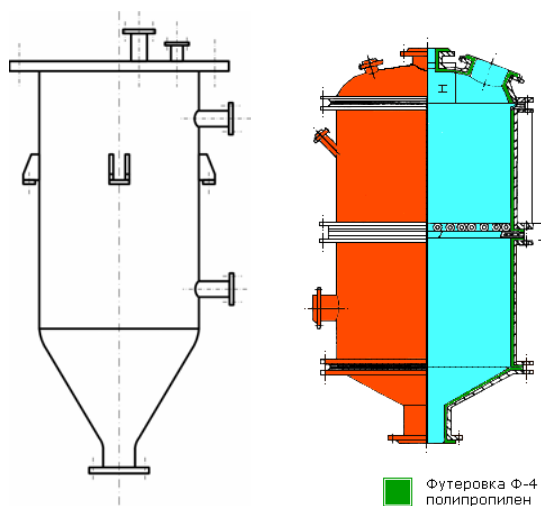


Рис. 6. Мерник с коническим днищем

аппараты диаметром до 1400 мм имеют плоские съемные крышки, а свыше 1400 мм – приварные.

Для мерников и отстойников обычно проектируют конические днища (рис. 6), облегчающие их опорожнение.

На технологической схеме, входящей в состав проектного задания, должны быть показаны все трубопроводы, связанные с рассматриваемым аппаратом, и приведены их условные проходы.

Количество штуцеров должно быть равно количеству трубопроводов, а их условные проходы должны быть не меньше условных проходов труб. Минимальный условный проход штуцера составляет 40 мм.

В общем случае на емкостной аппаратуре могут размещаться штуцеры для следующих назначений:

- входа и выхода продукта;
- входа и выхода теплоносителя и хладагента;
- установки воздушника;
- установки предохранительного клапана;
- опорожнения аппарата;
- установки манометра, термометра сопротивления (термопары, регулятора уровня);
- перелива избытка продукта;
- установки мерных стекол;
- отбора проб;
- установка погружных насосов или перемешивающего устройства;
- установки дыхательного клапана, смотрового стекла, а также лаза и вентиляционного люка.

Входные штуцеры обычно располагаются в верхней части аппарата. Они могут быть простые или с сифоном (см. рис. 7), т. е. с трубой, опущенной внутрь аппарата на максимально возможную глубину. Сифон предусматривается в тех случаях, когда в аппарат поступает жидкость – диэлектрик. Наличие сифона предотвращает разбрызгивание жидкости и уменьшает образование электростатического электричества. Конструкция штуцера и сифона должна обеспечивать его извлечение из аппарата.

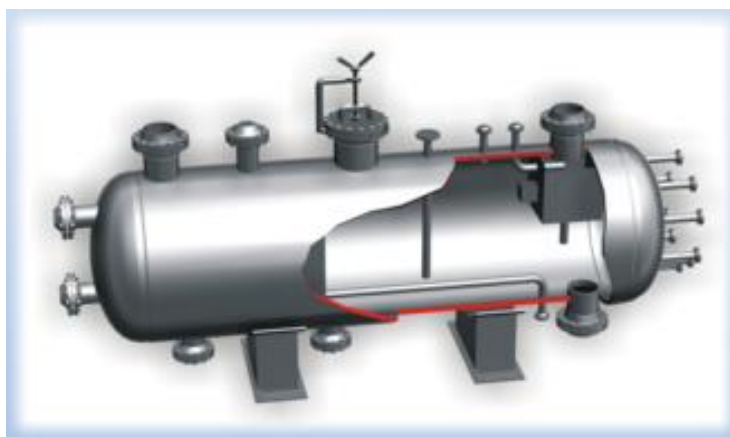


Рис. 7. Горизонтальная емкость снабженная сифоном

Штуцеры для входа воздуха или азота для перемешивания, а также для ввода острого пара снабжаются распределительными устройствами – барботерами (рис. 8). Диаметр отверстий в барботерах выбираются в пределах 3...10 мм, а их суммарное сечение должно быть в 2...3 раза меньше сечения подводящего трубопровода.

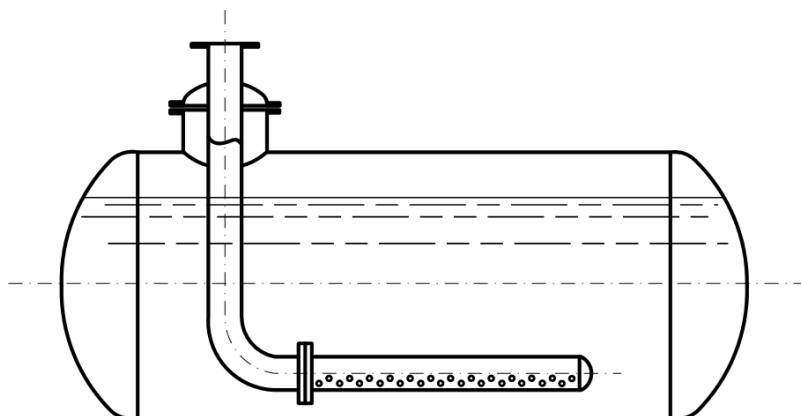


Рис. 8. Штуцер с распределительным устройством – барботером

Штуцеры сборников, предназначенные для выхода газообразного продукта, располагаются в верхней части аппарата. Штуцеры для выхода жидкого продукта могут располагаться как в нижней, так и в верхней его части.

Диаметр воздушника выбирается из условия обеспечения выпуска воздуха, вытесняемого из сборника жидкостью при ее максимально возможном поступлении. При этом скорость газа в воздушнике не должна превышать 15 м/с. Таким же образом определяется диаметр штуцера для дыхательного клапана.

Дренажные штуцеры, как правило, устанавливаются в днище вертикального аппарата (рис. 9 а) или на уровне нижней образующей обечайки горизонтального аппарата (рис. 9 б). При недостатке высоты для установки аппарата дренажный штуцер врезается сбоку и снабжается сифоном (рис. 9 в).

Расстановка штуцеров для присоединения датчиков системы контроля и автоматики, их конструкция и размеры определяются совместно проектировщиками техотдела и отдела контроля и автоматики (КиА).

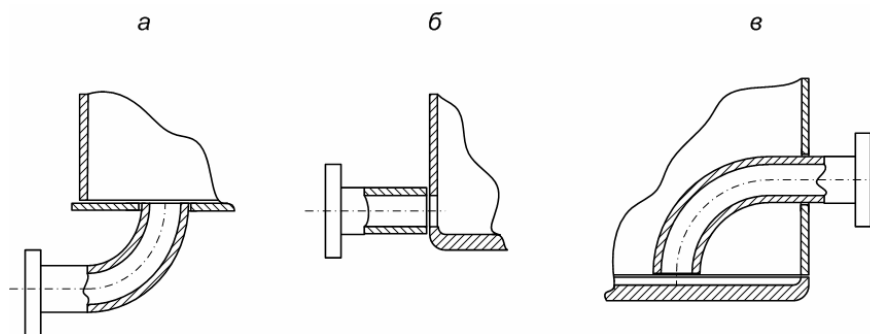


Рис. 9. Приварка сливных штуцеров

а – приварка патрубка к днищу аппарата; б – приварка патрубка вровень с днищем; в – изогнутый патрубок

Для замера и регулирования уровня чаще всего применяются регуляторы уровня камерные цилиндрические с поплавками (РУКЦ). Для их установки на обечайке вертикальных аппаратов или на одном из боковых днищ горизонтального аппарата предусматривается два штуцера $D_v = 40$ мм (один в газовой, другой – в жидкой части содержимого аппарата).

Все данные о штуцерах должны быть сведены в таблицу, рекомендуемая форма которой приведена ниже (табл. 1).

Для обслуживания арматуры, установленной над верхними штуцерами, предусматриваются металлические площадки. Их форма и способ крепления зависят от взаимного расположения аппаратов. Для уменьшения размеров обслуживающих площадок все верхние штуцеры больших размеров следует располагать в одном месте и как можно ближе друг к другу. На рис. 10 показано несколько типов обслуживающих площадок.

Таблица 1.

Таблица штуцеров (см. рис.3)

Условные обозначения	Назначение штуцера	D_y , мм
А	Вход продукта	50
Б	Выход продукта	50
В	Воздушник	40
Г	Для мерного стекла	40

Последним этапом эскизной разработки емкостной аппаратуры является расположение штуцеров в плане. В основном оно зависит от общего расположения аппарата, принятого при разработке технического проекта. Все штуцеры должны быть расположены так, чтобы обеспечить трубопроводную связь между аппаратами по кратчайшим путям и с минимальным числом поворотов. При эскизном конструировании в зависимости от сложности аппарата нужно предусмотреть от 2 до 5-и запасных штуцеров различных

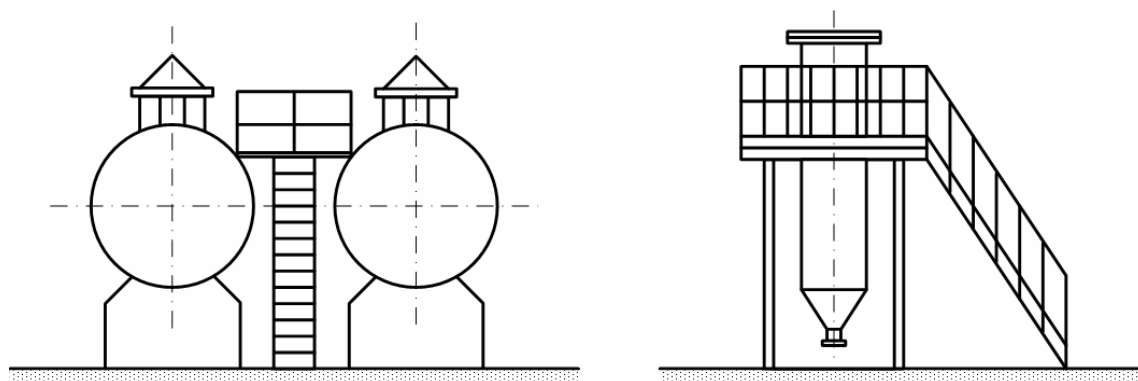


Рис. 8. Установка аппаратов с площадками для обслуживания

диаметров. Во время пусковой доводки производства почти всегда появляются новые трубопроводы, которые можно подключить к этим штуцерам.

Оформление задания на разработку технического проекта емкости производится следующим образом.

Вычерчивается эскиз аппарата (вид сбоку и план, рис. 11) и наносятся основные размеры: длина (высота) цилиндрической части аппарата, диаметр, расстояние между штуцерами, минимальное расстояние от низа лап до фланца самого нижнего штуцера, размеры монорельса с указанием его грузоподъемности, высотная привязка штуцеров для установки КИП, греющего элемента, перемешивающего органа мешалки, размеры площадок, укрепляемых на аппарате.

Составляются технические требования к аппарату в которых указывается номинальный объем аппарата по ГОСТ, давление в аппарате и греющем элементе, рабочая температура среды в аппарате и температура стенки греющего элемента, поверхность теплообмена греющего элемента и размер его основных деталей (если он нормализован, то нужно дать ссылку на нормаль), тип перемешивающего устройства и число оборотов мешалки, вязкость перемешиваемой среды и ее состав, коррозионные свойства рабочей среды, рекомендации к выбору конструкционного материала аппарата и отдельных его деталей, приводится таблица штуцеров.

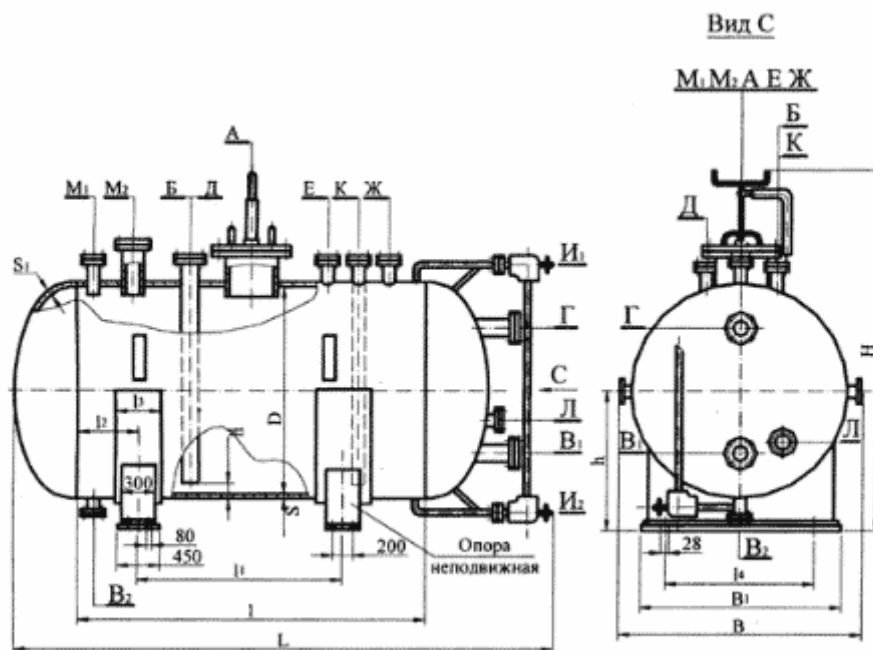


Рис. 11. Эскиз аппарата

Кроме того, задание должно содержать указания о необходимости изоляции аппарата, о предполагаемом месте его установки, специальные требования к проведению испытаний. Задание должно быть согласовано с отделом КиА.

2. Теплообменная аппаратура

Процессы теплообмена играют важную роль в современной технике. Они применяются всюду, где возникает необходимость нагрева или охлаждения среды для ее обработки и утилизации тепла. Особенно широко процессы теплообмена используют в химической, нефтеперерабатывающей, энергетической, металлургической и пищевой промышленности. В химической промышленности теплообменное оборудование составляет по весу и стоимости 15...18 % от всего оборудования, а в нефтеперерабатывающей – до 50 %

2.1. Классификация и основные требования к теплообменным аппаратам

Теплообменные аппараты классифицируют по различным признакам. По способу передачи тепла их можно разделить на две группы: поверхностные и

смещения. Теплообменники имеют конструктивные особенности в зависимости от назначения, от направления движения рабочих сред, от компоновки теплообменной поверхности, градиента температур теплоносителей, материала из которого изготовлен аппарат, от конфигурации теплообменной поверхности. Требования к промышленным теплообменным аппаратам в зависимости от конкретных условий применения весьма разнообразны. Основными требованиями являются: обеспечение наиболее высокого коэффициента теплопередачи при возможно меньшем гидравлическом сопротивлении; компактность и наименьший расход материала; надежность и герметичность в сочетании с разборностью и доступностью поверхности теплообмена для механической очистки ее от загрязнений; унификация узлов и деталей; технологичность механизированного изготовления широких рядов поверхностей теплообмена для различного диапазона рабочих температур, давлений и т. д.

При создании новых, более эффективных теплообменных аппаратов стремятся: уменьшить удельные затраты материалов, труда, средств и затрачиваемой при работе энергии по сравнению с теми же показателями существующих теплообменников. Удельными затратами для теплообменных аппаратов называются затраты, отнесенные к тепловой производительности в заданных условиях.

Интенсивностью процесса или удельной тепловой производительностью теплообменного аппарата называется количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при заданном тепловом режиме.

Интенсивность процесса теплообмена характеризуется коэффициентом теплопередачи K . На интенсивность и эффективность влияют также форма поверхности теплообмена; эквивалентный диаметр и компоновка каналов, обеспечивающие оптимальные скорости движения сред; средний температурный напор; наличие турбулизирующих элементов в каналах; оребрение и т.д. Кроме конструктивных методов интенсификации процесса теплообмена существуют



Рис. 12. Стандартный теплообменник

режимные методы, связанные с изменением гидродинамических параметров и режима течения жидкости у поверхности теплообмена. Режимные методы включают: подвод колебаний к поверхности теплообмена, создание пульсаций потоков, вдувание газа в поток либо отсос рабочей среды через пористую стенку, наложение электрических или магнитных полей на поток, предотвращение загрязнений поверхности теплообмена путем сильной турбулизации потока и т.д.

Как правило, проектировщики применяют стандартную теплообменную аппаратуру (рис. 10). Выбор теплообменников производят по величине поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t},$$

где Q – тепловая нагрузка (берется из данных теплового баланса); K - коэффициент теплопередачи, принимается по справочным данным или производственной технической документации; Δt – перепад температур, определяется на основе норм технологического режима.

При разработке аппарата вначале выбирают тип теплообменника, рассчитывают его наиболее характерные размеры, определяют основные и вспомогательные штуцеры и их размеры, разрабатывают вспомогательные устройства и приспособления и выбирают конструкционный материал. Далее переходят к составлению задания на разработку технического проекта теплообменника.

Наиболее распространенными являются *кожухотрубчатые теплообменники*. Поэтому в первую очередь следует выяснить, не может ли быть применен теплообменник такого типа. Остановив свой выбор на кожухотрубчатом теплообменнике (рис. 13), решают, в какое пространство (трубное или межтрубное) должен быть направлен тот или иной теплоноситель.

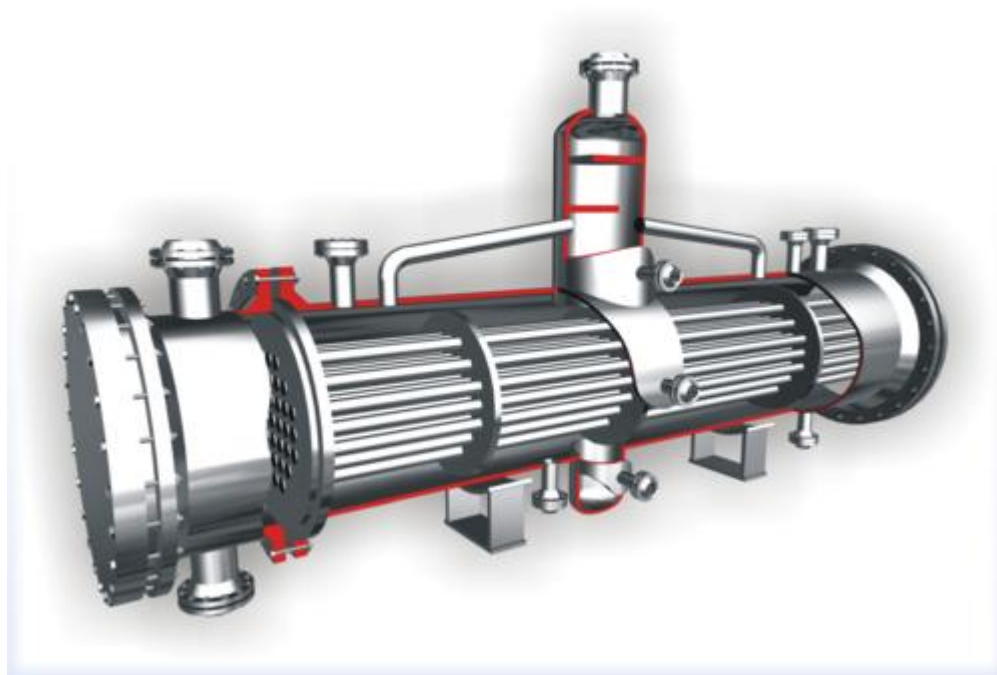


Рис. 13. Кожухотрубчатый теплообменник

В трубное пространство целесообразно подавать: теплоносители с меньшим часовым расходом; загрязненные теплоносители (высокие скорости, более легко достигаемые в трубах, будут препятствовать отставанию и выделению взвешенных частиц); теплоносители под более высоким давлением; коррозионно-агрессивные теплоносители; теплоносители с очень высокой или, напротив, очень низкой температурой, так как при этом уменьшаются потери тепла в окружающую среду.

В межтрубное пространство нужно подавать: конденсирующиеся пары или кипящие жидкости; теплоноситель с большим часовым расходом; теплоноситель с низким коэффициентом теплоотдачи, позволяющим применять оребренные трубы (к этой группе относятся теплоносители, характеризующиеся отсутствием загрязнений, нейтральные по отношению к материалу труб).

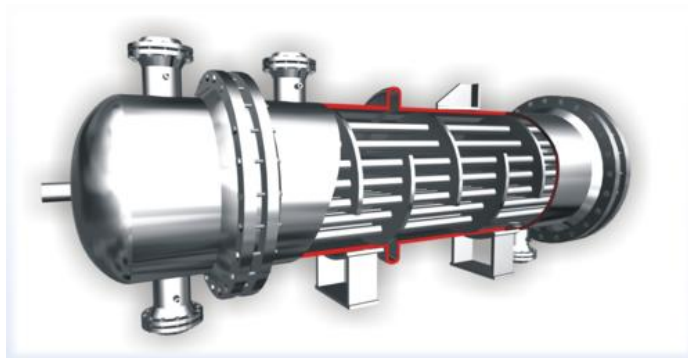
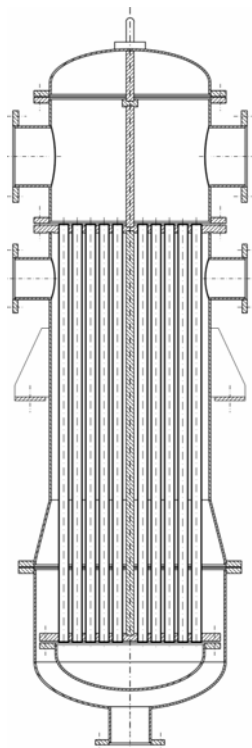


Рис. 14. Теплообменник с плавающей головкой

Затем определяют положение, в котором будет установлен теплообменник (вертикальное или горизонтальное). Это зависит от ряда факторов. Вертикальные аппараты занимают меньшую производственную площадь, отвод конденсата из трубного пространства конструктивно упрощается. Горизонтальные теплообменники легче обслуживать.

Зная температуру стенок теплообменника, можно решить вопрос о компенсации температурных деформаций. Если давление в межтрубном пространстве не превышает 1,6 МПа, то при $\Delta t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ для компенсации температурных деформаций предусматривают *линзовые компенсаторы*; при более высоком давлении разрабатываются *теплообменники с плавающей головкой* (рис. 14).

Теплообменники с плавающей головкой следует применять и в том случае, если существует опасность загрязнения трубного и межтрубного пространств. Для облегчения механической чистки межтрубного пространства трубы должны располагаться по вершинам квадрата. При вертикальном расположении теплообменника с плавающей головкой приходится выбирать ее положение. Обычно плавающая головка размещается в нижней части аппарата. Однако при таком расположении дренаж трубного пространства затруднен.

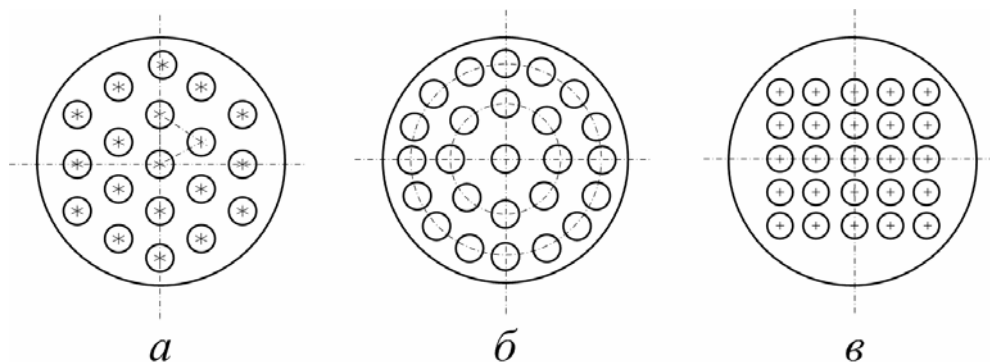


Рис. 15. Способы размещения труб в теплообменниках:

а – по периметрам правильных шестиугольников; *б* – по концентрическим окружностям; *в* – по периметрам прямоугольников (коридорное расположение)

Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, т. е. по вершинам равносторонних треугольников (рис. 15 *а*), реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям (рис. 15 *б*). В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников (рис. 15 *в*). Все указанные способы размещения труб преследуют одну цель обеспечить возможно более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников.

Трубы закрепляют в решетках чаще всего развальцовкой (рис. 16 *б, в*) причем

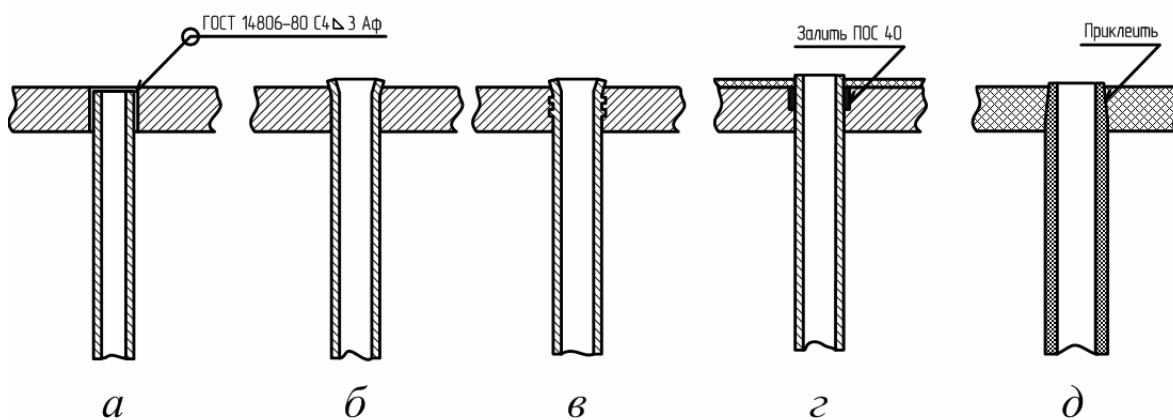


Рис. 16. Закрепление труб в трубных решетках:

а – сваркой; *б* – развальцовкой; *в* – развальцовкой с канавками; *г* – пайкой; *д* – склейкой

особенно прочное соединение (необходимое в случае работы аппарата при повышенных давлениях) достигается при устройстве в трубных решетках отверстий с кольцевыми канавками, которые заполняются металлом трубы в процессе ее развальцовки (рис. 16 *в*). Кроме того, используют закрепление труб сваркой (рис. 16 *а*), если материал трубы не поддается вытяжке и допустимо жесткое соединение труб с трубной решеткой, а также пайкой (рис. 16 *г*), применяемой для соединения главным образом медных и латунных труб. Изредка используют соединение труб с решеткой посредством склейки (рис. 16 *д*).

Кроме кожухотрубчатых теплообменников достаточно распространены другие типы теплообменников.

Оросительные теплообменники (рис. 17) применяются с целью экономии охлаждающей воды, имеют ряд недостатков, в числе которых большая металлоемкость, обмерзание в зимнее время, повышенная атмосферная коррозия. Применяются преимущественно в южных районах.

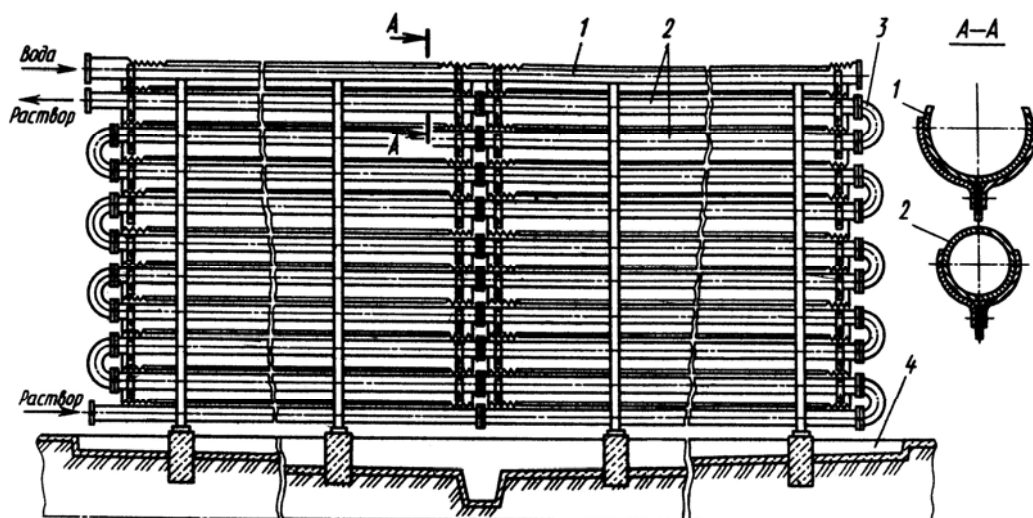


Рис. 17. Оросительный теплообменник

Погружные теплообменники малоэффективны с точки зрения теплопередачи и применяются в основном как подогреватели в сборниках и для подогрева сильно загрязненных или очень вязких веществ.

Если через трубное пространство предполагается пропускать чистое вещество, не дающее никаких отложений, то может быть выбран теплообменник с *U-образными трубками*.

К наиболее употребительным «интенсивным» теплообменникам, т.е. имеющим высокий коэффициент теплопередачи, относятся теплообменники типа «труба в трубе», *секционные* и *пластинчатые*.

Секционные теплообменники состоят из последовательно соединенных элементов – секций (рис. 18). Сочетание нескольких элементов с малым числом

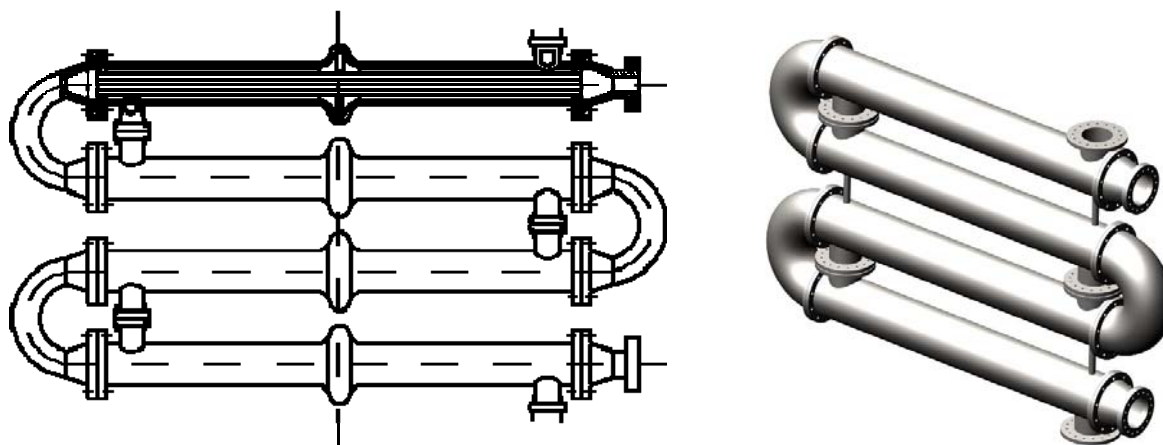


Рис. 18. Элементный теплообменник.

труб соответствует принципу многоходового кожухотрубчатого аппарата, работающего на наиболее выгодной схеме противоточной. Элементные

теплообменники эффективны в случае, изменения агрегатного состояния. Их также целесообразно применять при высоком давлении рабочих сред. Отсутствие перегородок снижает гидравлическое сопротивление и уменьшает степень загрязнения межтрубного пространства.

Теплообменники типа «труба в трубе» состоят из ряда последовательно соединенных звеньев (рис. 19). Каждое звено представляет собой две соосные трубы. Для удобства чистки и замены внутренние трубы обычно соединяют между собой «калачами» или коленами. Такие теплообменники часто применяют как жидкостные или газожидкостные. Подбором диаметров внутренней и наружной

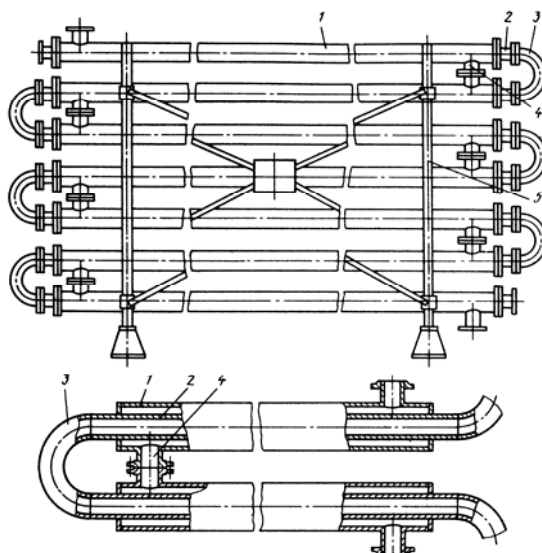


Рис. 19. Теплообменник типа «труба в трубе»:

1 – наружная (кожуховая) труба; 2 – внутренняя (теплообменная) труба; 3 – колено; 4 – штуцер;
5 – металлический каркас

труб можно обеспечить обеим рабочим средам, участвующим в теплообмене, необходимую скорость для достижения высокой интенсивности теплообмена.

Преимущества двухтрубного теплообменника заключаются в высоком коэффициенте теплоотдачи, пригодности для нагрева или охлаждения сред при высоком давлении, простота изготовления, монтажа и обслуживания.

К недостаткам двухтрубного теплообменника можно отнести громоздкость, высокую стоимость вследствие большого расхода металла на наружные трубы, не участвующие в теплообмене, сложность очистки кольцевого пространства.

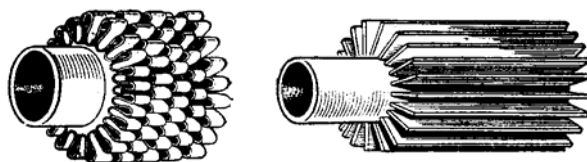


Рис. 20. Элементы теплообменных аппаратов с оребренными трубами:

а – многоребристая трубка; б – трубка с продольным оребрением

Применяется также большое количество аппаратов с поверхностью теплообмена, изготовленной из *ребренных труб* (рис. 20). Ребристые теплообменники применяют для увеличения теплообменной поверхности оребрение с той стороны, которая характеризуется наибольшими термическими сопротивлениями. Ребристые теплообменники (калориферы) используют, например, при нагревании паром воздуха или газов. Важным условием

эффективного использования ребер является их плотное соприкосновение с основной трубой (отсутствие воздушной прослойки), а также рациональное размещение ребер.

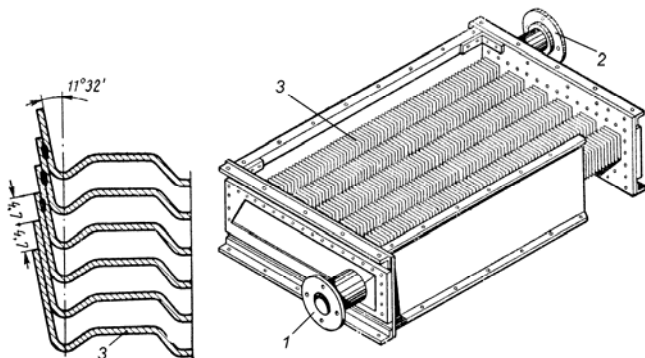


Рис. 21. Пластинчатый калорифер:
1 – коллектор для входа пара; 2 – оребренная труба; 3 – коллектор для приема конденсата

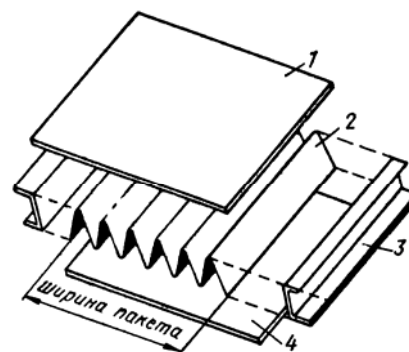


Рис. 22. Схема устройства пластинчато-ребристого теплообменника:
1, 4 – верхний и нижний листы;
2 – теплообменная поверхность;
3 – уплотняющий элемент

Трубы с поперечными ребрами различной формы широко используются, в частности, в аппаратах для нагрева воздуха – калориферах (рис. 21), а также в аппаратах воздушного охлаждения. При нагреве воздуха обычно применяют насыщенный водяной пар, поступающий в коллектор 1 и далее в пучок оребренных труб 2. Конденсат отводится из коллектора 3. Иногда используются продольные ребра, которые для турбулизации пограничного слоя (что особенно важно при ламинарном течении теплоносителя) на определенном расстоянии надрезаются.

Конструкции оребренных теплообменников разнообразны. Схема устройства современного пластинчато-ребристого теплообменника, работающего по принципу противотока, приведена на рис. 22. Теплообменники такого типа используются, например, в низкотемпературных установках для разделения воздуха.

В *спиральном* теплообменнике (рис. 23) поверхность теплообмена образуется

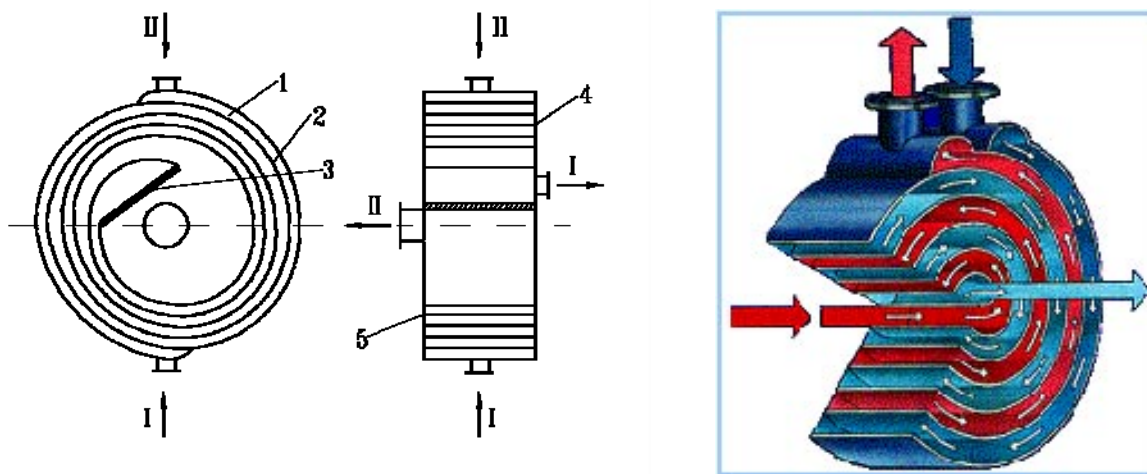


Рис. 23. Спиральный теплообменник:
1, 2 – листы, свернутые в спирали; 3 – перегородка; 4, 5 – крышки

двумя металлическими листами 1 и 2, свернутыми по спирали. Внутренние концы листов приварены к глухой перегородке 3, а их наружные концы сварены друг с

другом. С торцов спирали закрыты установленными на прокладках плоскими крышками 4 и 5. Таким образом, внутри аппарата образуются два изолированных один от другого спиральных канала (шириной 2...8 мм), по которым, обычно противотоком, движутся теплоносители. Как показано на рис.16, теплоноситель I поступает через нижний штуцер и удаляется через боковой штуцер в правой крышке теплообменника, а теплоноситель II входит в верхний штуцер и удаляется через боковой штуцер в левой крышке.

Имеются также конструкции спиральных теплообменников перекрестного тока, применяемые главным образом для нагрева и охлаждения газов и конденсации паров.

Спиральные теплообменники весьма компактны, работают при высоких скоростях теплоносителей (для жидкостей 1...2 м/с) и обладают при равных скоростях сред меньшим гидравлическим сопротивлением, чем трубчатые теплообменники различных типов. Вместе с тем эти аппараты сложны в

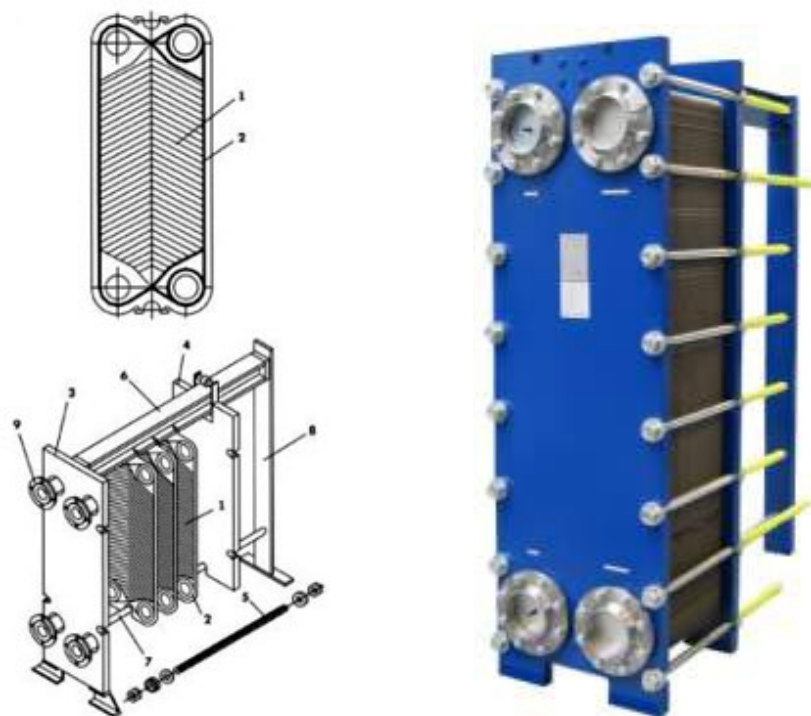


Рис. 24. Пластинчатый теплообменник.

изготовлении и работают при ограниченных избыточных давлениях, не превышающих $1 \cdot 10^6$ Па, так как намотка спиралей затрудняется с увеличением толщины листов; кроме того, возникают трудности при создании плотного соединения между спиралями и крышками.

В последнее время распространены *пластинчатые* разборные теплообменники, отличающиеся интенсивным теплообменом, просто той изготовления, компактностью, малыми гидравлическими сопротивлениями, удобством монтажа и очистки от загрязнений.

Это теплообменники состоят из отдельных пластин, разделенных резиновыми прокладками, двух концевых камер, рамы и стяжных болтов (рис. 24). Пластины штампуют из тонколистовой стали (толщина 0,7 мм). Для увеличения поверхности теплообмена и турбулизации потока теплоносителя проточную часть пластин

выполняют гофрированной или ребристой, причем гофры могут быть горизонтальными или расположены «в елку» (шаг гофр 11,5; 22,5; 30 мм; высота 4...7 мм).

К пластинам приклеивают резиновые прокладки круглой или специальной формы для герметизации конструкции; теплоноситель направляют либо вдоль пластины, либо через отверстие в следующий канал.

Движение теплоносителей в пластинчатых теплообменниках может осуществляться прямотоком, противотоком и по смешанной схеме. Поверхность теплообмена одного аппарата может изменяться от 1 до 160 м², число пластин – от 7 до 303. НИИХИММАШ рекомендует следующие стандартные размеры пластин: площадь поверхности в м² – 0,2; 0,3; 0,5; длина H в мм – 1000, 1250, 1400; ширина b в мм – 315, 380, 500.

В разборных пластинчатых теплообменниках температура теплоносителя ограничивается 150 °С (с учетом свойств резиновой прокладки), давление не должно превышать 0,1 МПа.

Отдельную группу составляют графитовые теплообменники. Высокая коррозионная стойкость и значительная теплопроводность делают графит незаменимым в некоторых производствах. Промышленностью выпускаются блочные, кожухотрубные, оросительные теплообменники и погружные теплообменные элементы (рис. 25).

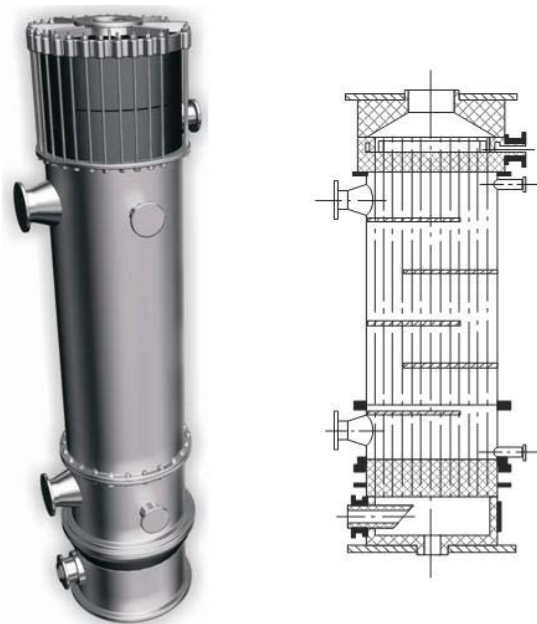


Рис. 26. Графитовый теплообменник

Для устранения пористости графит предварительно пропитывают фенолоформальдегидными смолами. Пропитанный графит является химически стойким материалом в весьма агрессивных средах (например, в горячей соляной, разбавленной серной, фосфорной кислотах и др.) и отличается высокими коэффициентами теплопроводности, равными 92...116 Вт/(м·К), или 70...90 ккал/(м·ч·К).

В последнее время в промышленности получают все более широкое применение *теплообменники воздушного охлаждения*. Это объясняется ограниченностью водных ресурсов и необходимостью уменьшения количества

сточных вод, загрязняющих водоемы и требующих для очистки сложных гидротехнических сооружений. Как показывают расчеты, использование воздушных холодильников конденсаторов взамен других известных аппаратов экономически оправдано.

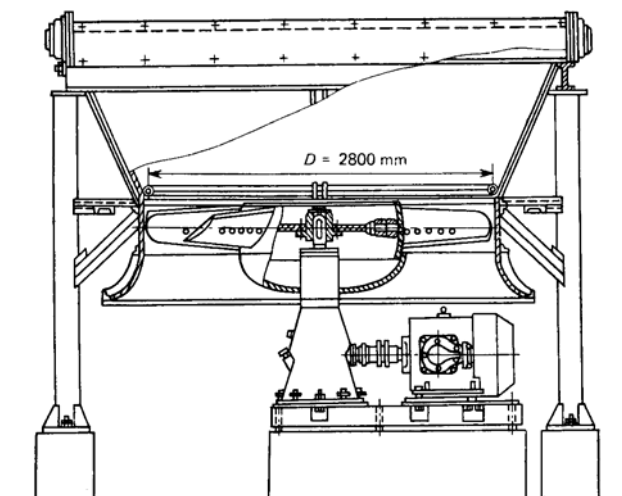


Рис. 26. Воздушный холодильник.

Основными элементами теплообменников воздушного охлаждения являются пучок оребренных труб и мощный осевой вентилятор, создающий интенсивный поток воздуха через трубный пучок (рис. 26). Кроме горизонтального расположения трубного пучка применяют вертикальные теплообменные секции, а также наклонные секции в холодильниках шатрового и зигзагообразного типа (рис. 27).

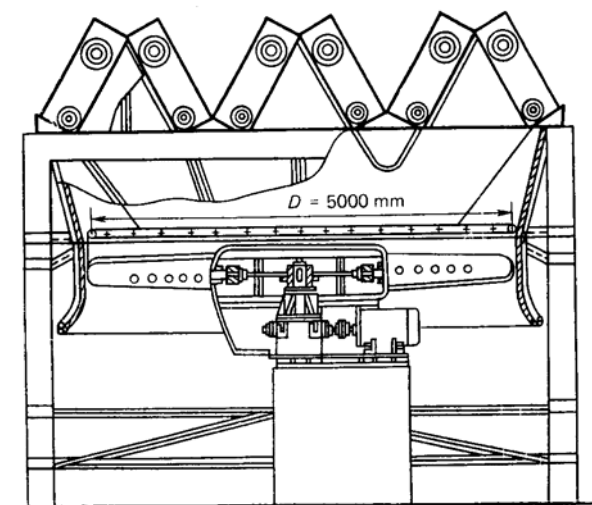


Рис. 27. Воздушный холодильник типа «зигзаг»

В теплообменниках смешения можно осуществить нагревание или охлаждение газов и жидкостей, а также процессы испарения и конденсации.

Основным условием их эффективной работы является высокая степень контакта между газом и теплоносителем, что достигается оформлением аппарата в виде колонны с насадкой, практически не отличающейся по конструкции от абсорбционных аппаратов.

Теплообменники смешения характеризуются высокими коэффициентами теплопередачи и большой производительностью, а также незначительным гидравлическим сопротивлением. Они особенно удобны для конденсации водяного

пара водой и поэтому часто применяются в производствах, где реакции проводятся в присутствии водяного пара как разбавителя.

Теплообменники смешения удобно применять и в тех случаях, когда в качестве хладагента используется охлажденный целевой продукт. Например, в производствах хлористого метила и метилена реакционный газ охлаждается в холодильнике смешения, орошаемом хлористым метиленом.

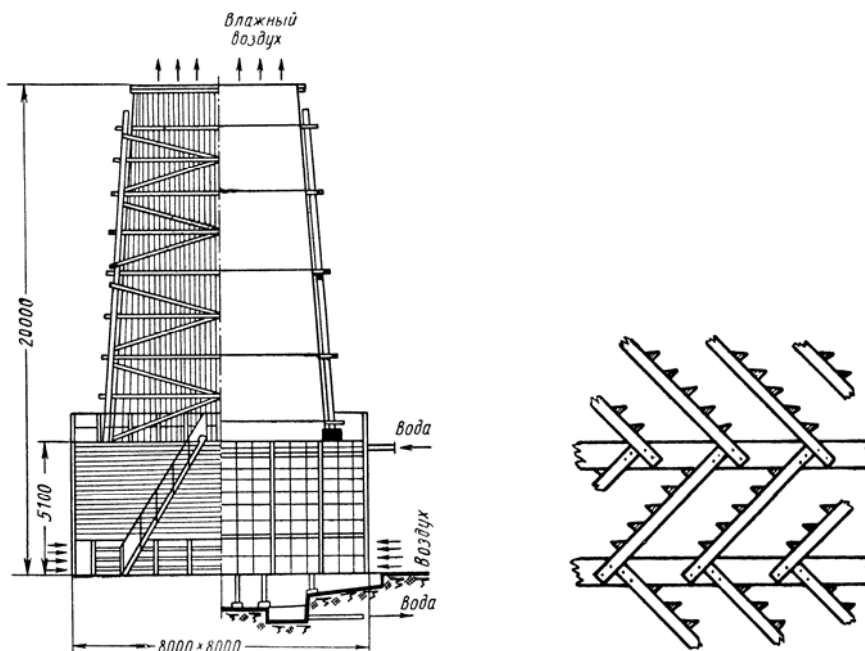


Рис. 28. Конструкция капельной градирни и расположение брусков в оросителе

Теплообменники смешения очень удобно применять при работе с агрессивными средами. Стенки аппарата могут быть футерованы коррозионностойким материалом, а насадка изготовлена из такого же материала, причем это не оказывает абсолютно никакого влияния на условия теплопередачи, так как последняя происходит в пленке жидкости на поверхности нас и стенок. Таким образом, теплообменники смешения во всех случаях могут быть изготовлены из дешевых материалов (рис. 28).

Возможность применения смесительных теплообменников ограничена тем, что далеко не всегда допустимо смешение реакционных газов с теплоносителями. Объясняется это двумя обстоятельствами:

- вредным влиянием теплоносителя на компоненты реакционной смеси;
- нежелательностью разбавления смеси парами или жидкими теплоносителями.

Например, при производстве этилового спирта прямой гидратацией этилена не следует использовать конденсаторы смешения, так как это вызовет разбавление спирта водой, что приведет к повышению расхода пара в процессе ректификации.

В качестве теплообменников смешения могут использоваться, помимо аппаратов с насадкой, также колонны с механическим распыливанием жидкости, однако это вряд ли целесообразно, так как усложнения конструкции не дает особых преимуществ. Весьма эффективными теплообменниками смешения оказались пенные аппараты.

Конструкции теплообменных аппаратов весьма разнообразны, однако существует общая методика теплотехнических расчетов, которую можно применять для частных расчетов в зависимости от имеющихся исходных данных.

Существуют два вида теплотехнических расчетов теплообменных аппаратов: конструкторский (проектный) и поверочный.

Конструкторский расчет производится при проектировании теплообменного аппарата, когда заданы расходы теплоносителей и их параметры. Цель конструкторского расчета определение поверхности теплообмена и конструктивных размеров выбранного аппарата.

Поверочный расчет выполняется для выявления возможности использования имеющихся или стандартных теплообменных аппаратов для тех технологических процессов, в которых используется данный аппарат. При поверочном расчете заданы размеры аппарата и условия его работы, а неизвестной величиной является производительность теплообменного аппарата (фактическая). Поверочный расчет производят для оценки работы аппарата при режимах, отличных от номинальных. Таким образом, целью поверочного расчета является выбор условий, обеспечивающих оптимальный режим работы аппарата.

Конструкторский расчет состоит из теплового (теплотехнического), гидравлического и механического расчетов.

Выбор размеров теплообменника производится с учетом нормализованных рядов размеров, сохранения или незначительного увеличения расчетной поверхности теплопередачи, сохранения или незначительного увеличения расчетных скоростей теплообмениваемых потоков и условий монтажа и ремонта.

Задание на разработку технического проекта теплообменника состоит из эскиза аппарата (план и вид сбоку) с размерами; схематического изображения приспособления для ремонта, чистки и других целей; таблицы штуцеров, которую заносятся те же данные, что и в задание на разработку проекта сборника. В задание также входит техническая характеристика, содержащая следующие сведения: расчетную поверхность теплообмена (в м^3), расчетную среднюю температуру стенок трубок и кожуха ($\text{в } ^\circ\text{C}$); рабочее давление в трубном и межтрубном пространствах аппарата; характеристику теплообмениваемых потоков в рабочих условиях (коррозионную агрессивность, загрязненность, способность полимеризоваться, вязкость).

2.2. Теплообменные устройства реакционных аппаратов

Для обогрева и охлаждения реакционных и других аппаратов разнообразных конструкций применяют различные устройства, в которых поверхность теплообмена образуется стенками самого аппарата.

Теплообменными поверхностями обычно являются:

- наружные поверхности аппаратов, снабженные рубашками;
- если наружные поверхности реакторов недостаточны, то при невысокой вязкости получаемых продуктов внутри аппаратов устанавливают дополнительные поверхности - змеевики и стаканы.

С точки зрения удобства обслуживания и очистки реактора и простоты его конструкции предпочтительнее наружные теплообменные элементы (рубашки и

приварные элементы – трубы). Однако их поверхность теплообмена ограничена наружной поверхностью аппарата. Кроме того, коэффициент теплоотдачи к наружным теплообменным элементам примерно в 2 раза ниже, чем к внутреннему змеевику.

Конструкция теплообменных рубашек для полимеризаторов зависит от параметров обогревающей или охлаждающей среды. При давлениях обогревающей или охлаждающей среды 0,8...0,9 МПа применяются гладкие рубашки, при давлениях до 2,7 МПа – змеевиковые рубашки, изготовленные из прокатных профилей: труб, уголков и т.п., а также рубашки с вмятинами и другие, например, каркасные.

Рассмотрим конструкции теплообменных устройств, применяемых для охлаждения или обогрева полимеризаторов.

Рубашки

Их, как правило, приваривают к корпусу реактора или делают съемными, когда приварка их невозможна (например, для аппаратов изготовленных из чугуна), а также, когда необходим постоянный контроль за поверхностью теплообмена. Различают гладкие рубашки змеевиковые с вмятинами.

Гладкие рубашки

Такая рубашка по своей конструкции повторяет по форме обогреваемый реактор (рис. 29).

Рубашки выполняются стальными из листовой стали и стандартных выпуклых днищ, т.е. также, как стальные котлы.

Обычно рубашку приваривают на 80...150 мм ниже соединения крышки с корпусом, но в некоторых случаях, когда коэффициент заполнения аппарата невелик, а обогрев (охлаждение) верхней части незаполненной его части нежелателен, рубашку делают небольшой по высоте.

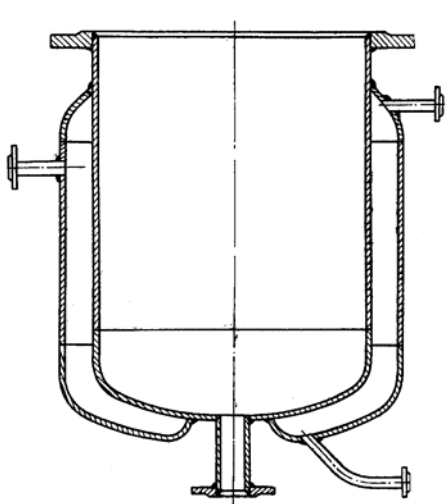
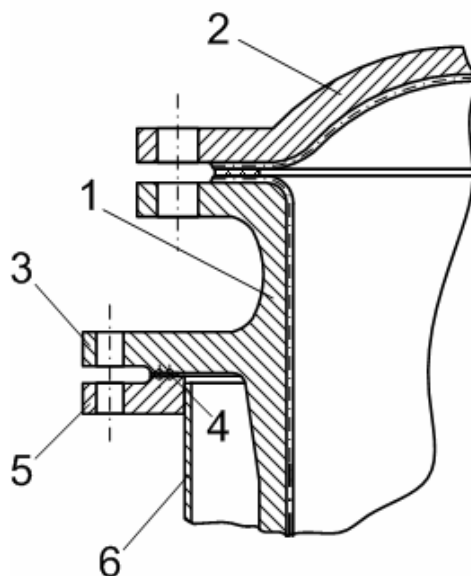


Рис. 29. Гладкая рубашка

В пространство между конусом реактора и рубашкой подается теплоноситель. Пар подают в нее через верхний штуцер, а конденсат отводят через нижний. Жидкие теплоагенты обычно вводят через нижний штуцер, а

выводят через верхний.

Диаметр рубашки обычно принимают на 50...100 мм больше диаметра реактора. Таким образом, зазор между корпусом аппарата и рубашкой колеблется в пределах от 25 до 100 мм. Зазор между стенками стараются сделать минимальными, чтобы увеличить скорость теплоагента. Большие зазоры характерны для парообразных теплоносителей.



Крепление гладких рубашек к корпусу реакторов может быть разъемным и неразъемным.

Разъемное крепление применяют для аппаратов, работающих в тяжелых условиях, когда необходимо периодически контролировать поверхность нагрева, очищать ее. Конструкция разъемного крепления рубашки к корпусу литого полимеризатора представлена на рис. 30.

Недостатком такой конструкции является наличие дополнительного фланцевого соединения, что ведет к дополнительному расходу материалов и увеличению веса реактора (рис. 31).

К котлу приваривается фланец 3, к которому на болтах крепится рубашка. Этот второй фланец 3 приваривается на 5...10 см ниже уровня жидкости в аппарате.

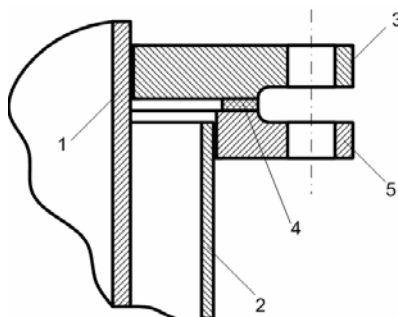


Рис. 31. Конструкция разъемного крепления рубашки к корпусу сварного аппарата:
1 – корпус аппарата; 2 – обечайка рубашки; 3 – фланец; 4 – прокладка; 5 – фланец рубашки

Следует заметить, что фланец для крепления рубашки на чугунных аппаратах отливается заодно с корпусом. Этот способ крепления позволяет легко

осуществить монтаж и демонтаж, рубашки.

Если требуется, чтобы рубашка полностью покрывала боковую поверхность реактора, то рубашку крепят прямо к фланцу аппарата.

Более простым и надежным является неразъемное соединение крышки реактора с обечайкой рубашки, что достигается сваркой. Приварку осуществляют с помощью отбортовки (рис. 32 а) или приварного кольца (рис. 32 б).

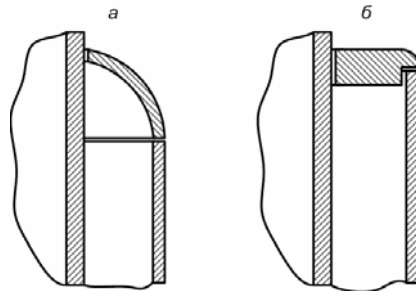


Рис. 32. Способы приварки рубашки к корпусу аппарата
а – с помощью отбортовки; б – с помощью приварного кольца

Крепление рубашек кольцу экономически выгодно в условиях мелкосерийного и индивидуального производства, так как не требует применения дорогостоящей оснастки. Недостатком этой конструкции является высокая концентрация напряжений в месте приварки кольца к корпусу и, рубашке, а также повышенный расход металла и увеличение веса реактора. Поэтому более удобны плавные закругленные переходы, называемые воротниками, которые являются компенсаторами термических удлинений (рис. 32 а). Кстати, этот компенсатор необходим и тогда, когда корпус изготовлен из стали Х18Н9Т, а рубашка из Ст.3.

Для изготовления воротников (отбортовки) требуется специальная оснастка, что экономически выгодно при серийном их производстве.

При больших давлениях в рубашке, особенно при отсутствии крепления рубашки к днищу аппарата, когда уравниваются силы давления, стремящиеся вытолкнуть корпус аппарата из рубашки, это соединение не применимо.

Наличие рубашки усложняет крепление нижнего спускного штуцера. При небольшой разнице линейных удлинений рубашки и корпуса возможна приварка штуцера одновременно к корпусу и рубашке, как показано на рис. 33 а.

Наиболее удобна конструкция, показанная на рис. 33 б, так как всегда можно проверить состояние шва приварки штуцера к корпусу. Для чугунных реакторов наиболее приемлема конструкция, показанная на рис. 33 в.

Для удаления инертных газов, создающих подушку, которая исключает часть теплообменной поверхности из процесса теплообмена, в верхней части рубашки предусматривается продувочный штуцер.

Гладкая рубашка изготавливается из углеродистой стали. Однако следует учитывать, что приварка углеродистой стали к корпусу из нержавеющей стали небольшой толщины (3...6 мм) может ухудшить антикоррозионные свойства металла корпуса. Поэтому, когда среда обладает значительной агрессивностью или требуется высокая чистота продукта, приварка рубашки из Ст.3 к корпусу

аппарата из Х18Н9Т, например, без промежуточной детали из нержавеющей стали (рис. 33 *г*) недопустима.

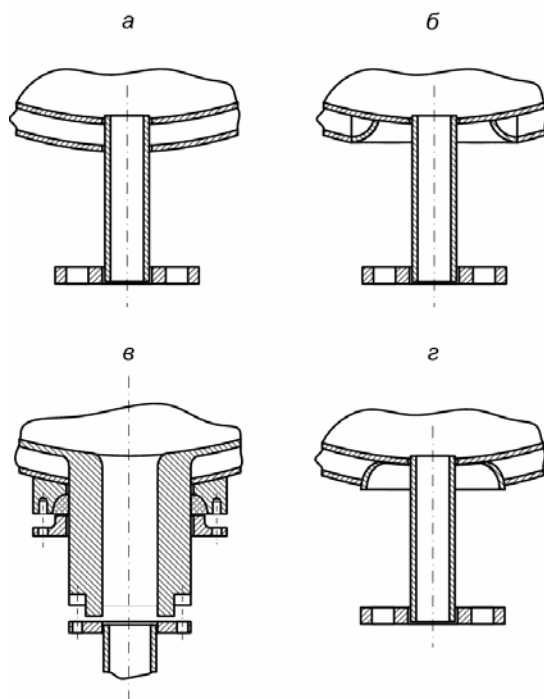


Рис. 33. Нижние спуски аппаратов с рубашками:
а – приварка нижнего штуцера к корпусу и рубашке аппарата; *б* – приварка нижнего штуцера к корпусу аппарата; *в* – сальниковое уплотнение нижнего штуцера чугунного аппарата; *г* – рубашка с линзовым компенсатором

Змеевиковая рубашка

В тех случаях, когда не требуется большой поверхности теплообмена или когда теплоноситель находится под большим давлением, применяют приварные теплообменные элементы в виде труб (рис. 34 *а*) или полутруб (рис. 34 *б*). Возможно также применение приварных элементов из проката – швеллеров (рис. 34 *в*) или уголков (рис. 34 *г*), но при низком давлении теплоагентов.

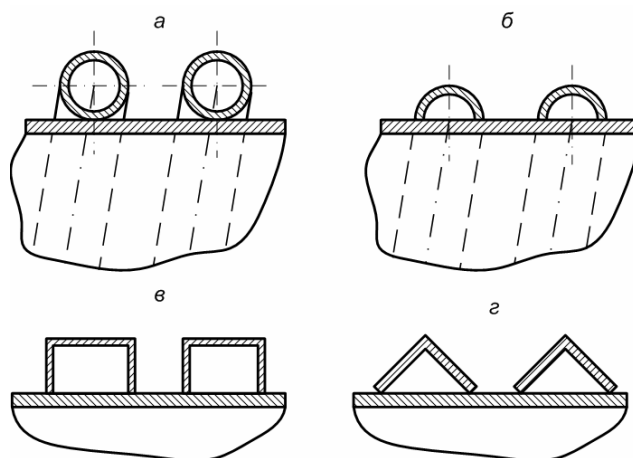


Рис. 34. Приварные теплообменные элементы:
а – трубы; *б* – полутрубы; *в* – швеллеры; *г* – уголки

Змеевиковая рубашка представляет собой спираль из прокатного профиля, приваренную к корпусу реактора. Приваривать виток к витку не следует, так как

это ведет лишь к перерасходу металла, усложняет изготовление аппарата, повышает гидравлическое сопротивление теплообменного устройства.

Участок внутренней поверхности корпуса между витками рубашки можно рассматривать как ребра, от шага змеевика зависит длина ребер. Реакторы с такой рубашкой легче, чем аппараты с гладкими рубашками, так как толщина корпуса и рубашки в первом случае меньше, чем во втором.

Приварные элементы располагаются на поверхности аппарата по разному – в виде спирали, навитой на цилиндрический корпус аппарата, или зигзагообразно по образующей цилиндра.

Минимальное расстояние между приварными элементами определяют из условий доступа к сварным швам.

На тактике обычно нет необходимости устанавливать теплообменные элементы очень близко друг к другу, так как благодаря хорошей теплопроводности металла участок стенки, прилегающей к приварному элементу, также участвует в теплообмене, причем чем больше толщина стенки, тем значительнее тепловой поток, расходящийся по стенке в стороны от приварного элемента.

Преимуществом змеевиковых рубашек по сравнению с гладкими является также более высокая скорость теплоносителя, что позволяет интенсифицировать теплообмен со стороны теплоносителя к стенке рубашки, когда коэффициент теплоотдачи либо одинаковы, либо отличаются незначительно.

Недостатком змеевиковой рубашки является большой объем сварочных работ. Кроме того, приварка такой рубашки из углеродистой стали к корпусу из нержавеющей стали толщиной меньше 5 мм, резко снижает антикоррозионные свойства металла корпуса полимеризатора.

Рубашки с вмятинами

При значительном диаметре аппарата и повышенном давлении в рубашке толщина стенки аппарата, нагруженного наружным давлением, получается значительной. Чтобы уменьшить толщину, стенки, применяют рубашки с вмятинами (рис. 35).

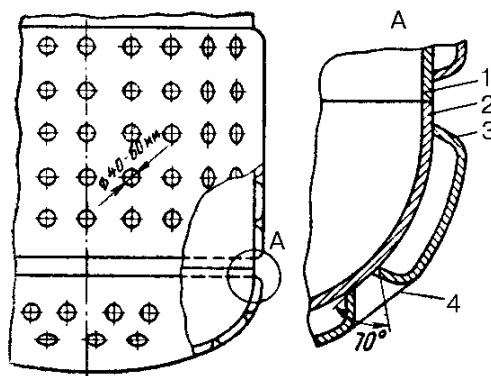


Рис. 35. Рубашка с вмятинами:

1 – обечайка; 2 – днище; 3 – рубашка; 4 – отбортованный край

Для этого на их поверхности делают круглые отверстия, края которых отгибают и приваривают к корпусу аппарата. Корпус реактора оказывается

жестко связанным с корпусом рубашки. Расстояние между корпусом рубашки и стенкой корпуса реактора должно быть не более 20...30 мм, чтобы облегчить отбортовку краев отверстий. Шаг между вмятинами выбирается в пределах 100...300 мм в зависимости от давления в рубашке.

Рубашку с вмятинами применяют при давлении теплоносителя 3...4 МПа.

При расчете аппарата на прочность стенку его можно рассматривать как состоящую из отдельных пластин, укрепленных анкерными связями. Это позволяет уменьшить толщину стенки полимеризатора и рубашки.

Интенсификация теплообмена в такой рубашке невелика по сравнению со змеевиковой рубашкой. Однако объем сварочных работ при изготовлении такой рубашки по сравнению со змеевиковой значительно меньше.

Если толщина стенки реактора, выполненная из нержавеющей стали меньше 5 мм, то после приварки рубашки с вмятинами могут ухудшаться антикоррозионные свойства металла стенки полимеризатора.

Недостатком такой конструкции рубашки является также большой объем работ по отбортовке отверстий, выполняемых вручную. Достоинство – возможность значительно снизить толщину стенки как корпуса реактора, так и рубашки.

Каркасная рубашка

Такая рубашка приваривается к кольцам жесткости, выполненных из уголков или полос (рис. 36).

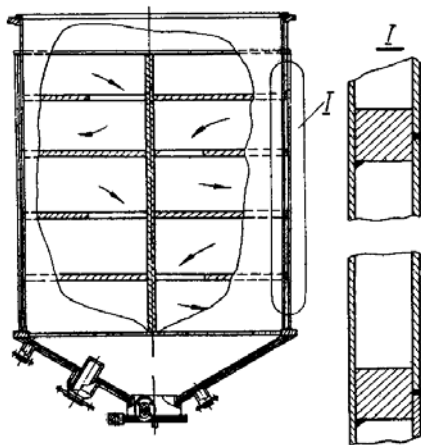


Рис. 36. Каркасная рубашка

Расстояние между кольцами жесткости выбирается таким образом, чтобы обечайка корпуса в пролете между ними работала в условиях простого сжатия. Это позволяет изготавливать корпус реактора минимальной толщины, как и в случае змеевиковой рубашки. При расстоянии между кольцами жесткости менее 300...400 мм можно применять более длинные обечайки рубашки.

В каркасных рубашках интенсифицируется теплообмен со стороны теплоносителей, но этот эффект ниже, чем в змеевиковых рубашках. Объем сварочных работ значительно меньше, чем при изготовлении змеевиковой рубашки.

Каркасные рубашки можно выполнять со спиральным током теплоносителя или перетоком теплоносителя из канала в канал (рис.36).

При продольном расположении ребер жесткости каркасные рубашки выполняются в виде отдельных цилиндрических пластин.

Змеевики и стаканы

Эти теплообменные устройства устанавливаются внутри полимеризаторов при недостаточной внешней поверхности теплообмена и невысокой вязкости реакционной массы (рис. 37).

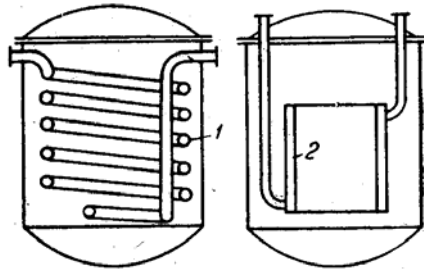


Рис. 37. Внутренние поверхности теплообмена реакторов:
1 – змеевик; 2 – внутренний стакан

Змеевики обычно изготовляют из стальных, алюминиевых или свинцовых труб. Витки змеевиков крепятся к специальным стойкам хомутами (рис. 38).

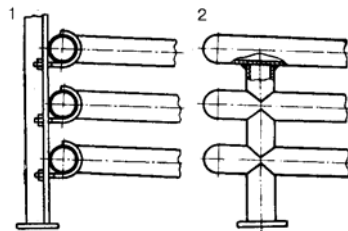


Рис. 38. Способы крепления змеевика в аппарате:
1 – крепление к стойке с помощью хомутов; 2 – соединение витков с помощью отрезков труб

Трубы змеевиков выводят через крышку или стенку и крепятся к штуцерам аппаратов (рис. 39).

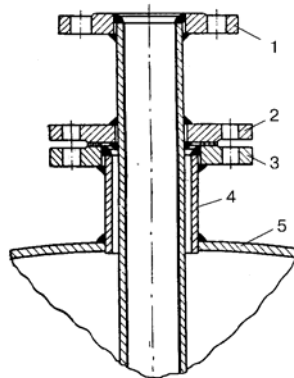


Рис. 39. Вывод змеевика через крышку аппарата:
1 – верхний фланец змеевика; 2 – нижний фланец змеевика; 3 – фланец штуцера; 4 – штуцер;
5 – крышка аппарата

При этом труба змеевика с помощью фланца 2 крепится болтами к фланцу 3 штуцера 4. Верхний фланец 1 служит для соединения змеевика с фланцем трубопровода, подводящего или отводящего теплоноситель или хладагент.

Длинные змеевики применять невыгодно, так как в нижних витках при паровом обогреве может скапливаться конденсат, в результате чего значительная часть поверхности змеевика не участвует в процессе теплообмена.

Из длинных змеевиков также затруднительно удалять инертные газы. Обычно змеевики делят на несколько секций, включаемых параллельно, но это усложняет их конструкцию.

Стаканы изготавливаются из листовой стали и могут применяться при более высокой вязкости, чем змеевики. Однако удельная поверхность теплообмена стакана ниже, чем змеевика.

Методы обогрева полимеризаторов

Обогрев реакторов жидкими и парообразными теплоносителями может быть местным, циркуляционным и смешанным.

При *местном обогреве* источник тепла находится непосредственно в рубашке. Обычно он представляет собой пакет электрообогревательных элементов. При этом методе обогрева можно применять лишь гладкие рубашки. При *циркуляционном обогреве* теплоноситель подогревается в котле и циркуляционным насосом подается в рубашку, откуда обратно поступает в котел. Недостаток – наличие циркуляционной системы и трубопроводов, что обуславливает повышенное потребление тепла в окружающую среду. Обогрев полимеризаторов электрическим током можно разделить как на обогрев при помощи электропатронов, в которых разогреваются спирали за счет сопротивления последних, так и индукционный обогрев.

Индукционный обогрев применяется для больших аппаратов. Снаружи или внутри аппарата устанавливается индуктор, который генерирует индукционные токи в стенке аппарата, вследствие чего стенка аппарата равномерно разогревается.

Способ обогрева и охлаждения аппарата зависит в первую очередь от температуры процесса, а также от свойств выбранных теплоносителей или хладагентов. Наиболее распространенными теплоносителями являются водяной пар, электрический ток, топочные газы и другие.

Водяной пар. Преимуществами его являются легкость и точность регулирования температуры, компактность установок, высокий коэффициент теплоотдачи и высокий коэффициент полезного действия. Недостатки - невозможность достижения высоких температур порядка 200...250°C и необходимость применения греющих элементов, рассчитанных на давление.

Электрообогрев является наиболее удобным способом нагревания. Он дает возможность достигать высоких температур, легко и точно регулировать. Установки с использованием электрообогрева работают с к.п.д. до 95%.

Топочные газы применяют в качестве высокотемпературных теплоносителей. Практически температура, достигаемая при использовании топочных газов, составляет 700...1000 °C. Их получают сжиганием в печах

природного или генераторного газа. Нагревание топочными газами отличается существенными недостатками: трудность точного регулирования температуры, низкий к.п.д. и низкий коэффициент теплоотдачи, громоздкость обогреваемых установок.

Дифенильная смесь, представляющая собой 26,5 % дифенила и 73,5 % дифенилового эфира, используется в тех случаях, когда требуется нагрев до 250...380 °С. Достоинствами этого теплоносителя являются простота и точность регулирования температуры, возможность передачи на большие расстояния.

Перегретая вода. Этот теплоноситель применяют для нагревания до температур порядка 350 °С. В этих условиях вода находится в состоянии, близком к критическому (температура 375 °С и давление 22,5 МПа).

В качестве хладагентов используют воду и холодные рассолы. Охлажденная вода имеет температуру 10...20 °С, что дает возможность охлаждения до 15...25 °С.

Применение холодных рассолов позволяет производить охлаждение до более низких температур, порядка -10 °С.

Для отвода тепла при высоких температурах (150...500 °С) используют воздух или расплавы солей, например, нитрит–нитратную смесь, состоящую из 7 % NaNO_3 , 40 % NaNO_2 и 53 % KNO_3 .

Требования к теплоносителям:

- достижение высоких температур при низких давлениях;
- большая химическая стойкость;
- отсутствие коррозионного воздействия;
- высокий коэффициент теплоотдачи;
- большая теплота испарения;
- низкая температура плавления;
- взрыво- и огнебезопасность;
- отсутствие токсичных свойств;
- дешевизна и доступность.

3. Колонные аппараты

Колонные аппараты применяют для процессов ректификации, абсорбции, мокрой очистки газов для некоторых химических процессов, т.е. для процессов взаимодействия между жидкой и газовой фазой. Обеспечение хорошего контакта между жидкостью и газом (паром) достигается за счет применения устройств, заставляющих газ многократно барботировать через жидкость; применения насадки, по которой стекает жидкость, смываемая газом; распыления жидкости в потоке газа, а также за счет использования центробежной силы. В соответствии со способом обеспечения контакта между жидкостью и газом различают барботажные (тарельчатые), насадочные, распылительные колонны аппараты механического типа.

Жидкость и газ, как правило, движутся противотоком, хотя имеются аппараты, в которых осуществляется прямоточное движение. Выбор типа колонного аппарата определяется условиями процесса, расходами жидкости и газа, давлением, температурой, коррозионными свойствами продуктов, наличием загрязнений и т.д. Обычно для процессов ректификации применяют тарельчатые

колонны, а для абсорбции – насадочные. Основные элементы тарельчатых и насадочных колонн нормализованы (рис. 40). Нестандартные колонные аппараты



Рис. 40. Стандартный колонный аппарат

используют сравнительно редко.

Высоту и диаметр колонных аппаратов определяют на основании технологических, тепловых и гидродинамических расчетов. Обычно они представляют собой вертикальные устройства большой высоты и сравнительно малого диаметра. Колонны имеют круглую форму. Ректификационные и абсорбционные установки, как правило, представляют собой сложные агрегаты, в которых колонна связана с рядом вспомогательных аппаратов: кубами, кипятильниками, различными теплообменниками, сепараторами и т. д.

Колонны больших размеров обычно устанавливают под открытым небом. Трубопроводы, обслуживающие площадки и вспомогательное оборудование, крепятся, как правило, к корпусу колонны. На верхнюю площадку крепят кран – укосину для монтажных и ремонтных работ.

На колоннах монтируют много контрольно-измерительных приборов для измерения давления, температуры, состава смеси и т. д. На линиях ввода и вывода жидкости на колонны обязательно устанавливают гидравлические затворы, препятствующие прохождению газа через жидкостные патрубки. Затворы выполняют в виде U-образных участков трубопроводов или поперечных перегородок перед штуцерами. Колонны работают обычно при атмосферном давлении, вакуумные и под повышенным давлением менее распространены.

Температурные пределы применения колонных аппаратов довольно велики: от $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ в установках глубокого холода, до $350\text{...}400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.1. Классификация колонных аппаратов

Определяющей характеристикой массообменной аппаратуры является состояние межфазной поверхности. В соответствии с этим в основу классификации аппаратуры, предназначенной для проведения процессов массопередачи, положен принцип образования межфазной поверхности. Диффузионные аппараты классифицируются на группы: 1) аппараты с фиксированной поверхностью фазового контакта; 2) аппараты с поверхностью контакта, образуемой в процессе движения потоков, 3) аппараты с внешним подводом энергии.

В соответствии с приведенной классификацией наиболее типичные широко применяемые в промышленности аппараты распределяются по группам, указанным в табл.2.

Таблица 2.

Классификация колонных аппаратов

I Аппараты с фиксированной поверхностью		II Аппараты с поверхностью, образуемой в процессе движения фаз		III Аппараты с внешним подводом энергии	
№ п/п	Наименование аппарата	№ п/п	Наименование аппарата	№ п/п	Наименование аппарата
1	Пленочные колонны с орошаемыми стенками	1	Тарельчатые колпачковые колонны	1	Аппараты с механическими мешалками
2	Колонны с плоско-параллельной насадкой	2	Тарельчатые ситчатые колонны	2	Пульсационные колонны
3	Полочные колонны	3	Тарельчатые колонны с однонаправленным движением пара и жидкости	3	Вибрационные колонны
4	Распылительные колонны	4	Тарельчатые, решетчатые и ситчатые колонны без переточных патрубков (колонны с провальными тарелками)	4	Центробежные аппараты
		5	Насадочные колонны		
		6	Инжекторные (струйные) аппараты		

Конструкции массообменных аппаратов предъявляются следующие основные требования: дешевизна, простота в обслуживании, высокая производительность, максимально развитая поверхность контакта между фазами и эффективность передачи массы вещества из одной фазы в другую, устойчивость режима в широком диапазоне нагрузок, максимальная пропускная способность по паровой (газовой) и жидкой фазе, минимальное гидравлическое сопротивление, прочность конструкции и долговечность.

Колонная аппаратура предназначена для разделения смесей соединений органической природы (рис. 41). Как правило, для вновь проектируемого производства они изготавливаются по индивидуальному проекту. Целью расчета ректификационных колонн является определение параметров технологического режима и размеров аппарата. К параметрам режима относятся: рабочее давление в аппарате; температуры входа и выхода различных материальных потоков; расход теплоты на испарение остатка и расход холода на конденсацию дистиллята.

Основными параметрами, определяющими заданное разделение в процессе ректификации, являются флегмовое число (кратность орошения) и число ректификационных тарелок. Для бинарных смесей:

$$R_{\min} = \frac{y_D - y_F}{y_F - x_F}$$

где y_D , y_F , x_F – мольные концентрации низкокипящего компонента в дистилляте, паровой фазе сырья жидкой фазе сырья, соответственно.

Оптимальное флегмовое число находится из выражения:

$$R_{\text{опт}} = R_{\text{мин}} \cdot K,$$

где $K = 1,15 \dots 1,55$ – для колонн, работающих при атмосферном и повышенном давлении и $K = 1,3 \dots 2,6$ – для вакуумных колонн.

$$\frac{R_{\text{опт}} - R_{\text{мин}}}{R_{\text{опт}} + 1} = 0,1 \dots 0,33.$$

Следующий этап расчета – определение числа теоретических и действительных тарелок. При ректификации бинарных смесей число

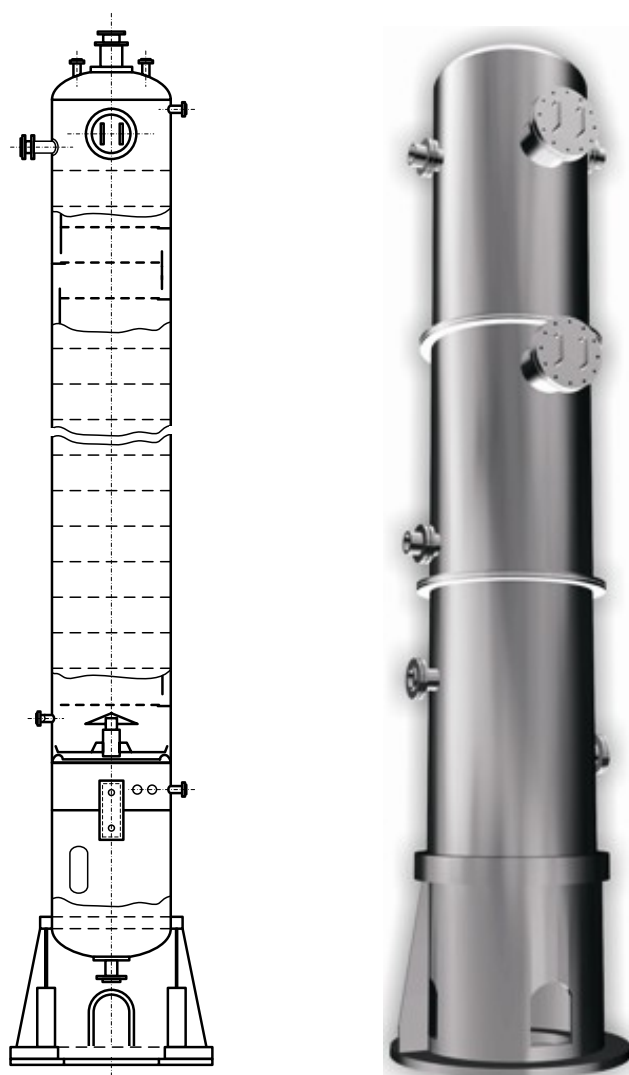


Рис. 41. Ректификационная колонна с ситчатыми тарелками

теоретических тарелок находят, решая совместно уравнения равновесия фаз, материального и теплового балансов и используя графический метод расчета. Для ориентированного определения диаметра колонн D_K (в м) используют выражение:

$$D_K = \sqrt{\frac{\pi \cdot V}{4 \cdot w}}$$

где V – объемный расход паров в расчетном сечении колонн, $\text{м}^3/\text{с}$; w – допустимая скорость паров в колонне, $\text{м}/\text{с}$.

Величину w рассчитывают по формуле:

$$w = C_{\text{макс}} \cdot \sqrt{h \cdot \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}}$$

где $\rho_{\text{ж}}$, $\rho_{\text{п}}$ – плотность жидкости и паров, $\text{кг}^3/\text{м}$ соответственно, h – расстояние между тарелками, м; $C_{\text{макс}}$ – коэффициент, зависящий от типа применяемой тарелки, расстояния между тарелками и т. д.

В процессе конструирования колонны проектировщик выполняет ее эскиз (вид сбоку и один или несколько планов), являющейся графической частью задания на разработку технического проекта. Кроме того, задание состоит из описи присоединительных штуцеров, технических условий и специальных требований. В технические условия входят:

- рабочая температура верха и низа колонны;
- рабочее давление;
- характеристика коррозионной агрессивности перерабатываемых веществ и рекомендации по применению конструкционных материалов;
- характеристика барботажных тарелок и их количество и т.д.

В специальных требованиях указывается место и способ установки колонны (в помещении, вне его, на какой отметке), климатические и сейсмические особенности района, особые условия испытания и т.п.

3.2. Тарельчатые колонны

Конструкции тарельчатых колонн весьма разнообразны. Это объясняется чрезвычайно большим ассортиментом перерабатываемого сырья, широким диапазоном производительности и различным гидравлическим режимом колонн. В качестве конструкционного материала для изготовления колонных аппаратов наиболее широко применяют углеродистую и кислотостойкую сталь. В некоторых случаях по условиям коррозии и очистки тарелок целесообразно использовать чугун. Колонны из цветных металлов выполняются реже. В настоящее время осваиваются тарельчатые колонны из неметаллических материалов керамики, графита, фторопласта и т.д.

В химической и нефтеперерабатывающей промышленности находят применение тарельчатые колонны различных размеров: от небольших диаметром 300...400 мм до крупнотоннажных высокопроизводительных установок с колоннами диаметром 5, 8 и даже 12 м. Высота колонны зависит от числа тарелок и расстояния между ними. Чем меньше расстояние, тем ниже колонна, однако при уменьшении расстояния между тарелками увеличивается унос брызг и возникает опасность переброса жидкости с нижних тарелок на верхние, что существенно уменьшает к.п.д. установки. Поэтому расстояние между тарелками обычно не принимают менее 200...300 мм. По соображениям конструктивного порядка и возможности ремонта и очистки тарелок расстояния между ними принимают по табл.3.

Кипятильники в ректификационных установках малой производительности делают в виде змеевиков, установленных непосредственно в кубе, но более часто кипятильник монтируют в виде выносного теплообменника, который устанавливается вертикально около куба и связан с ним двумя патрубками. Колонны периодического действия имеют кубы большой емкости, достаточной для

приема единовременной загрузки продукта. В колоннах непрерывного действия не нужен большой объем кубовой жидкости, и кубом в них является нижняя часть колонны высотой 1...1,5 м.

Таблица 3.

Расстояние между тарелками

Диаметр колонны, м	Расстояние между тарелками, мм
До 0,8	200...350
0,8...1,6	350...400
1,6...2,0	400...500
2,0...2,4	500...600
Более 2,4	Более 600

К тарелкам предъявляются следующие требования: они должны иметь высокий к. п. д. (обеспечивать хороший контакт между жидкостью и паром), обладать малым гидравлическим сопротивлением, устойчиво работать при значительном колебании расходов пара и жидкости. Тарелки должны быть просты по конструкции, удобны в эксплуатации, иметь малый вес и быть нечувствительными к различным осадкам и отложениям, что особенно важно при работе с загрязненными жидкостями. Наибольшее применение находят колпачковые, ситчатые и клапанные тарелки.

В ректификационных и абсорбционных колоннах, применяемых в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, используют несколько типов тарелок, область применения которых зависит главным образом от нагрузок по пару и жидкости и от их физических свойств.

В общем случае можно считать, что вакуумные колонны характеризуются малыми нагрузками по жидкости (малые объемные расходы жидкости); атмосферные колонны – умеренными нагрузками по пару и жидкости; колонны, работающие под давлением – малыми нагрузками по пару и большими по жидкости. Особенно велики нагрузки по жидкости в абсорберах и десорберах.

Необходимость применения тарелок различных типов диктуется также спецификой и особенностями работы нефтеперерабатывающих и газобензиновых заводов, например, производительностью различных связанных между собой установок, которая зависит не только от количества исходного сырья, но и от его состава.

Колпачковые тарелки (рис. 42 а) наиболее часто применяют в ректификационных установках. Конструктивная схема устройства колпачка и обозначения основных размеров приведены на рис. 42 а.

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 его соприкосновения 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. Расчет основных размеров колпачков и некоторые рекомендации изложены в методике расчета тарельчатых колпачковые колонн.

Следует отметить, что, кроме колпачковых тарелок, применяют также клапанные, желобочные, S-образные, чешуйчатые, провальные и другие конструкции и тарелок. В расчетах необходимо учитывать особенности конструкций тарелок.

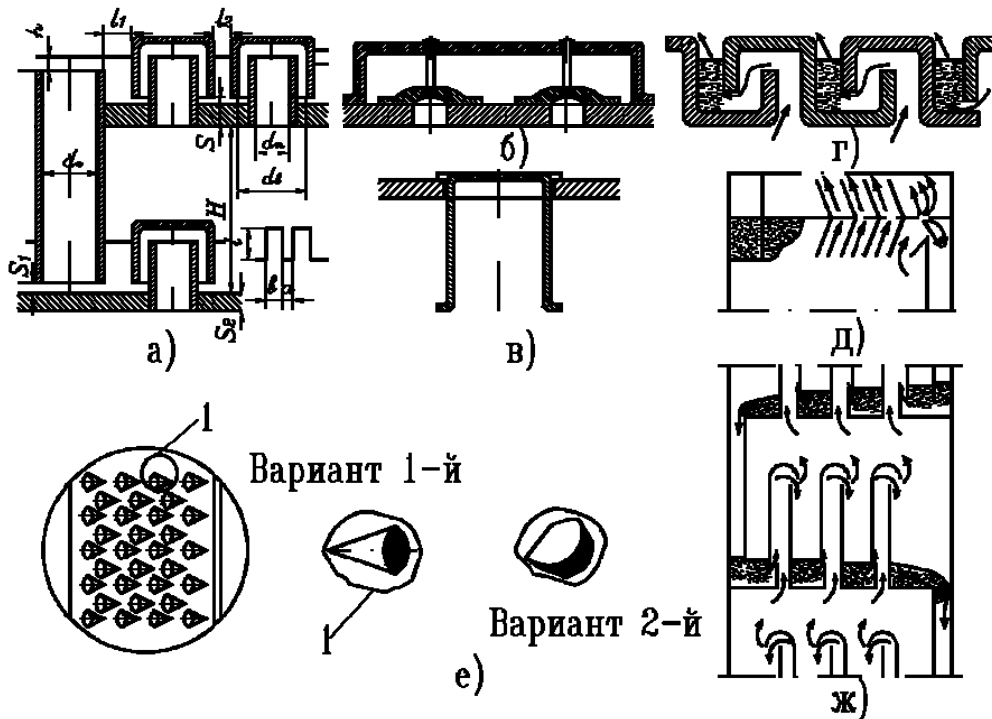


Рис. 42. Конструкции тарелок:

а – колпачковая; *б* – клапанная с верхним ограничителем подъема; *в* – клапанная с нижним ограничителем подъема; *г* – из S-образных элементов; *д* – пластинчатая; *е* – чешуйчатая; *ж* – прямоточная

Клапанные тарелки (рис. 42 б, в) показали высокую эффективность при значительных интервалах нагрузок благодаря возможности саморегулирования. В зависимости от нагрузки клапан перемещается вертикально, изменяя площадь живого сечения для прохода пара, причем максимальное сечение определяется высотой устройства, ограничивающего подъем. Площадь живого сечения отверстий для пара составляет 10...15 % площади сечения колонны. Скорость пара составляет 1,2 м/с. Клапаны изготавливают в виде пластин круглого или прямоугольного сечения с верхним (рис. 42 б) или нижним (рис. 42 в) ограничителем подъема.

Тарелки, собранные из S-образных элементов (рис. 42 г), обеспечивают движение пара и гладкости в одном направлении, способствуя выравниванию концентрации жидкости на тарелке. Площадь живого сечения на тарелке 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.

Чешуйчатые тарелки (рис.42 *е*) 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 (рис. 42 *е* вариант 1) и лепестковые (рис. 42 *е* вариант 2), их располагают в тарелке в шахматном порядке. Простота конструкции, эффективность и большая производительность преимущества этих тарелок.

Пластинчатые тарелки (рис. 42 *д*) собраны из отдельных пластин расположенных под углом 4...9° к горизонту. 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.

Тарелки провального типа

К провальным относятся 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.

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

Ситчатые тарелки представляют собой лист с пробитыми в нем круглыми или щелевидными отверстиями диаметром (шириной) 3...10 мм (рис. 43). Пар,

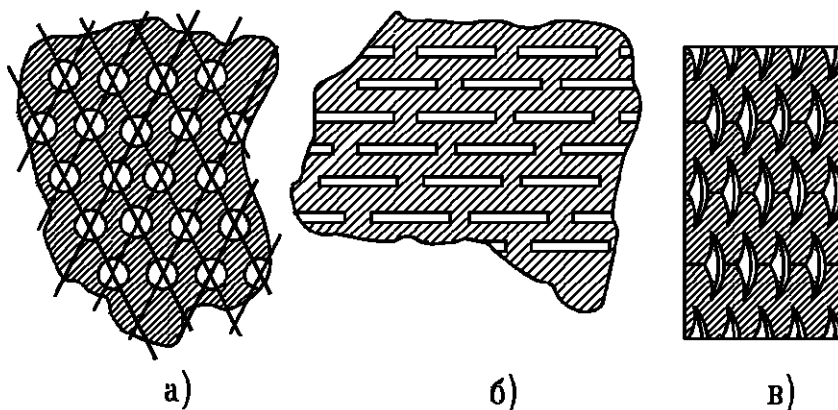


Рис. 43. Форма отверстий в ситчатых тарелках:
а – круглые; *б* – щелевидные; *в* – просеченные треугольные

проходящий в отверстия, барботирует через слой жидкости, которая стекает через переливные патрубки. Скорость пара в отверстиях принимают 10...12 м/с. Разновидностью ситчатых тарелок являются провальные решетчатые, в которых отсутствуют переливные патрубки и жидкость стекает в отверстия в решетке навстречу пару. Отверстия в провальных тарелках несколько крупнее, чем в ситчатых.

Весьма интересной является волнистая решетчатая тарелка. Волны придают тарелке повышенную жесткость, что дает возможность применять ее при большом диаметре колонны без опорных балок.

Ситчатые и решетчатые тарелки просты по конструкции и эффективны. Недостатком их является необходимость точного регулирования заданного режима (особенно по расходу газа) и чувствительность к осадкам и отложениям, забивающим отверстия.

Для увеличения производительности и эффективности тарелок провального типа необходимо в первую очередь обеспечить равномерное распределение потоков по сечению колонны. Для этого предлагается предусмотреть гофрированную поверхность тарелок, наподобие ситчатых волнистых тарелок (рис. 44 б) или тарелок из просечного листа с кромками отверстий или щелей, отогнутыми в одну или в разные стороны (рис. 44 а). Поверхность тарелок может быть и ступенчатой (рис. 44 в). Экспериментальное определение основных характеристик указанных конструкций показало, что производительность их примерно в 2 раза выше производительности обычных решетчатых тарелок при несколько лучшей или одинаковой эффективности разделения; такие тарелки создают небольшое гидравлическое сопротивление и на них удерживается небольшой слой вспененной жидкости.

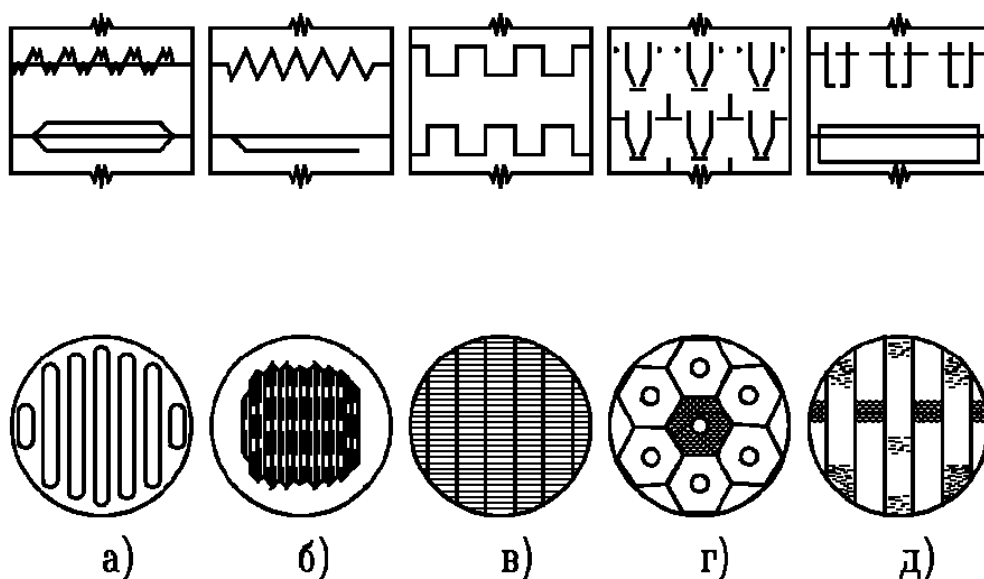


Рис. 44. Усовершенствованные конструкции тарелок провального типа:
а – с отогнутыми кромками щелей; *б* – с гофрированной поверхностью; *в* – со ступенчатым расположением листов; *г* – с двумя зонами контакта; *д* – с большим количеством переливов

Равномерное распределение потоков на противоточном контактном устройстве типа ситчатой тарелки предлагается осуществлять секционированием ее на отдельные ячейки с применением в каждой ячейке своего переливного устройства, не доходящего до нижележащей тарелки (рис. 44 г). Контакт пара и жидкости на подобных устройствах осуществляется одновременно в барботажном слое у основания тарелки и в стекающих струях. Гидравлический затвор обеспечивается столбом жидкости, вытекающей через щели внизу переливного устройства.

Аналогичные конструкции (рис. 44 д) применяются также за рубежом, главным образом в колоннах для разделения углеводородных газов, где производительность лимитируется жидкостными нагрузками. Экспериментальные исследования и опыт эксплуатации подобных конструкций показали их высокую эффективность, а сравнительные расчеты – предпочтительность их применения по сравнению с обычными конструкциями переливных тарелок в условиях разделения при повышенных жидкостных нагрузках.

Для равномерного распределения потоков по сечению решетчатых тарелок и, следовательно, для увеличения их эффективности делают щели разной ширины а располагают их неравномерно по сечению колонны. На тарелках со щелями разной ширины при малых нагрузках по газу будут работать главным образом узкие щели; по мере увеличения нагрузки в работу будут включаться остальные щели. Очевидно, вопросы конструирования провальных тарелок большого диаметра с точки зрения равномерного распределения потоков по сечению колонны должны решаться в результате испытания контактного устройства натуральной величины на специальных стендах на системе вода – воздух.

Значительное улучшение эксплуатационных характеристик решетчатых и ситчатых тарелок провального типа достигается путем установки на большинстве (70...80 %) щелей или отверстий клапанов прямоугольной или круглой формы. Излучение разделительной способности колонн с провальными тарелками обычной конструкции, имеющими клапаны, показало, что производительность, эффективность и диапазон их устойчивой работы увеличиваются от 20 до 50 % при небольшом увеличении гидравлического сопротивления (от 20 до 40 мм вод. ст.).

Решетчатые тарелки провального типа целесообразно устанавливать в колонне вместе с перераспределителями жидкости, из расчета один перераспределитель через каждые 8...10 тарелок, при этом чем больше диаметр колонны, тем меньше число тарелок должно быть между перераспределителями.

Высокую производительность и низкое гидравлическое сопротивление имеют также тарелки, образованные из вертикально установленных металлических полос небольшой высоты. Подобные конструкции успешно применяются в вакуумных колоннах, а также при очистке и промывке газов.

Наиболее эффективные, надежные и в то же время простые конструкции контактных устройств будут созданы путем комбинирования рассмотренных выше способов улучшения конструкций решетчатых и ситчатых тарелок провального типа и тарелок с переливами.

Каскадные промывные тарелки

Каскадные промывные тарелки различаются, во-первых, по расположению элементов (горизонтальное или наклонное) и, во-вторых, по форме выполнения самих элементов. На рис. 45 показаны различные каскадные промышленные тарелки, применяемые в настоящее время в промышленности.

Тарелки сегментные и типа «диск – кольцо» с горизонтальным расположением элементов (рис. 45 а и б) имеют отверстия для прохода жидкости диаметром 8...10 мм. Размещаются отверстия в вершинах равностороннего треугольника с шагом $2 \cdot d_{\text{отв}}$; при малом числе отверстий их располагают как можно

дальше от края сегмента. Для поддержания определенного уровня жидкости тарелка имеет борт высотой 50...40 мм.

Свободное сечение выреза составляет не менее 30 % от площади сечения колонны. Расстояние между полками промышленных колонн должно быть не менее 400 мм.

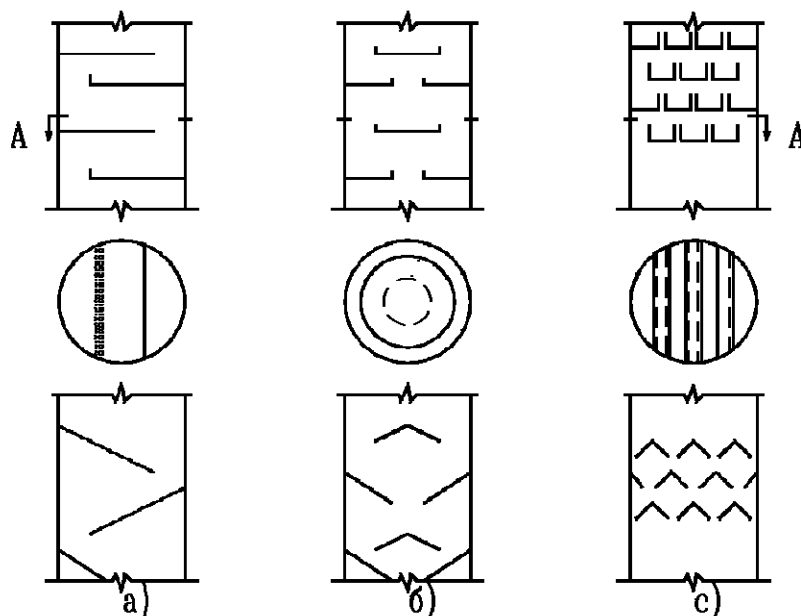


Рис. 45. Конструкции каскадных промывных тарелок *I* – с горизонтальным расположением элементов; *II* – с наклонным расположением элементов: *a* – сегментные; *б* – типа «диск – кольцо»; *в* – полочные

Более сложные по конструкции полочные тарелки (рис. 45 *в*) применяют в случаях, когда при других тарелках требуются большие расстояния между ними. Элементы полочных тарелок не имеют отверстий, жидкость сливается с них только через зубчатые сливные планки. Для равномерной работы подобных тарелок в верхней части колонны необходимо иметь надежный распределитель жидкости. Свободное сечение для прохода пара через полочные тарелки принимается таким же, как и для других тарелок. Каскадные промывные тарелки с горизонтальным расположением элементов применяются главным образом на чистых жидкостях. В колоннах установок каталитического крекинга, где вместе с паром увлекается катализатор, применяются тарелки с наклонно расположенными элементами, которые значительно меньше засоряются и обеспечивают лучшую отмывку пара от катализаторной пыли. Для уменьшения общей высоты колонн большого диаметра вместо сегментных тарелок типа «диск – кольцо» применяют полочные тарелки.

Максимальный угол наклона элементов составляет 30°. Остальные размеры принимают такими же, как и для тарелок с горизонтально расположенными элементами.

3.3. Насадочные колонны

Насадочные колонны широко применяют для процессов абсорбции, а также очистки, охлаждения и увлажнения газов. Некоторое применение они находят и для

процессов ректификации. Насадочные колонны удовлетворительно работают только при обильном и равномерном орошении насадки жидкостью. Различается два основных режима работы аппаратов:

- пленочный режим, при котором жидкость, омываемая газом, стекает по элементам насадки;
- эмульгационный режим, когда весь аппарат заполнен жидкостью, а через слой ее между элементами насадки барботирует газ.

К основным элементам насадочных колонн относятся: насадка, устройства для орошения и распределения жидкости, опорные колосники и другие устройства, поддерживающие слой насадки. По способу расположения насадки по высоте аппарата колонны подразделяют на полностью насаженные (рис. 46 а), разделенные на секции (рис. 46 б) и частично насаженные (рис. 46 в).

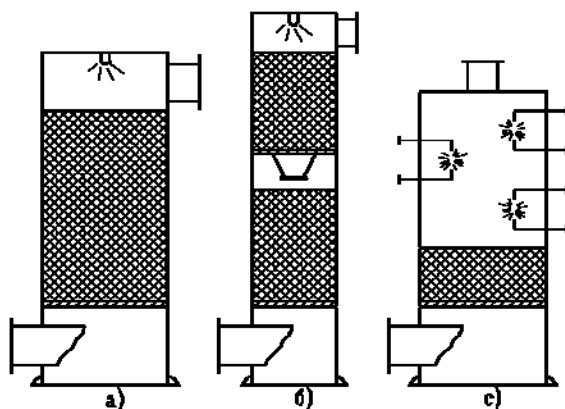


Рис. 46. Типы насадочных колонн:

а – колонна полностью насаженная; б – колонна с насадкой, разделенной на секции; в – колонна частично насаженная

Полностью насаженные колонны с насадкой, загружаемой навалом, имеют обычно высоту слоя насадки не более $H = (6...8) \cdot D$. Дальнейшее увеличение высоты слоя насадки ограничивается тем обстоятельством, что жидкость стекающая по беспорядочно загруженной насадке, имеет тенденцию перемещаться к периферии, в результате чего часть насадки остается несмоченной. Когда требуется высота слоя более $(6...8) \cdot D$, насадку в аппарате располагают отдельными слоями (секциями). После каждого слоя жидкость собирают и с помощью распределительных устройств равномерно орошают нижний слой насады. Общая высота колонны с насадкой, разделенной на секции, может достигать 30...40 м. Колонны, частично загруженные, имеют над слоем насадки значительное свободное пространство, в котором жидкость реагирует с газом в распыленном состоянии.

Выбор насадок

Для того, чтобы насадка работала эффективно, она должна удовлетворять следующим основным требованиям: 1) обладать большой поверхностью в единице объема; 2) хорошо смачиваться орошающей жидкостью; 3) оказывать малое гидравлическое сопротивление газовому потоку; 4) равномерно распределять орошающую жидкость; б) быть стойкой к химическому воздействию жидкости и газа, движущихся в колонне; б) иметь малый удельный вес; 7) обладать высокой механической прочностью; 8) иметь невысокую стоимость.

Насадок, полностью удовлетворяющих всем указанным требованиям, не существует, так как, например, увеличение удельной поверхности насадки влечет за собой увеличение гидравлического сопротивления аппарата и снижение предельных нагрузок. В промышленности применяют разнообразные по форме и размерам насадки (рис. 47), которые в той или иной мере удовлетворяют требованиям, являющимся основными при проведении конкретного процесса абсорбции. Насадки, изготавливают из разнообразных материалов (керамика, фарфор, сталь, пластмассы и др.), выбор которых диктуется величиной удельной поверхности насадки, смачиваемостью и коррозионной стойкостью.

В качестве насадки используют также засыпаемые навалом в колонну куски кокса или кварца размерами 25...100 мм. Однако вследствие ряда недостатков (малая удельная поверхность, высокое гидравлическое сопротивление и т. д.) *кусковую* насадку в настоящее время применяют редко.

Широко распространена насадка в виде тонкостенных керамических колец, с высотой, равной диаметру (кольца Рашига), который изменяется в пределах 15...150 мм. Кольца малых размеров засыпают в абсорбер навалом (рис. 47 а). Большие кольца (размером не менее 50x50 мм) укладывают правильными рядами,

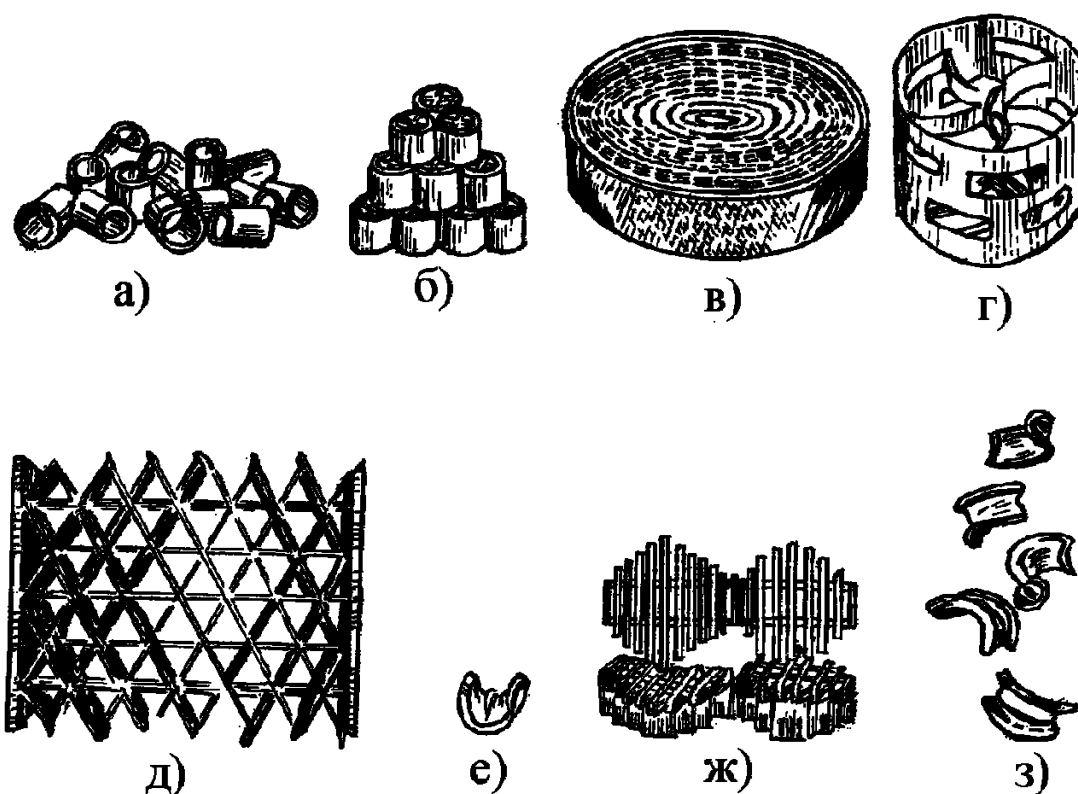


Рис. 47. Типы насадок:

а – кольца Рашига, беспорядочно уложенные (навалом); б – кольца с перегородками, правильно уложенные; в – насадка Гудлоу; г – кольца Палая; д – насадка «Спрейпак»; е – седла Берля; ж – хордовая насадка; з – седла «Инталлокс»

сдвинутыми друг относительно друга (рис. 47 б). Этот способ заполнения аппарата насадкой называют загрузкой в укладку, а загруженную таким способом насадку – *регулярной*. Регулярная насадка имеет ряд преимуществ перед *нерегулярной*, засыпанной в абсорбер навалом: обладает меньшим гидравлическим

сопротивлением, допускает большие скорости газа. Однако для улучшения смачивания регулярных насадок необходимо применять более сложные по конструкции оросителя. Хордовая деревянная насадка (рис. 47 ж) обычно используется в абсорберах, имеющих значительный диаметр. Основное ее достоинство – простота изготовления, недостатки – относительно небольшая удельная поверхность и малый свободный объем.

За последние годы стали применяться спиральные насадки, выполненные из металлических лент и проволоки, различные металлические сетчатые насадки (рис. 47 д), а также насадка из стеклянного волокна.

При выборе размеров насадки следует учитывать, что чем больше размеры ее элемента, тем выше допустимая скорость газа (и соответственно производительность абсорбера) и ниже ее гидравлическое сопротивление. Общая стоимость абсорбера с насадкой из элементов больших размеров будет ниже за счет уменьшения диаметра аппарата, несмотря на то, что его высота несколько увеличивается по сравнению с высотой аппарата, имеющего насадку меньших размеров (вследствие снижения величины удельной поверхности насадки и интенсивности массопередачи).

Мелкая насадка предпочтительнее также при проведении процесса абсорбции под повышенным давлением, так как в этом случае гидравлическое сопротивление абсорбера не имеет существенного значения. Кроме того, мелкая насадка, обладающая большей удельной поверхностью, имеет преимущества перед крупной тогда, когда для осуществления процесса абсорбции необходимо большое число единиц переноса или теоретических ступеней изменения концентраций.

Основными достоинствами насадочных колонн являются: простота устройства и низкое гидравлическое сопротивление. Недостатки: трудность отвода тепла и плохая смачиваемость насадки при низких плотностях орошения. Отвод тепла из этих аппаратов и улучшение смачиваемости достигается путем рециркуляции абсорбента, что усложняет и удорожает абсорбционную установку. Для проведения одного и того же процесса требуются насадочные колонны обычно большего объема, чем барботажные.

Насадочные колонны мало пригодны при работе с загрязненными жидкостями. Для таких жидкостей в последнее время стали применять абсорберы с «плавающей» насадкой. В этих абсорберах в качестве насадки используют главным образом легкие полые или сплошные пластмассовые шары, которые при достаточно высоких скоростях газа переходят во взвешенное состояние.

В абсорберах с «плавающей» насадкой допустимы более высокие скорости газа, чем в абсорберах с неподвижной насадкой. При этом увеличение скорости газа приводит к большему расширению слоя шаров, и, следовательно, к незначительному увеличению гидравлического сопротивления аппарата.

Противоточный распыливающий абсорбер

В аппаратах этого типа тесный контакт между фазами достигается путем распыливания или разбрызгивания различными способами жидкости в газовом потоке.

Полый распыливающий абсорбер (рис. 48) представляет собой колонну, в верхней части корпуса 1 которой имеются форсунки 2 для распыливания жидкости

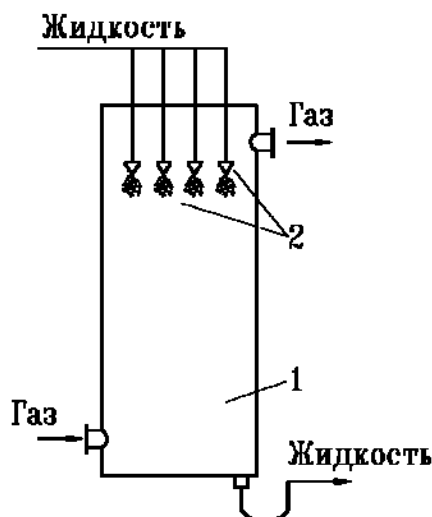


Рис. 48. Полный распыливающий абсорбер:
1 – колонна; 2 – форсунки

(главным образом механические). В распыливающих абсорберах объемные коэффициенты массопередачи быстро снижаются по мере удаления от форсунок вследствие коалесценции капель и уменьшения поверхности фазового контакта. Поэтому оросители (форсунки) в этих аппаратах обычно устанавливают на нескольких уровнях.

К достоинствам полых распыливающих абсорберов относятся: простота устройства, низкое гидравлическое сопротивление, возможность работы с загрязненными газами, легкость осмотра, очистки и ремонта. Недостатки этих аппаратов: невысокая эффективность, значительный расход энергии на распыливание жидкости, трудность работы с загрязненными жидкостями, необходимость подачи больших количеств абсорбента для увеличения количества капель и соответственно поверхности контакта фаз, низкие допустимые скорости газа, значения которых ограничены уносом капель жидкости.

Распыливающие абсорберы применяются главным образом для поглощения хорошо растворимых газов, так как вследствие высокой относительной скорости фаз и турбулизации газового потока коэффициенты массоотдачи в газовой фазе в этих аппаратах достаточно высоки.

Прямоточный распыливающий абсорбер

Значительно более эффективными аппаратами являются *прямоточные распыливающие абсорберы*, в которых распыленная жидкость захватывается и уносится газовым потоком, движущимся с большой скоростью (20...30 м/с и более), а затем отделяется от газа в сепарационной камере. К аппаратам такого типа относится абсорбер Вентури (рис. 49), основной частью которого является труба Вентури. Жидкость поступает в конфузур 1 трубы, течет в виде пленки и в горловине 2 распыливающимся газовым потоком. Далее жидкость выносится газом в диффузор 3, в котором постепенно снижается скорость газа, и кинетическая энергия газового потока переходит в энергию давления с минимальными потерями. Сепарация капель происходит в камере 4.

К распыливающим относятся также *механические абсорберы* в которых разбрызгивание жидкости производится с помощью вращающихся устройств, т.е. с подводом внешней энергии для образования возможно большей поверхности контакта фаз между газом и жидкостью.

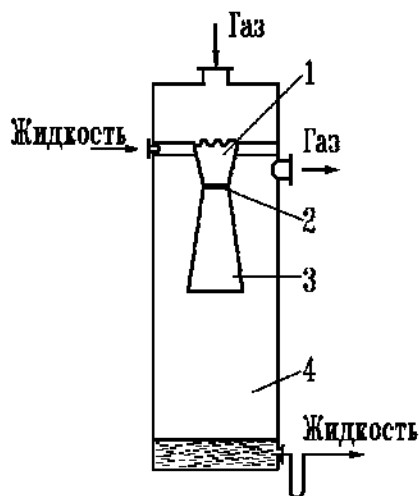


Рис. 49. Распыливающий абсорбер Вентури:
1 – конфузур; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – сепарационная камера

Роторный центробежный абсорбер

На рис. 50 представлена схема *роторного центробежного абсорбера* с вертикальным вращающимся валом. В этом аппарате вращающиеся тарелки 1, укрепленные на валу, чередуются с неподвижными тарелками 2, которые крепятся к корпусу колонны. Тарелки 1 снабжены кольцевыми вертикальными ребрами 3, а тарелки 2 – коаксиальными ребрами. При таком устройстве между вращающимися и неподвижными тарелками образуются кольцевые каналы. Жидкость поступает в

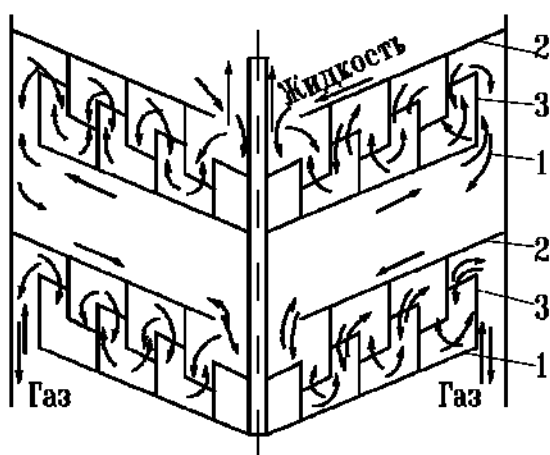


Рис. 50. Роторный центробежный насос:
1 – вращающиеся тарелки; 2 – неподвижные тарелки; 3 – кольцевые ребра

центральную часть колонны и под действием центробежной силы разбрызгивается кромкой вращающегося ребра. Капли пролетают пространство, заполненное газом,

и ударяются о стенку соответствующего ребра неподвижной тарелки. Таким образом, при движении жидкости от центра к периферии тарелки происходит многократное контактирование фаз. Достоинства: механических абсорберов – компактнее и эффективнее распыливающих абсорберов других типов. Недостатки: сложнее по устройству и требуют больших затрат энергии на осуществление процесса.

Во многих случаях в система газ–жидкость для диспергирования одной фазы в другой оказывается достаточным использование энергии потока газа, взаимодействующего с жидкостью, и подвод внешней энергии для этой цели нецелесообразен.

3.4. Отбойные устройства

Отбойные устройства предназначены для сепарации капель жидкости из потока пара (газа); устанавливаются вверху абсорбционных колонн и в различных сечениях ректификационных колонн. Отбойные устройства, устанавливаемые вверху колонны, должны обладать высокой эффективностью сепарации и надежно работать в широком диапазоне изменения нагрузок по пару.

У некоторых ректификационных колоннах при вводе сырья в питательную секцию поток пара уносит частицы жидкости с нелетучими соединениями: смолами, золой и т. д. При наличии уноса жидкости с тарелки на тарелку нелетучие соединения будут увлекаться потоком пара и транспортироваться им вверх колонны. В итоге нелетучие соединения могут попасть в дистиллят и ухудшить его качество (цвет, коксуюемость, содержание золы, металлов и др.). Подобное явление наиболее часто встречается в вакуумных колоннах для перегонки мазута, особенно при работе на форсированных режимах; в некоторых случаях унос жидкости в питательной секции колонны ограничивает производительность колонны.

Отбойные устройства, устанавливаемые в питательной секции колонны, должны обеспечивать достаточно высокую эффективность сепарации, легко подвергаться чистке и ремонту.

В случае, когда колонна должна работать с большими величинами межтарельчатого уноса жидкости, равными оптимальному значению или превышающими его, можно применять межтарельчатые отбойные устройства, позволяющие создать более экономичную конструкцию колонны.

Иногда применение отбойных устройств между тарелками обусловлено спецификой работы или конструкцией колонны. Например, отбойные устройства под каждой тарелкой применяются при необходимости иметь небольшую высоту колонны (при установке колонн в помещении), в колоннах разделения воздуха, где высота колонны лимитируется поверхностью теплообмена.

К отбойным устройствам, устанавливаемым под каждой тарелкой, предъявляются следующие требования: простота конструкции, малый вес, низкая стоимость, легкость монтажа и обслуживания, малое гидравлическое сопротивление и, наконец, достаточная, но не высокая эффективность сепарации при заданных режимах работы.

Для сепарации капель жидкости из потока пара (газа) в аппаратах нефтяной и химической технологии применяют в основном отбойники ударного типа. В атмосферных и вакуумных колоннах первичной перегонки не применяют

отбойники из сеток и уголков (рис. 51 *а*), а в абсорберах– из вертикально установленных уголков (рис. 51 *б*). Встречаются также отбойники с наклонно расположенными элементами (рис. 51 *в*). В том и другом случае жидкость из потока пара (газа) выделяется в результате соприкосновения капель с поверхностью элементов. Однако отвод отсепарированной жидкости осуществляется по-разному, что и обуславливает разную картину их работы и различные допустимые скорости движения газа. В отбойном устройстве из насадки отсепарированная жидкость стекает навстречу восходящему потоку пара, а в отбойниках из вертикально установленных пластин она стекает по элементам в специальное устройство и далее через гидрозатвор выводится из системы.

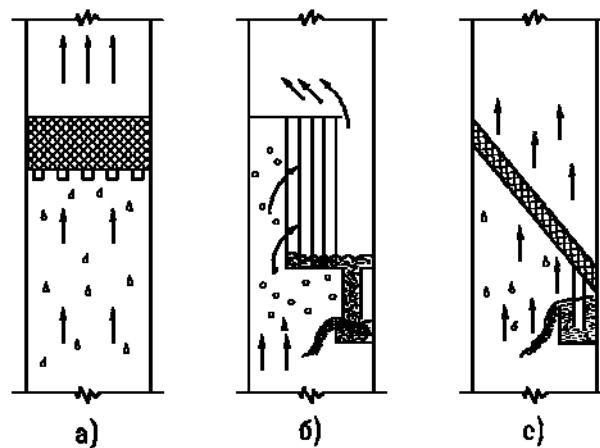


Рис. 51. Отбойные устройства:

а – горизонтальные из насадки; *б* – из вертикально расположенных элементов; *в* – из наклонно расположенных элементов или из насадки

В отбойных устройствах из насадки уносимая жидкость проникает в слой насадки и создает на ее поверхности ламинарную пленку жидкости. Эта пленка стекает на нижние элементы, образуя там крупные капли, которые отрываются и движутся навстречу потоку пара. Подобная картина сепарации жидкости наблюдается лишь до определенных значений нагрузок по пару и жидкости. Начиная с некоторой скорости пара жидкость заполняет весь объем слоя насадки и часть ее уносится с отбойника вместе с уходящим паром, т. е. возникает вторичный унос жидкости. Нагрузки, при которых еще нет вторичного уноса жидкости, считаются максимально допустимыми, поскольку им соответствует максимальная эффективность сепарации.

При нормальной работе отбойных устройств из вертикально расположенных уголков, жидкость ламинарной пленкой стекает по поверхности уголков. При достижении некоторой скорости пара движение жидкости становится волнообразным. Затем происходит срыв пленки с поверхности уголков и появляется вторичный унос жидкости, уменьшающий эффективность сепарации. Нагрузки, при которых еще нет срыва пленки жидкости, считаются максимально допустимыми, поскольку они отвечают максимальной эффективности сепарации.

Для сепаратора из сеток можно пользоваться следующим уравнением для определения скорости газа:

$$w = K \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}$$

Коэффициент K зависит от условий перегонки и количества жидкости, поступающей на отбойник и его конструкции. Для стандартного сепаратора ($F_{\text{СВ}} = 0,98 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $d = 200 \text{ м}^2/\text{м}^3$) при не большом уносе жидкости на отбойник принимают $K = 0,107$, для высокоэффективного сепаратора ($F_{\text{СВ}} = 0,99 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $d = 100 \text{ м}^2/\text{м}^3$) $K = 0,152$.

Для сепараторов с вертикально расположенными элементами рабочую скорость газа рекомендуется определять по уравнению:

$$w = 0,045 \cdot \frac{\sqrt[4]{g^2 \cdot \sigma \cdot (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})}}{\sqrt{\rho_{\text{п}}}}$$

Скорость газа, рассчитанная по этому уравнению, соответствует величине уноса жидкости после сепаратора, примерно равной $25 \text{ мг}/\text{м}^3$ газа. Высокая эффективность сепарации наблюдается в том случае, когда скорость газа не выходит из пределов 80...120 % от вычисленных значений. Данное уравнение было проверено на сепараторах газовых промыслов.

3.5. Узлы ввода сырья

Конструкция ввода парожидкостного сырья в колонну должна обеспечить хорошую сепарацию фаз и равномерное распределение паров по сечению колонны. С этой целью в колоннах с однопоточными тарелками ввод сырья осуществляется через один тангенциально расположенный штуцер. Далее парожидкостная смесь по спирали направляется к центру колонны при помощи вертикально установленного отбойного листа (рис. 52 а), который одновременно защищает корпус колонны от эрозии.

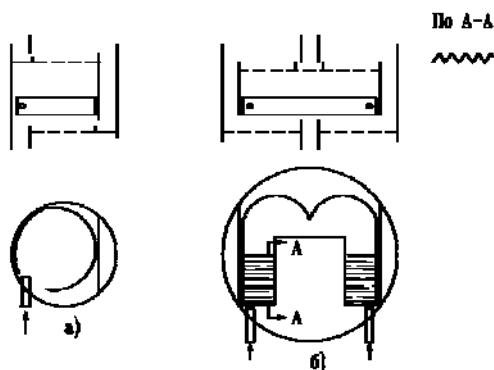


Рис. 52. Узлы ввода сырья в колонну.
а – с однопоточными тарелками; б – с двухпоточными тарелками

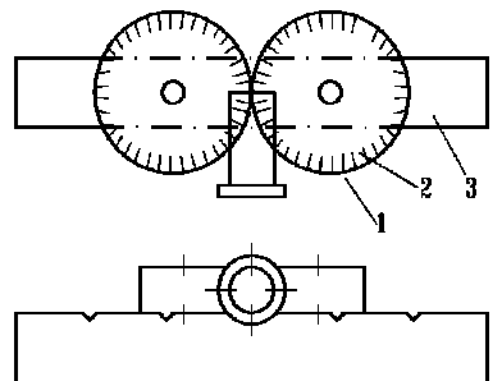


Рис. 53. Узел ввода сырья в насадочную колонну.
1 – обечайки; 2 – перегородки; 3 – желоб

В колоннах большого диаметра с двухпоточными тарелками сырье вводится двумя потоками через тангенциально расположенные штуцера. Далее при помощи отбойных пластин потоки направляются к центру колонны навстречу друг другу (рис. 52 б).

Для улучшения сепарации жидкости в верхней части вертикального отбойного листа можно приварить также и горизонтальный отбойник, изготовленный из просечно-вытяжного листа, с направлением просечки по ходу движения потока. Установка сплошных отбойных листов нежелательна, так как при этом нарушается равномерность разделения пара по сечению колонны.

Для насадочных колонн предлагается конструкция узла ввода сырья, изображенная на рис. 53, назначение которой состоит в том, чтобы разделить паровую и жидкую фазы и распределить жидкость равномерно по сечению колонны. Устройство состоит из штуцера, расположенного тангенциально по отношению к двум внутренним обечайкам 1 с отбойными перегородками 2, и желоба 3 для сбора отсепарированной жидкости. В атмосферных и вакуумных колоннах перегонки нефти эвапорационное пространство колонны должно иметь максимально возможный объем, т. е. переливные устройства или переточные трубы не должны мешать установке распределителей пара и сепараторов жидкости. При наличии бокового отбора жидкости с нижней концентрацией тарелки переток жидкости из концентрационной части колонны в отгонную осуществляют насосом.

3.6. Распределительные устройства для жидкости и пара

Весьма важным узлом в колоннах с тарелками провального типа и с насадкой является распределительное устройство для жидкости.

Наиболее часто применяют следующие конструкции распределительных устройств, обеспечивающих неплохое распределение жидкости по сечению аппаратов различного диаметра: распределительные тарелки, желоба, коллекторы, отражатели, и центробежные устройства.

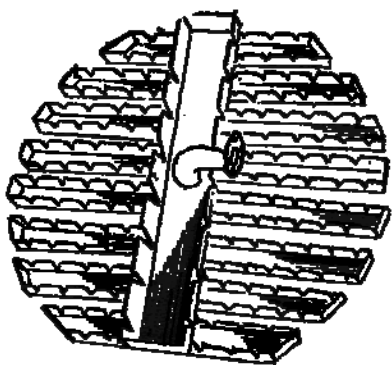


Рис. 54. Желоба для распределения жидкости

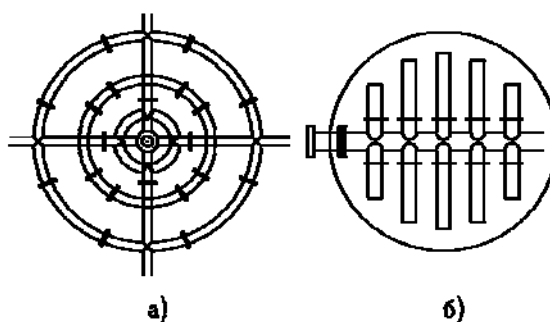


Рис. 55. Распределители из труб.
а – паук; б – коллектор

Распределительные тарелки имеют патрубки для прохода паров и ниппели для стока жидкости. Для того, чтобы пар проходил только через патрубки, их делают выше, чем ниппели, и сверху защищают от стекающей жидкости козырьками. При небольших расходах жидкости ниппели имеют боковой срез или прорези. Такая конструкция менее чувствительна к отклонению тарелки от горизонтального положения. Распределительные тарелки применяются для орошения насадочных колонн, главным образом с кольцами Рашига, при небольшом изменении жидкостных нагрузок. Применяют их так же, как и

перераспределительные тарелки, в колоннах с тарелками провального типа и с насадкой.

Распределители из желобов довольно просты по конструкции (рис. 54), но требуют особо тщательной установки в колоннах большого диаметра.

Часто в качестве распределителей пара и жидкости применяют перфорированные трубы, конструктивно выполненные либо в виде паука, либо в виде коллектора (рис. 55). Основным их недостатком является то, что они склонны к засорению, и поэтому применяются только на чистых продуктах. Кроме того, трубчатые распределители работают равномерно лишь тогда, когда для заданного хода и напора пара или жидкости правильно выбрана площадь перфорации. В частности, для распределителей пара, находящихся в жидкости, рекомендуется принимать площадь отверстий, равную 25 % от площади поперечного сечения трубы, а отверстия для выхода пара располагать вдоль нижней образующей трубы. Для жидкости распределители из труб применяют в случае, если необходимо иметь около распределителей большое свободное сечение для прохода пара (до 50 %).

Отражательные распределители могут (рис. 56) с успехом применяться как для парового, так и для жидкостного потоков. Они отличаются простотой конструкции и высокой производительностью, мало засоряются и обеспечивают равномерное распределение потока даже в аппаратах сравнительно большого диаметра. Ширина кольцевых каналов в распределителе должна быть равна 8...10 мм.

Распределители центробежного типа применяют только химической промышленности, например, сернокислотных башен; здесь они не рассматриваются.

При конструировании распределителей количество орошающих точек принимается в соответствии с расчетом или в зависимости от диаметра колонны.

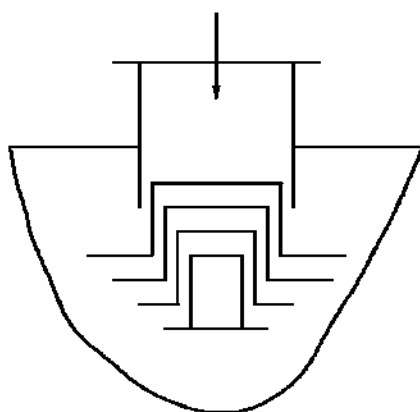


Рис. 56. Отражатель

Когда штуцер вывода пара из аппарата расположен выше распределителя жидкости, около него необходимо иметь достаточную площадь для прохода паров: при насадке из колец Рашига – 30 % , из седел Инталлокс – 60 % и из колец Паля – 65 % от сечения колонны.

4. Реакционные аппараты в химической промышленности

Основное содержание химической технологии составляет многочисленные и разнообразные процессы химического превращения вещества. Они осуществляются в специальных аппаратах, которые носят название реакторов или реакторных устройств.

В широком смысле слова химическим реактором можно считать любой аппарат (или устройство), в котором имеет место химическая реакция. Однако не всегда такие аппараты используются для получения непосредственно вещества (химического продукта). Например, газовая горелка, двигатель внутреннего сгорания, аккумулятор необходим лишь для получения одного из эффектов: теплового, механического, электрического и т.д. поэтому в дальнейшем мы будем говорить о химических реакторах только как об аппаратах, в которых осуществляется химическая реакция с целью получения определенного вещества в условиях одного технологического процесса.

4.1. Классификация химических реакторов

Рассматривая все многообразие реакционных устройств, применяемых в настоящее время в химической промышленности, можно сделать вывод о том, что во всех реакторах имеют место определенные физические процессы (гидродинамические, тепловые и диффузионные), с помощью которых создаются оптимальные условия для проведения собственно химического превращения вещества (химической реакции). Для осуществления этих физических процессов реактор имеет в своем устройстве конструктивные элементы, широко применяемые в аппаратах для проведения собственно физических процессов (мешалки, контактные устройства, теплообменники и т.д.).

Поэтому все химические реакторы можно рассматривать как аппараты комплексные, состоящие из известных конструктивных элементов, большинство из которых отдельно используется для проведения технологических операций, не сопровождающихся химическим превращением перерабатываемых веществ.

Критериями, по которым классифицируют реакционную аппаратуру является периодичность или непрерывность процесса, его гидродинамический и тепловой режимы, физические свойства взаимодействующих веществ.

По принципу организации процесса химическая реакционная аппаратура может быть разделена на три группы:

- непрерывного действия;
- периодического действия;
- полунепрерывного действия.

По гидродинамическому режиму различают следующие типы реакторов:

- полного вытеснения;
- полного смешения;
- промежуточного типа (с промежуточным гидродинамическим режимом).

По тепловому режиму работы реакторы делят на следующие типы:

- изотермический реактор;
- адиабатический реактор;
- реактор с программированным тепловым режимом.

По конструктивным особенностям – классификация реакторов объединяет всю реакционную аппаратуру в следующие группы:

- типа реакционной камеры;
- типа колонны;
- типа теплообменника;
- типа печи.

По фазовому состоянию:

- гомогенные;
- гетерогенные.

Важнейшим из факторов, определяющих устройство реактора, можно отнести следующие: агрегатное состояние исходных веществ и продуктов реакции, а также их химические свойства, температуры и давление, при которых протекает процесс, тепловой эффект процесса и скорость теплообмена; интенсивность перемешивания реагентов, непрерывность или периодичность процесса; удобство монтажа и ремонта аппарата, простоту его изготовления; доступность конструкционных материалов и т.д.

Из всех перечисленных выше факторов агрегатное состояние вещества оказывает самое большое влияние на принцип действия реактора, и его конструктивного оформления. Кроме того, в зависимости от этого фактора определяется выбор некоторых основных и вспомогательных узлов аппарата, таких, как, например, питатель, перемешивающее устройство, поверхность теплообмена и т. д.

4.2. Реакторы на основе типовой аппаратуры

К типовой аппаратуре относятся реакторы с мешалками, реакционные камеры, трубчатые и барботажные.

Реакторы с мешалками

Реакторы с мешалками широко применяют для различных жидкофазных процессов. Конструкция реакторов зависит от многих факторов: давления, температуры, корродирующих агентов, характера процесса, условий теплообмена, способов удаления жидкости и т. д.

На рис. 57 показан наиболее распространенный тип аппарата с мешалкой для работы под небольшим давлением. Аппарат состоит из корпуса с эллиптическим днищем и крышкой, мешалки, теплообменной рубашки, привода и различных внутренних устройств. На крышке аппарата размещают люк и штуцера. Жидкость удаляется по трубе передевливания.

Емкостные реакторы изготовляют сварными из углеродистой и кислотостойкой стали, меди, алюминия, титана. Их защищают в случае необходимости различными антикоррозионными покрытиями: эмалью, гуммированием, футеровкой и т. д. Наряду со сварной аппаратурой некоторое применение находят чугунные литые аппараты с мешалками. На рис. 58 показан такой аппарат. Он имеет чугунный корпус и крышку, съемную рубашку и чугунную якорную мешалку.

Специфическими узлами реактора с мешалкой являются привод, концевой подшипник, уплотнения. На рис. 59 показан привод мешалки.

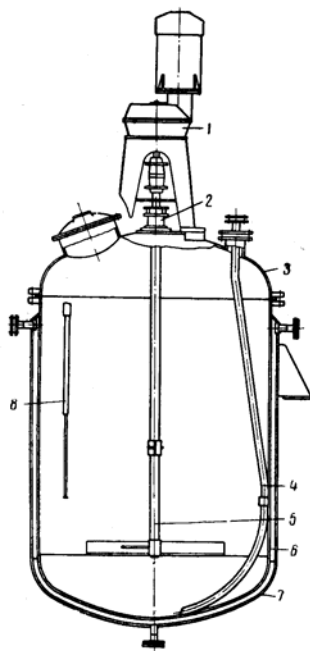


Рис. 57. Стальной реактор с мешалкой:

- 1 – привод, 2 – сальниковое уплотнение,
- 3 – крышка, 4 – труба передавливания,
- 5 – мешалка, 6 – корпус, 7 – рубашка,
- 8 – гильза термометра

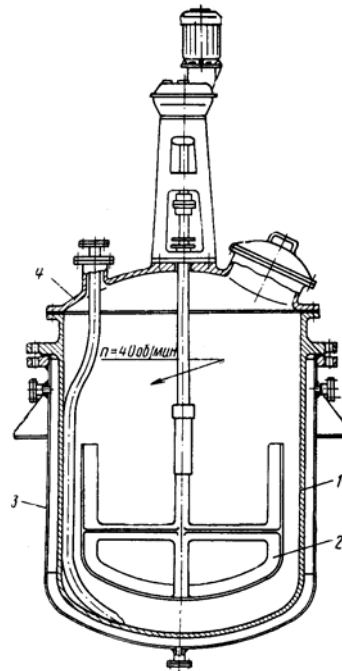


Рис. 58. Чугунный реактор с мешалкой:

- 1 – корпус, 2 – мешалка, 3 – рубашка,
- 4 – крышка

Чаще всего используется электрический привод. Приводы подразделяются на три типа:

- тип А – соединение вала мешалки с валом редуктора продольно-разъемной муфтой;
- тип Б – соединение вала мешалки с валом редуктора зубчатой муфтой;
- тип В – с параллельным расположением вала мешалки и вала редуктора.

Продольно-разъемная муфта жестко соединяет вал мешалки с выходным валом редуктора, и подшипник редуктора становится опорой вала. Вследствие этого в приводе типа А опорой для вала является подшипник редуктора и концевой подшипник вала мешалки, устанавливаемый внутри аппарата на днище.

Зубчатая муфта не соединяет жестко вал с выходным валом редуктора, поэтому в стойке привода имеется стакан с двумя подшипниками, которые служат опорой для вала мешалки.

В приводе типа В выходной вал редуктора соединяется с цилиндрическим редуктором, а выходной вал цилиндрического редуктора с валом мешалки продольно-разъемной муфтой под крышкой реактора. В этом случае привод типа В имеет два редуктора.

При работе мешалки без концевой подшипника возможно появление крутильных колебаний консольного вала мешалки, являющихся следствием динамических нагрузок на вал от перемешиваемой среды, условий, закрепления вала в опорах, конструкции мешалки. Если вал с мешалкой не отбалансирован и в подшипниковых опорах его имеется люфт, то возможно отклонение нижнего конца вала на величину S (рис. 60). Крутильные колебания вызывают разнос

подшипников и воздействуют на сальник. Концевой подшипник (рис. 61) устраняет крутильные колебания, улучшая работу сальника и подшипниковых опор.

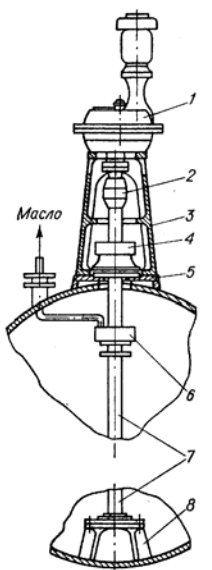


Рис. 59. Привод (тип А):

1 – редуктор, 2 – продольно-разъемная муфта, 3 – стойка привода, 6 – маслоуловитель, 7 – вал, 8 – концевой подшипник

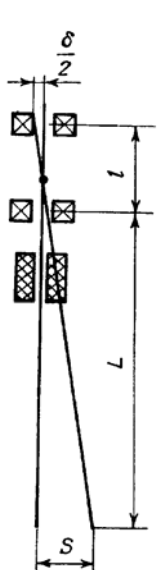


Рис. 60. Схема колебаний вала

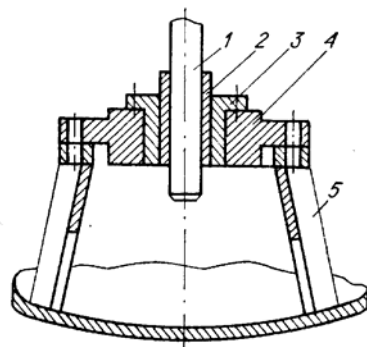


Рис. 61. Концевой подшипник:

1 – вал, 2 – вращающаяся втулка, 3 – не вращающаяся втулка, 4 – съемная плита, 5 – стойка

Пара трения в подшипнике состоит из двух втулок, одна из которых приваривается к валу или стопорится на нем. Вторая втулка укрепляется в неподвижной плите подшипника. Плита является съемной, что облегчает смену изношенной втулки при ремонте. Втулки изготавливаются из бронзы, текстолита, капрона, фторопласта.

Трубчатые реакторы

Такие реакторы применяются для осуществления жидкофазных и газофазных реакций. В качестве примера: жидкофазных процессов можно привести синтез диметилдиоксана в производстве изопрена из изобутилена и формальдегида. Процесс ведется в реакторе, выполненном в виде кожухотрубного теплообменника, в трубах которого происходит реакция изобутилена с формальдегидом под давлением 2 МПа и при 100 °С в присутствии кислого катализатора. Другим примером может служить получение ацетальдегида окислением этилена в присутствии медно-палладиевого катализатора.

Газофазных реакций, проводимых в трубчатых реакторах, очень много. Например, такой реакцией является пиролиз углеводородов в трубчатых печах. Конструктивно трубчатые аппараты ничем не отличаются от аналогичных теплообменных аппаратов. Они могут быть кожухотрубными, типа «труба в трубе» и т.д. На рис. 62 показана схема трубчатого аппарата с циркуляцией реагентов.

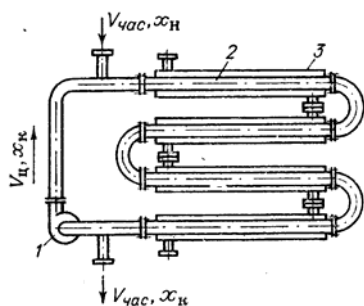


Рис. 62. Трубчатый аппарат с циркуляцией реагентов:

1 – насос, 2 – трубка, 3 – рубашка

Циркуляция необходима для достижения требуемого режима движения смеси, при котором отвод теплоты достаточен для нормального ведения процесса. Если бы не было циркуляции, смесь необходимо было бы прокачивать через аппарат с большей скоростью для достижения той же степени конверсии. Время пребывания было бы гораздо меньше расчетного, а тепловая нагрузка выше.

Следовательно, циркуляция позволяет увеличить время пребывания при турбулентном режиме движения смеси.

Циркуляция имеет и недостатки: необходим дополнительный насос, увеличивается вредное влияние перемешивания реагентов.

Барботажные реакторы

Такие аппараты предназначены для взаимодействия жидкостей и газов. Контакт жидкой и газовой фаз может быть осуществлен:

- барботажом газа через жидкость (барботажные, пенные, эрлифтные);
- распыливанием жидкости в газе (механические и пневматические форсунки и т.п.);
- взаимодействием газа с пленкой жидкости (насадочные и пленочные аппараты).

В барботажных аппаратах газ диспергируется в жидкости и проходит слой барботируемой жидкости в виде пузырей.

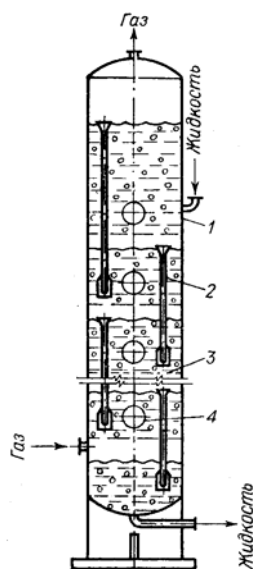


Рис. 63. Тарельчатая барботажная колонна для окисления изопропилбензола:

1 – корпус; 2 – переливная труба; 3 – тарелка; 4 – встроенный теплообменник

Конструктивно барботажные реакторы оформляются в виде полых или секционированных колонн, либо в виде газлифтных и кожухотрубных аппаратов. Барботажные реакторы используются в промышленности ООС и в производстве

мономеров: алкилирование бензола этиленом и пропиленом; окисления ацетальдегида в уксусную кислоту; окисление изопропилбензола до гидроперекиси и в ряде других случаев.

Основные типы применяемых в промышленности барботажных реакторов рассмотрим на ниже следующих примерах.

На рис. 63 представлена колонна для окисления и изопропилбензола. Колонна состоит из корпуса, тарелок с переливными трубами и теплообменных элементов. Тарелки делят объем колонны на несколько секций. Высота слоя жидкости на тарелках 1 м. Жидкость поступает в верхнюю секцию колонны и перетекает по сливным патрубкам в расположенные ниже секции. Из нижней секции отводится смесь, содержащая гидроперекись изопропилбензола. Воздух подается в нижнюю секцию, распределяется по колпачкам тарелки и проходит слой жидкости в виде пузырьков.

Для снижения прогиба тарелка снабжена ребрами жесткости. Переливная труба 2 в верхней части имеет конус для увеличения периметра перелива, а в нижней части к трубе крепится на хомутах стакан для создания гидрозатвора.

В каждую секцию колонны встроен теплообменный элемент, для нагрева реакционной массы в пусковой период и отвода теплоты реакции во время работы. Рабочая характеристика колонны: диаметр – 2 м, высота 10...15 м, рабочая температура – 110...130 °С, давление 0,4...0,6 МПа. Для реактора окисления изопропилбензола секционирование дает эффект, поскольку продукт реакции – гидроперекись изопропилбензола неустойчива и скорость разложения тем выше, чем больше концентрация гидроперекиси. Так как барботаж воздуха способствует смешению сырья с продуктами реакции, то с целью уменьшения концентрации гидроперекиси в объеме реактора его секционируют. В этом случае гидроперекись имеет высокую концентрацию только в последних секциях. В первых по ходу продукта секциях концентрация гидроперекиси невелика и значит мала скорость разложения. Таким образом, секционирование позволяет уменьшить разложение гидроперекиси в первых секциях, и, следовательно, в общем по реактору.

Эрлифтные реакторы

В таких аппаратах достигается высокая степень контакта между газом и жидкостью. На рис. 64. показан эрлифтный аппарат с соосной барботажной трубой. Реактор состоит из двух частей – барботажной и циркуляционной.

Циркуляция жидкости в таких аппаратах объясняется разностью статистических давлений столба жидкости в циркуляционной, $\Delta P_{\text{ц}}$, и барботажной, $\Delta P_{\text{б}}$, частях: $\Delta P = \Delta P_{\text{ц}} - \Delta P_{\text{б}}$. На выходе из барботажной трубы газ отделяется от жидкости. Между барботажной и циркуляционной частями аппарата должна осуществляться сепарация газа. Для соосного эрлифтного аппарата при скорости жидкости в циркуляционной трубе 25 м/с сепарация происходит не полностью, газовые пузыри захватываются потоком жидкости и, попадая в циркуляционную часть, создают дополнительное гидравлическое сопротивление, в результате чего скорость циркуляции уменьшается.

На рис. 65 показан многосекционный эрлифтный аппарат.

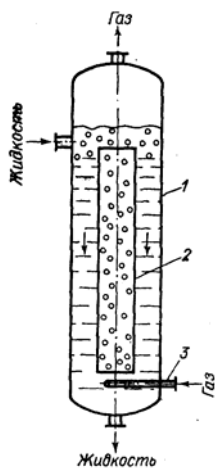


Рис. 64. Эрлифтный аппарат с соосной барботажной трубой:

1 – корпус аппарата, 2 – соосная труба,
3 – барботер

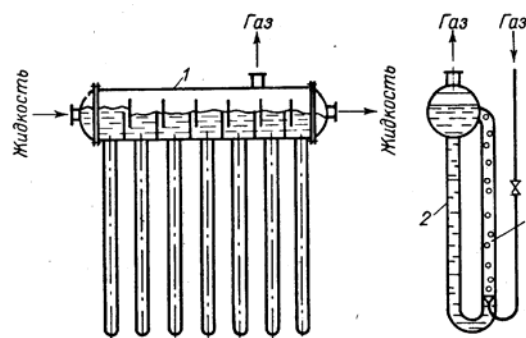


Рис. 65. Эрлифтный многосекционный аппарат:

1 – корпус аппарата, 2 – циркуляционная труба,
3 – барботажная труба

В каждой секции многосекционного аппарата имеются циркуляционная и барботажная трубы. Газ подводится в каждую секцию по отдельному трубопроводу. Жидкость выводится из верхней части секции и подается в нижнюю ее часть. Газ собирается в верхней части секционного барабана и выводится по общему трубопроводу. Подобные реакторы применяются для процессов жидкофазного окисления углеводородов. Кроме того, они могут использоваться для процессов, при которых в жидкой фазе протекает химическая реакция, и одновременно идет отгонка (или ректификация) образующегося продукта.

4.3. Реакторы для контактно-каталитических процессов

По состоянию катализатора такие реакторы делят на следующие группы: аппараты с неподвижным слоем катализатора, аппараты с движущимся слоем катализатора, аппараты с кипящим (псевдооживленным) слоем катализатора.

Реакторы с неподвижным слоем катализатора

Конструкция реактора с неподвижным слоем катализатора определяется главным образом способом подвода или отвода теплоты. По конструкции такие реакторы можно разделить на следующие группы:

- адиабатические аппараты без теплообмена в ходе процесса (конструктивно выполняется в виде шахтных или емкостных аппаратов);
- аппараты с делением слоя катализатора по сечению (конструктивно выполняется в виде трубчатых аппаратов с расположением катализатора в трубном межтрубном пространстве, а также в виде ретортных печей);
- аппараты с делением слоя катализатора по высоте на отдельные зоны (конструктивно выполняется в виде полочных аппаратов);
- комбинированные аппараты, представляющие собой сочетание в общем корпусе аппаратов выше упомянутых групп.

Аппараты шахтного (емкостного) типа

Примерами процессов, проводимых в аппаратах шахтного типа, являются: дегидрирование этилбензола в стирол, прямая гидратация этилена, дегидрирование бутиленов в дивинил.

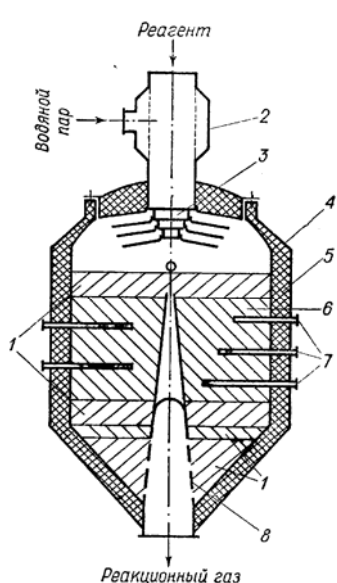


Рис. 66. Реактор для дегидрирования этилбензола в стирол:
1 – инертная насадка, 2 – смеситель газов, 3 – распределитель газов, 4 – корпус, 5 – футеровка, 6 – слой катализатора, 7 – гильзы для термомпар, 8 – перфорированный элемент

На рис. 66 показан реактор шахтного типа для дегидрирования этилбензола в стирол. Аппарат состоит из корпуса 4 с внутренней футеровкой, устройства для смешения этилбензола с водяным паром 2, распределителя 3 реакционной смеси по сечению аппарата. Для измерения температур реагентов в слое катализатора 6 введены термомпары 7. Для выравнивания потока реагентов служит слой инертной насадки. Вывод продуктов производится через конусный перфорированный элемент 8.

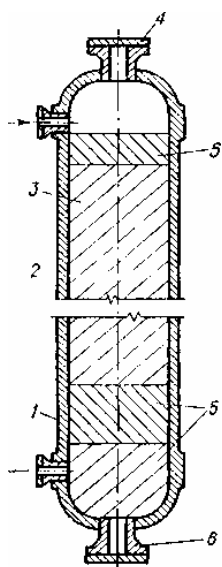


Рис. 67. Реактор для гидратации этилена:
1 – корпус, 2 – облицовка, 3 – слой катализатора, 4, 6 – люки для загрузки и выгрузки катализатора, соответственно, 5 – слой инертной насадки

Реактор гидратации этилена. Корпус аппарата (рис. 67) выполнен цельнокованым. Высота реактора 10 м. В аппарат засыпан катализатор (инертный носитель, пропитанный фосфорной кислотой) и кольца Рашига в качестве подпорного слоя. Объем катализатора 8 м^3 . Для защиты корпуса от действия фосфорной кислоты аппарат облицован внутри листовой медью (3 мм). В штуцеры вставлены втулки из нержавеющей стали. Аппараты могут изготавливаться с верхней и нижней крышками.

Возможность использования шахтного аппарата для этого процесса объясняется

малой степенью превращения этилена за один проход (меньше 5 %) и, соответственно, малым количеством выделяющейся теплоты. Температура на входе в реактор 280 °С, на выходе 300...315 °С, давление 8 МПа.

Контактный реактор для синтеза формальдегида

Реакция протекает по схеме:



Катализатором процесса является серебро, нанесенное на пемзу размером 3...5 мм. Количество серебра на носителе составляет 35...40 % от веса всей контактной массы.

На рис. 68 изображен контактный аппарат для синтеза формальдегида. Смесь воздуха и паров CH_3OH входит в верхнюю часть аппарата, проходит конусную часть 1, служащую для выравнивания скоростей газов по сечению аппарата, и поступает в слой катализатора 3, расположенный на инертной насадке 4, которая укладывается на сетке.

Газы в аппарат подаются при 100...110 °С. Температура в слое катализатора равна 600...750 °С. После выхода из слоя катализатора контактные газы необходимо быстро охладить для прекращения побочных реакций. Охлаждение контактных газов до 80...160 °С достигается во встроенном теплообменнике. Для компенсации температурных удлинений корпус теплообменника снабжен линзовым компенсатором.

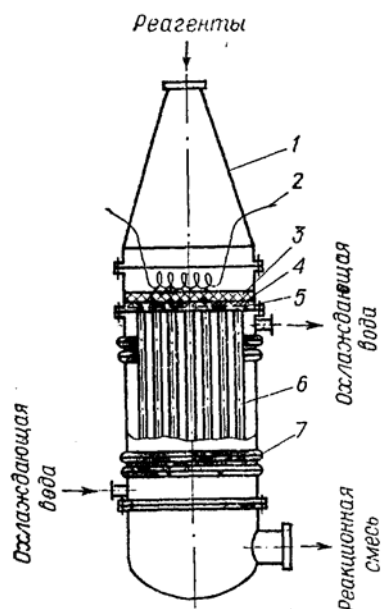


Рис. 68. Контактный аппарат для синтеза формальдегида:

- 1 – конусная часть, 2 – пусковая электроспираль, 3 – катализатор,
- 4 – инертная насадка (пемза),
- 5 – сетка, 6 – трубки, 7 – линзовый компенсатор

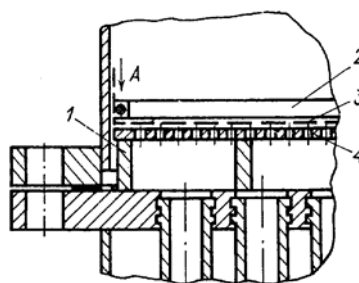


Рис. 69. Опорное устройство:

- 1 – колосник, 2 – разжимное кольцо,
- 3 – сетка, 4 – перфорированная плитка

Слой катализатора располагается на сетке с мелкой ячейкой. Непосредственная укладка сетки на трубную доску невозможна, так как необходимо отделить трубную часть аппарата, имеющую низкую температуру охлаждающей воды, от слоя катализатора с очень высокой температурой.

Общая высота аппарата – 6 м, высота слоя катализатора составляет всего 70 мм, высота слоя инертной пемзы – 30 мм. Высота трубок теплообменника 2,5 м. Диаметр реактора 1,6 м. Давление в нем 66,6 кПа.

В начальный период для пуска реактора включается электроспираль 2. Постепенно от тепла, выделяющегося при реакции, разогревается весь слой. После этого пусковая электроспираль выключается.

На рис. 69 показано опорное устройство для укладки слоя катализатора.

С этой целью на трубную решетку помещается литой колосник 1, на который накладывается перфорированная плита 4, имеющая большое количество малых отверстий диаметров 6...8 мм, и только потом укладывается сетка 3. Чтобы исключить прорыв газа около стенок аппарата, края сетки загибаются вверх и прижимаются к стенке с помощью разжимного кольца. Поскольку химическая реакция протекает очень быстро, высота слоя катализатора оказывается очень малой.

Трубчатые и ретортные аппараты

- Конструктивно реакторы этого типа могут быть выполнены в виде:
- трубчатого аппарата с охлаждающей рубашкой (аппарата кожухотрубного типа с размещением катализатора в трубках или в межтрубном пространстве);
- аппарата с двойными трубками, когда слой катализатора имеет кольцевое сечение;
- аппарата ретортного типа, когда слой катализатора имеет прямоугольное сечение.

Реактор типа «труба в трубе»

Примером такого реактора является аппарат для полимеризации пропанпропиленовой фракции. Аппарат состоит из отдельных секций (обычно 12),

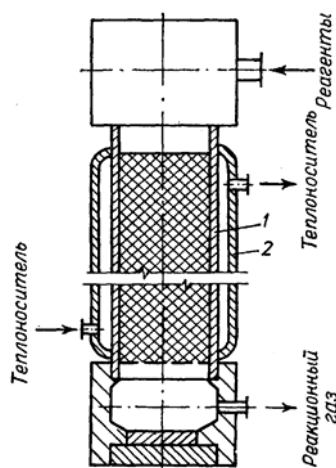


Рис. 70. Секция многотрубного аппарата типа «труба в трубе»:

1 – корпус, 2 – рубашка

работающих параллельно. На рис. 70 показана отдельная секция. Температура процесса 260 °С, давление 7 МПа. В качестве хладагента применяется кипящая вода под давлением, необходимым для получения требуемой температуры. При установке рубашек около каждой трубы появляется возможность использования рубашек меньшей толщины. Этим и объясняется применение аппарата типа

«труба в трубе». Внутренний диаметр реакционной трубы составляет 150 мм. Высота отдельного элемента равна 14 м.

Достоинством данного аппарата является в возможности применения хладагента высокого давления. Недостатком является малая производительность аппарата, большая занимаемая площадь, неудобства выгрузки катализатора.

Трубчатый контактный реактор для дегидрирования циклогексанола

Аппарат имеет concentric перегородки, обеспечивающие равномерный нагрев всех трубок, и сальник, выполняющий роль компенсатора температурных удлинений (рис. 71). Диаметр реактора – 1,8 м, высота 6,5 м, диаметр трубок – 57 мм. Процесс проводится при 450...460 °С и давлении 0,1 МПа.

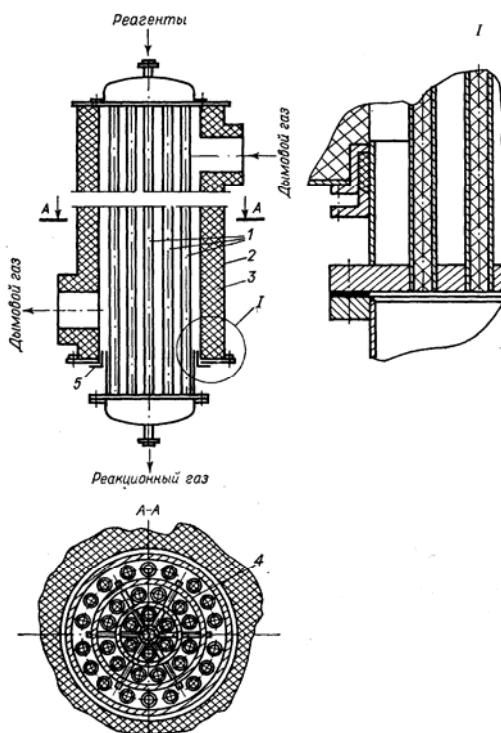


Рис. 71. Трубчатый контактный аппарат для дегидрирования циклогексанола:

1 – контактные трубки, 2 – корпус, 3 – футеровка, 4 – перегородка, 5 – сальник

Нагрев осуществляется дымовыми газами, требуемая температура которых (500 °С) достигается смешением топочных газов (1000...1100 °С) с отработанными газами.

Ретортная печь для синтеза дивинила

Ретортная печь (рис. 72), в которой объединены 24 реторты (имеются печи также на 16 и 30 и более реторт). Она предназначена для получения дивинила контактным разложением этилового спирта по способу С.В. Лебедева. Температура реакции 360...370 °С. Диаметр и высота реактора 6,5 м.

Основным элементом ретортной печи является реторта (рис. 73) прямоугольного сечения 800×1000 мм и высотой 5250 мм.

Особенность печи – размещение реторт в муфеле, теплота от стенок которого передается ретортам лучеиспусканием, в результате чего достигается более равномерный прогрев реторт, чем при пламенном обогреве.

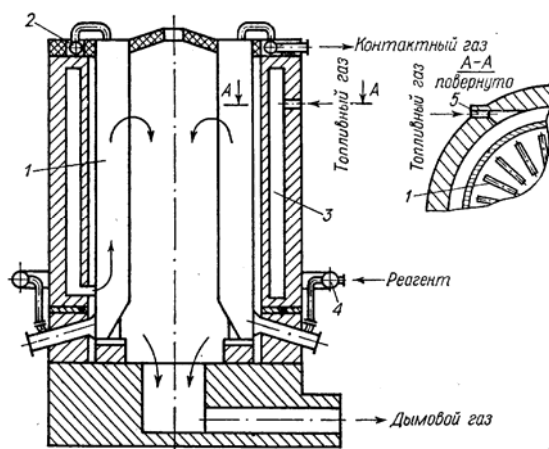


Рис. 72. Ретортная печь для синтеза дивинила:

1 – реторта, 2 – сборный коллектор на выходе продуктов, 3 – муфель, 4 – распределительный коллектор на входе реагентов, 5 – форсунка

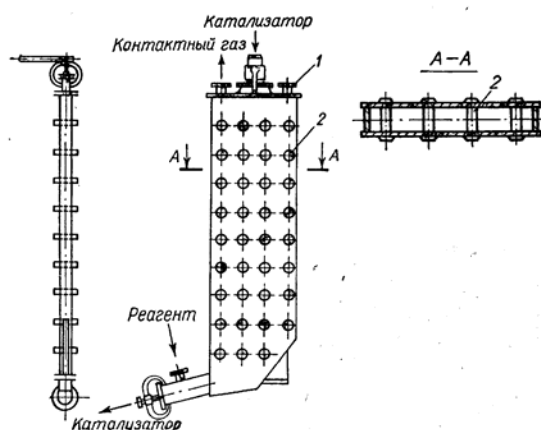


Рис. 73. Реторта:

1 – штуцер для гильзы термопары, 2 – тяги

Реакторы полочного типа

Деление слоя катализатора по высоте позволяет осуществить промежуточный подвод или отвод тепла по высоте слоя катализатора, подводить дополнительные количества реагентов или отводить конденсирующиеся продукты реакции.

На рис. 74 показан реактор синтеза метилового спирта. Диаметр реактора 0,8 м, высота 12 м. Реакция проводится под давлением 20...30 МПа при 400...420 °С. Полки с катализатором находятся внутри стакана, помещенного в корпус. Поступающие газы движутся в кольцевом зазоре между стаканами и корпусом, предохраняя последний от нагрева, а сами нагреваются до температуры реакции сначала в кольцевом пространстве между корпусом и

стаканом, затем во встроенном теплообменнике в нижней части аппарата (на рис. 64 не показан), и, наконец, в центральной трубе.

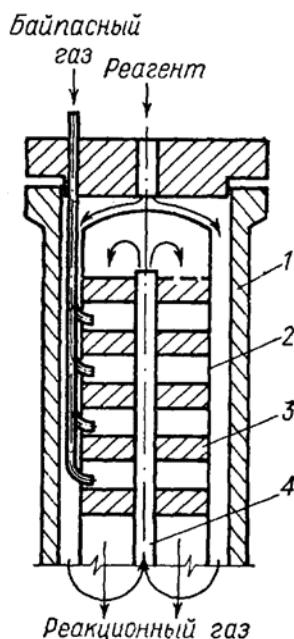


Рис. 74. Полочный реактор для синтеза метанола:
1 – корпус, 2 – стакан, 3 – полка с катализатором, 4 – центральная труба

Реакторы комбинированного типа

Примером аппарата комбинированного типа является контактный аппарат (рис. 75) для синтеза углеводородов из синтез-газа ($\text{CO} + \text{H}_2$). Реактор имеет прямоугольное сечение. Высота аппарата 2,5 м, размеры в плане 1,5×5,0 м. Слой

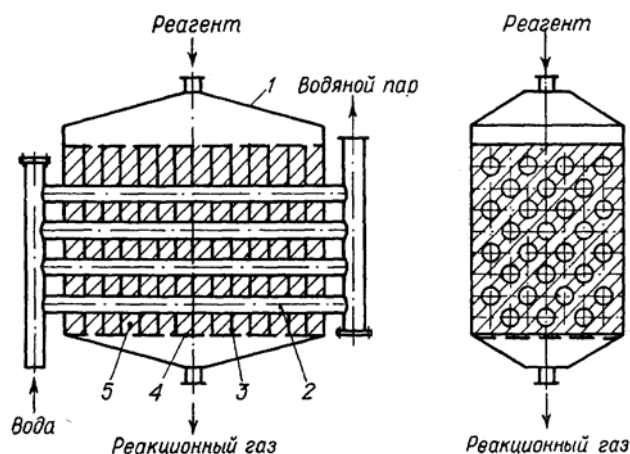


Рис. 75. Контактный аппарат для синтеза углеводородов из синтез-газа:
1 – корпус, 2 – трубка, 3 – пластина, 4 – ситчатое дно, 5 – катализатор

катализатора пронизывает 600 горизонтальных трубок диаметром 30 мм. В свою очередь трубы пропущены через вертикальные пластины прямоугольного сечения и приварены к ним. Толщина пластин 1,6 мм, расстояние между ними 7,4 мм.

В пространство между трубами и пластинами засыпается катализатор таким образом, что слой катализатора оказывается поделенным в сечении пластинами, а по высоте – трубами. Пластины и трубы служат для отвода тепла, выделяющегося при реакции. Теплопроводность металлических пластин выше, чем теплопроводность слоя катализатора, поэтому на больших удалениях от труб тепло от катализатора передается пластинам, а от пластин – трубам.

Процесс проводится при давлении 0,1 МПа и температуре 170 - 210 °С, тепло отводится водой, испаряющейся в трубках.

Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора

Следует заметить, что аппараты с неподвижным слоем катализатора имеют ряд недостатков, а именно: периодичность работы (во многих случаях) вследствие отложений на катализаторе и необходимости переключения на регенерацию; большие градиенты температур в сечении и по высоте слоя вследствие малой теплопроводности слоя; высокое гидравлическое сопротивление слоя катализатора; неустановившийся выход в результате падения активности катализатора по мере его дезактивации. Указанных недостатков в значительной мере лишены реакторы с псевдооживленным слоем катализатора.

При продувании потока газа через слой мелкодисперсного катализатора, когда напор, теряемый газом при прохождении через слой, станет равным весу катализатора, частицы приподнимаются потоком газа, доля пустот между ними увеличивается, и частицы получают возможность свободного хаотического перемещения в пределах слоя. Слой таких движущихся частиц напоминает кипящую жидкость, поэтому он и называется кипящим, или псевдооживленным, слоем мелкодисперсных частиц.

Каталитический крекинг, применяемый для переработки керосиновых и соляровых дистиллятов прямой перегонки нефти. Продуктами крекинга являются бензин, газ, газойлевые фракции. При крекинге образуется большое количество кокса (5...8 % от веса исходного сырья). Кокс откладывается на поверхности катализатора, снижая тем самым его активность. При осуществлении крекинга в неподвижном слое катализатора крекинг и регенерация осуществляются в одном аппарате. Эти операции чередуются часто. Крекинг, регенерация и вспомогательные операции длятся по 10 мин. Крекинг идет с поглощением, а регенерация – с выделением теплоты. Поэтому в аппарате необходимо устанавливать теплообменные поверхности двух видов: для подвода теплоты при крекинге и для отвода теплоты при регенерации. По этим причинам установки с неподвижным слоем являются неэкономичными, и развитие получили установки с псевдооживленным или движущимся слоем катализатора. Ниже рассмотрим схемы установок с псевдооживленным слоем катализатора.

Реактор и регенератор могут быть расположены параллельно, т.е. на одном уровне, оси их параллельны и необходим двукратный подъем катализатора – из реактора в регенератор и из регенератора в реактор. Возможно соосное расположение – регенератор размещается над реактором, оси их совпадают и необходим однократный подъем катализатора из реактора в регенератор, а из

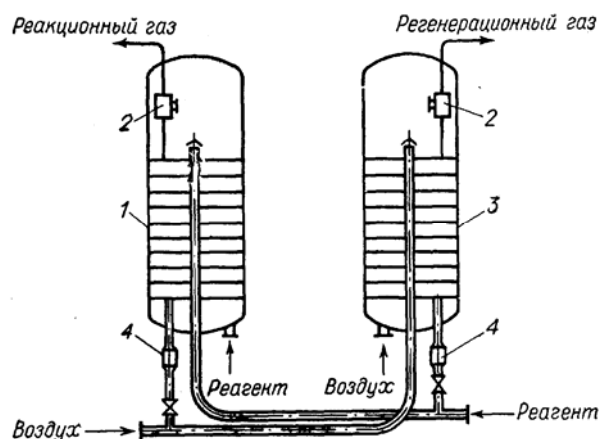


Рис. 76. Расположение реактора и регенератора на одном уровне:
 1 – реактор, 2 – циклоны, 3 – регенератор, 4 – отпарные секции

регенератора в реактор-катализатор поступает самотеком. Кроме того, можно применять одноаппаратные схемы, когда реакция и регенерация проводятся попеременно в одном и том же аппарате, т. е. аппарат выполняет роль реактора и регенератора. Такие схемы целесообразны, когда не требуется частая регенерация катализатора, например, для процессов окисления органических веществ кислородом воздуха. В этом случае наряду с реакцией непрерывно идет частичная регенерация катализатора, поскольку одним из реагентов является кислород воздуха.

На рис. 76 представлена схема установки для получения олефинов с расположением реактора и регенератора на одном уровне. Катализатор, циркулирующий между реактором и регенератором, подается в верхние части аппаратов по пневмотранспортным линиям, а выводится из нижних частей аппаратов. Для повышения селективности процесса аппараты разделены по высоте на ряд секций. Катализатор движется сверху вниз, проходя секции, образованные секционирующими тарелками провального типа. Сырье поступает в нижнюю часть реактора.

Часть сырья используется для транспорта катализатора из регенератора в реактор. В нижнюю часть регенератора подается воздух. Часть воздуха используется для транспорта катализатора из реактора в регенератор. В отпарные секции вводится перегретый водяной пар, либо дымовые газы, служащие для отдувки из пор катализатора углеводородов или кислорода.

Продукты и газы регенерации выводятся через систему двух или четырехступенчатых циклонов, служащих для улавливания частиц катализатора.

На рис. 77 показан совмещенный реакторно-регенераторный блок. При соосном расположении реактора и регенератора вместо двух пневмотранспортных линий с криволинейными участками имеется одна прямая труба. Криволинейные участки подвергаются более интенсивному эрозионному износу, чем прямолинейные. Кроме того, труба проходит внутри аппаратов, в результате чего отсутствуют потери теплоты при транспорте катализатора. Расположение регенератора на большой высоте усложняет его монтаж, обслуживание и ремонт.

Достоинства аппаратов с псевдоожиженным слоем катализатора: малый градиент температур; высокий коэффициент теплоотдачи от теплообменных поверхностей; малое гидравлическое сопротивление; подвижность слоя дает возможность организовать непрерывный процесс с постоянной циркуляцией катализатора. К недостаткам этих аппаратов следует отнести следующие: невозможность обеспечить высокую избирательность процессов, если не применять секционирования; существенная эрозия, которой подвергаются элементы аппаратов от псевдоожиженных твердых частиц при высокой температуре.

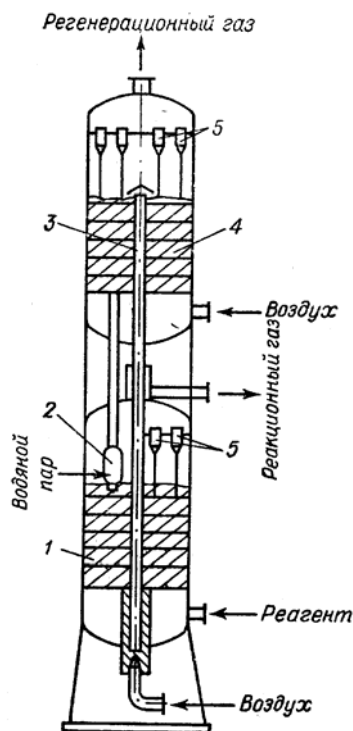


Рис. 77. Совмещенный реакторно-регенераторный блок:

1 – реактор; 2 – отпарная секция; 3 – пневмотранспортная труба; 4 – регенератор; 5 – циклоны

Реакторы с движущимся слоем гранулированного катализатора

На рис. 78 и рис. 79 представлены реакторы с движущимся катализатором.

Регенерированный катализатор из бункера 1 (рис. 78) по напорному трубопроводу 2 поступает в реактор 3. Сюда же вводится сырье прямогонные фракции нефти, керосиновые или тяжелые фракции процесса термического крекинга. Сырье и катализатор движется сверху вниз прямотоком. Продукты крекинга выводятся через газосборные трубы. Из нижней части реактора отводится катализатор, с поверхности которого углеводороды предварительно были десорбированы водяным паром.

Продукты крекинга и водяной пар поступают затем на ректификацию. Закоксованный катализатор подается в дозер 4 и подогретым воздухом по пневмоподъемнику 5 транспортируется в сепаратор 9, откуда по катализаторопроводу ссылается в бункер регенератора. Воздух, отделившийся от катализатора, очищается от пыли в циклонах и выбрасывается в атмосферу. В

регенераторе *б* осуществляется выжиг кокса. Регенератор имеет от 9 до 14 зон регенерации. Каждая зона снабжена воздушным коллектором и воздухораспределительными коробами, газосборными коробами и газосборным коллектором. Таким образом, подача воздуха осуществляется в каждую зону воздуходувкой и в каждой зоне слой катализатора ограничивается снизу воздухораспределительными коробами, а сверху – газосборными коробами. В верхних зонах выделяющаяся теплота идет на нагрев катализатора, а в нижних зонах для исключения перегрева катализатора монтируются змеевики водяного охлаждения. Максимальная температура регенерации равна 700 °С, при более высокой температуре катализатор оплавляется. Газы регенерации (окись и двуокись углерода, водяной пар) выводятся в атмосферу через дымовую трубу.

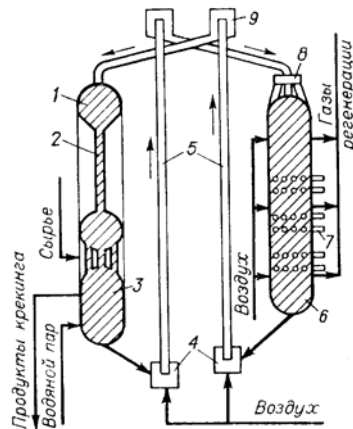


Рис. 78. Схема установки с движущимся катализатором:

- 1 – бункер; 2 – напорный трубопровод; 3 – реактор; 4 – дозер; 5 – пневмоподъемник;
6 – регенератор; 7 – змеевик водяного охлаждения; 8 – бункер – распределитель; 9 – сепаратор

Регенерированный катализатор через дозер, пневмоподъемник и сепаратор передается в реактор.

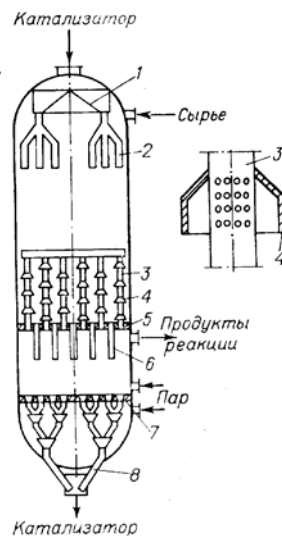


Рис. 79. Реактор с движущимся катализатором:

- 1 – конус; 2 – распределительные трубы; 3 – газосборная труба; 4 – колпачок; 5 – трубная решетка; 6 – переточная труба; 7 – решетка; 8 – катализаторопровод

Для равномерного распределения катализатора по сечению в верхней части реактора (рис. 79) смонтировано выравнивающее устройство, состоящее из

конуса 1 и распределительных труб 2, равномерно размещенных по окружности. В пространство между трубами вводятся пары сырья, подогретого в трубчатой печи до 450...500 °С. Продолжительность пребывания катализатора в реакционной зоне около 30 мин.

Отделение продуктов крекинга от катализатора осуществляется в газо-выводном устройстве, состоящем из вертикальных труб с колпачками.

В трубе под колпачками просверлены отверстия, суммарная площадь которых подбирается так, чтобы исключить вынос парами мелких частиц катализатора, которые будут забивать ректификационные колонны. По трубам продукты реакции опускаются в пространство под трубной решеткой, откуда выводятся на дальнейшее разделение. В трубную решетку вмонтированы переточные трубы, по которым катализатор опускается в отпарную зону для удаления перегретым водяным паром адсорбированных катализатором углеводородов. Продолжительность отпарки 6...8 мин.

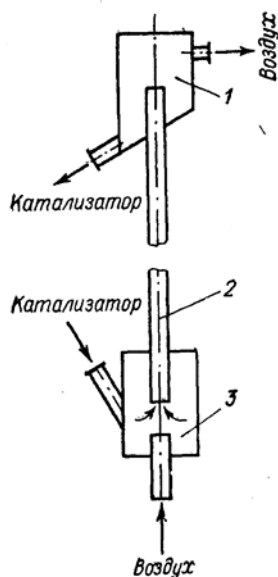


Рис. 80. Схема пневмотранспорта:
1 — сепаратор; 2 — пневмотранспортная труба; 3 — дозатор

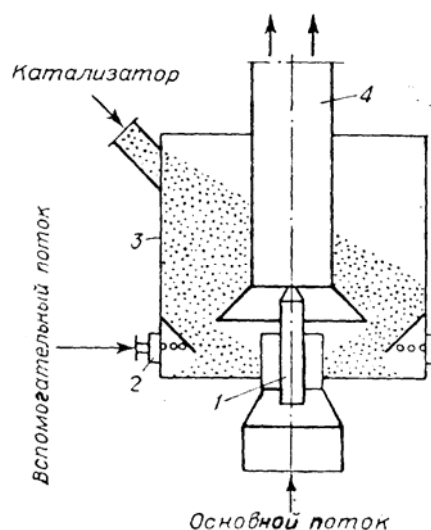


Рис. 81. Дозер:
1 — выравниватель; 2 — кольцевой распределитель; 3 — корпус дозора; 4 — пневмоподъемник

Для равномерного отвода катализатора в нижней части реактора смонтировано выравнивающее устройство, состоящее из решетки 7 и катализаторопроводов 6. Катализаторопроводы (64 шт.) диаметром 108 мм, соединяясь между собой, переходят на выходе из реактора в катализаторопровод диаметром 300 мм. Циркуляция катализатора необходима для поддержания определенного уровня его активности в реакторе с движущимся или псевдооживленным слоем. Работа установок зависит от способа транспорта катализатора. Наиболее широко распространен транспорт в разреженной фазе. Система транспорта состоит из дозатора, пневмотранспортной трубы и сепаратора (рис. 80).

Дозер (рис. 81) предназначен для смешения катализатора с транспортирующим газом и регулирования количества циркулирующего

катализатора. Основной поток воздуха, нагретого смешением с дымовым газом до 550 °С, равномерно распределяется по сечению пневмоподъемника с помощью выравнивателя – конусной вставки.

Вспомогательный поток воздуха (20 % общего расхода) захватывает частицы шарикового катализатора и направляет их при псевдоожижении к выходному отверстию пневмоподъемника, где они подхватываются основным потоком воздуха и транспортируются вверх. Изменением расхода воздуха во вспомогательном потоке можно регулировать расход катализатора. Объемная концентрация катализатора в пневмоподъемнике 2...4 %. Скорость витания шарикового катализатора 9...11 м/с. Для обеспечения скорости движения частиц катализатора, равной 15 м/с, скорость воздуха в пневмоподъемнике должна составлять 19...22 м/с. При более высоких скоростях возрастает износ катализатора.

4.4. Реакторы высокого давления

К реакторам высокого давления условно относят аппаратуру, работающую под давлением свыше 10 МПа. Такие реакторы применяют в производствах мочевины, метанола, искусственного жидкого топлива и т.д.

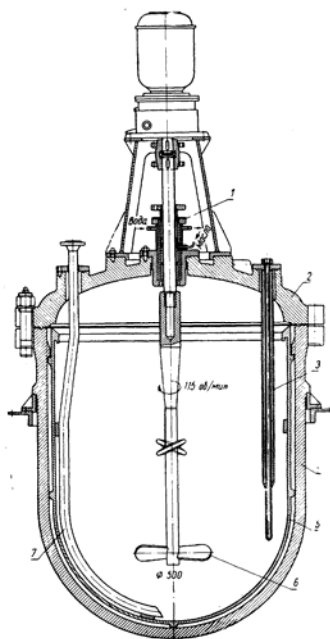


Рис. 82. Автоклав литой:

1 – сальниковое уплотнение; 2 – крышка; 3 – гильза для термометра; 4 – корпус автоклава; 5 – вкладыш из кислотостойкой стали; 6 – мешалка; 7 – труба передавливания

Проектирование и изготовление аппаратов высокого давления является делом весьма ответственным. По конструкции реакторы высокого давления делятся на две группы: автоклавы – аппараты с перемешивающим устройством; колонные аппараты для проведения непрерывных процессов.

На рис. 82 показан литой автоклав. Он имеет емкость 3 м, рассчитан на давление 7,5 МПа и предназначен для работы с коррозионно-активными веществами. В данной конструкции в корпус автоклава вставлен вкладыш из кислотостойкой стали. Аппарат снабжен тяжелыми фланцами, в которых для

облегчения, сборки вместо отверстий для болтов сделаны прорези, куда вставляют болты с *T*-образной головкой.

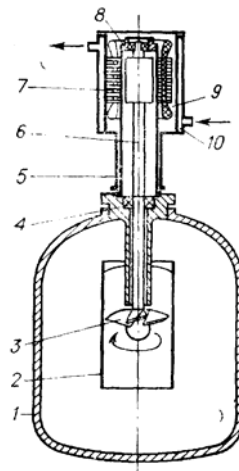


Рис. 83. Реактор с герметичным электроприводом:
 1 – корпус; 2 – диффузор; 3 – мешалка; 4 – подшипник; 5 – горловина; 6 – ротор;
 7 – статор; 8 – гильза; 9 – масляная ванна; 10 – водяная рубашка

Автоклавы изготавливаются литыми со сферическими днищами. Герметичное соединение крышки с корпусом автоклава достигается с помощью байонетного затвора или фланцевого соединения типа «шип – паз». Для затягивания болтов применяются гайковерты с электро- или пневмоприводом. При давлениях более 100 МПа рекомендуется применять бессальниковый герметичный привод (рис. 83.).

В этом случае ротор электродвигателя крепят непосредственно на вал мешалки. Его отделяют от статора защитной гильзой и приводят в движение вращающимся магнитным полем статора.

На рис. 84 и рис. 85 показаны корпуса аппаратов высокого давления.

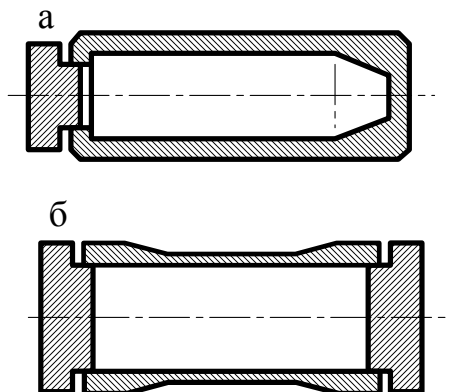


Рис. 84. Корпуса аппаратов высокого давления:
 а – тип ГД; б – тип ЦЦ

Колонны реакторов имеют небольшой диаметр (0,6...1,2 м) и большую высоту (10...18 м). Малый диаметр аппарата позволяет легче выдерживать давление (поскольку усилие, возникающее в металле корпуса, пропорционально диаметру) и облегчает уплотнение (так как уменьшает его периметр). Корпус колонного аппарата изготавливается кованным из цельной стальной отливки. Фланцы колонн отковываются в месте с корпусом. Металл из центральной части

отливки удаляется прошивкой. Кроме кованных корпусов, используются сварные и оплеточные корпуса. Более экономичны многослойные корпуса (рис. 85.), которые дешевле цельнокованных на 25...30 %. Многослойный корпус имеет внутреннюю гильзу из коррозионностойкой стали и несколько слоев углеродистой стали.

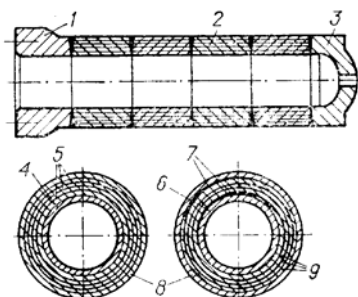


Рис. 85. Многослойный аппарат:

1 – фланец; 2 – царга; 3 – днище; 4, 6 – внутренняя обечайка; 5 – концентрические слои; 7 – клиновидные вставки; 8 – кожух; 9 – спиральные слои

Уплотнения реакторов высокого давления должны быть надежны в работе. Применяются уплотнения следующих видов: с мягкими металлическими прокладками прямоугольного, треугольного или овального сечений; конусные и двухконусные; с упругим металлическим кольцом.

В качестве прокладок используется медь, алюминий, мягкое железо. При соединении трубопроводов используется линзовое уплотнение. На рис. 86 и рис. 87 показаны затворы с принудительным уплотнением и самоуплотняющиеся затворы соответственно.

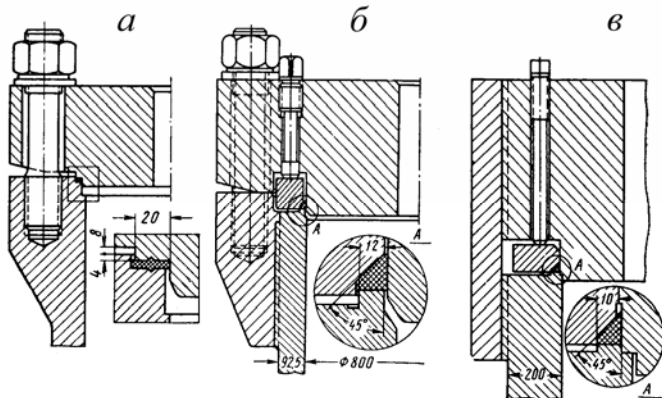


Рис. 86. Затворы с принудительным уплотнением:

a – с плоским obtюратором и уплотнением «в замок»;
б – с треугольным obtюратором и прижимным кольцом; *в* – с разъемной муфтой

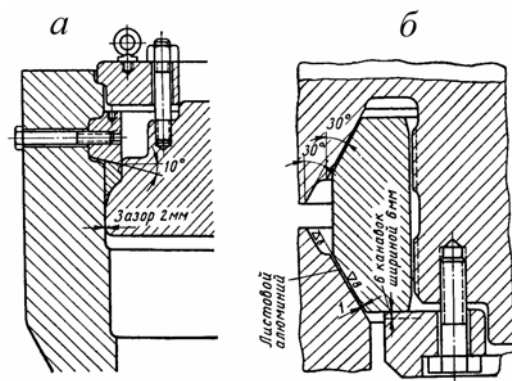


Рис. 87. Самоуплотняющиеся затворы:

a – затвор со стальным упругим кольцом;
б – затвор с двухконусным уплотнением

4.5. Реакторы для проведения высокотемпературных химических процессов

В химической технологии ОС печи применяются для осуществления процессов пиролиза и термкрекинга нефтяных фракций, попутных газов нефтепереработки и природных газов с целью получения олефинов. Аппараты для термических процессов могут быть разбиты на следующие группы: трубчатые печи, аппараты окислительного пиролиза, аппараты плазменного типа, печи для получения сажи.

Трубчатые печи

Трубчатые печи применяются в качестве нагревательных устройств и термических реакторов. Время пребывания в трубчатых печах составляет 0,5...8,5 с. Оптимальная массовая скорость газов составляет 130...160 кг/(м·ч). При увеличении времени пребывания усиливается образование кокса.

Конструктивно трубчатая печь состоит из двух камер – радиантной и конвекционной. В конвекционной камере, служащей для подогрева сырья, 65 % всей теплоты передается конвекцией и 35 % излучением от дымовых газов. Радиантная камера практически выполняет функцию реакционной части печи. В ней 90 % теплоты передается излучением, 10 % – конвекцией.

На рис. 88 представлена однокамерная трубчатая печь одностороннего облучения. Сырье последовательно проходит конвекционную и радиантную камеры, противотоком движутся дымовые газы. Факел имеет температуру 1300–1600 °С, дымовые газы на входе в конвекционную камеру – 700...800 °С, выходящий из конвекционной камеры газ – 350...500 °С.

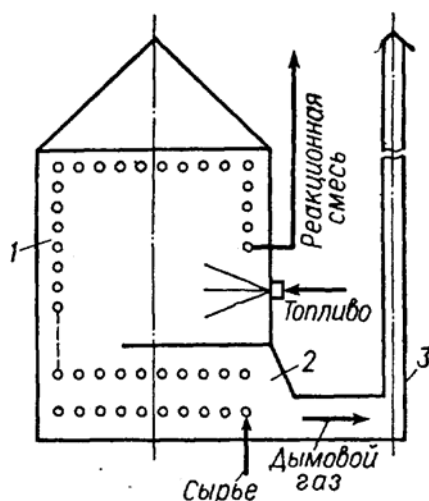


Рис. 88. Однокамерная трубчатая печь:

1 – радиантная камера, 2 – конвекционная камера, 3 – дымовая труба

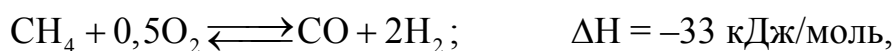
Основным элементом печи является трубчатый змеевик, состоящий из труб длиной 6, 12, 18 м и соединительных элементов. Чем длиннее трубы, тем ниже гидравлическое сопротивление печи и меньше сварных швов, являющихся слабым местом трубчатого змеевика.

Трубы могут быть из углеродистых сталей 10 и 20, из низколегированных сталей типа Х5М и из высоколегированных сталей Х18Н9Т, Х23Н18, Х25Н20 и т.д. Диаметр труб 60–200 мм.

Реакторы окислительного пиролиза

Окислительный пиролиз проводится в присутствии кислорода, который служит для получения необходимой температуры (1400...1600 °С) за счет частичного сжигания углеводородов. При этом протекают следующие реакции:





Аппарат для окислительного пиролиза представлен на рис. 89. Он имеет зону смешения, в которой происходит смешивание метана с кислородом, реакционную зону и зону заделки реакционных газов. Зона смешения отделена от зоны реакции огнепреградительной решеткой толщиной 200...500 мм и с отверстиями диаметром 8...10 мм. Длина реакционной зоны составляет всего 150 мм. В конце ее продукты встречаются с потоками воды, разбрызгиваемой форсунками. Вследствие этого температура газов резко снижается и дальнейший процесс разложения углеводородов прекращается.

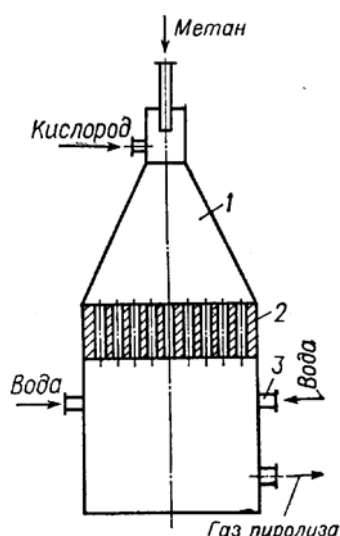


Рис. 89. Реактор окислительного пиролиза:

1 – зона смешения; 2 – огнепреградительная решетка; 3 – форсунка

При скорости газов 50 м/с и длине реакционной зоны 150 мм время реакции, составит $\tau = \frac{0,15}{50} = 0,003$ с. Это оптимальное время контакта, так как с

возрастанием τ увеличивается распад ацетилена на водород и сажу. Давление в реакторе 30...40 кПа. Температура реагентов на входе в аппарат 600 °С, в зоне реакции – 1500 °С. После заделки газы имеют температуру 80 °С. Недостатком процесса является необходимость использования чистого кислорода, сжигание части сырья.

Печь для получения сажи

Сажа применяется в резиновой, лакокрасочной, полиграфической и других областях промышленности. В качестве сырья для производства сажи используется масла нефтяного и коксохимического происхождения.

На рис. 90 показана конструкция печи для получения сажи. Температура, необходимая для проведения процесса, обеспечивается сжиганием природного газа в камере горения. Сюда же впрыскивается подогретое сырье.

Распыленное сырье получает теплоту горячего газа излучением, испаряется и воспламеняется, но не сгорает полностью. Пройдя участок

диффузионного горения, оно разлагается в реакционной камере. Диаметр реакционной камеры 0,3...1,5 м, длина 3...15 м. Процесс ведется при 1300...1500 °С и 30 кПа в течение 0,05 с. Закалка газов осуществляется впрыскиванием воды, в результате чего температура снижается до 700 °С и процесс прекращается.

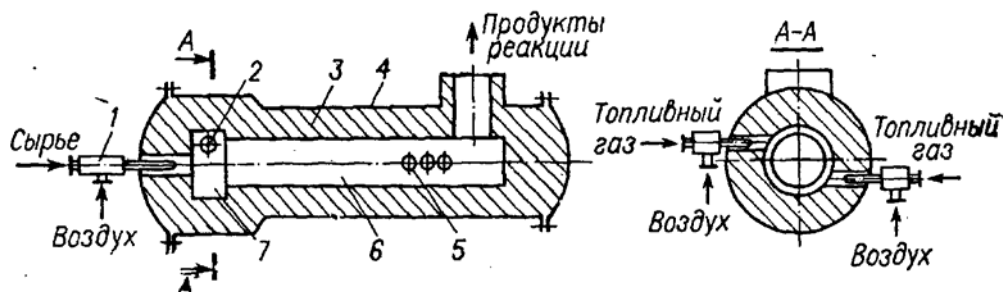


Рис. 90. Печь для получения сажи:

1 – форсунка для распыления сырья; 2 – форсунка для сжигания газа; 3 – футеровка; 4 – металлический корпус; 5 – форсунка для впрыска воды; 6 – реакционная труба; 7 – камера реакции

5. Машины для перемещения газов и жидкостей

Выбор поршневых компрессоров производится на основании следующих данных: производительности при условиях всасывания, давления после нагнетательного патрубка, максимально допустимой температуры сжатия, требуемых пределов регулирования производительности и других.

Поршневые компрессоры находят широкое применение на тех технологических установках, где сравнительно небольшое количество газов (3000...8300 м³/ч) компримируется до высоких давлений. При выборе компрессора и включения его в проект придерживаются такой



Рис. 91. Поршневой компрессор для производства полиэтилена

последовательности. Из заводских каталогов и проспектов выписывают марки машин, производительность которых равна или несколько выше требуемой, а также данные о составах компримируемых газов.

Поршневые компрессоры для производства полиэтилена применяются для сжатия этилена в технологических линиях типа «Полимир» производства полиэтилена низкой плотности методом высокого давления (рис. 91).

Компрессоры свежего этилена (I каскад) изготавливаются на оппозитной базе 4M16 в трехступенчатом исполнении с электроприводом, обеспечивающим плавное регулирование производительности изменением частоты вращения от 100 до 320 об/мин.

Компрессоры реакционного давления (II каскад) изготавливаются на оппозитной базе 4M40 с гидромеханической передачей движения от кривошипно-шатунного механизма рабочим органам цилиндров обеих ступеней.

Смазка механизма движения – циркуляционная под давлением от насоса. Смазка цилиндров и уплотнительных устройств штоков – принудительная под давлением от многоплунжерных насосов. Охлаждение – водяное с закрытым сливом. Технические характеристики компрессоров приведены в табл. 4

Автоматизированная система контроля, управления и защиты обеспечивает дистанционный программный пуск и останов компрессора, предупредительную и аварийную сигнализацию, а также блокировку приводного электродвигателя при отклонении параметров от заданных значений.

Таблица 4

Технические характеристики поршневых компрессоров

Марка компрессора	Сжимаемая среда	Производительность		Давление абс., МПа		Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, м	Масса без эл. двигателя, т
		м ³ /мин	нм ³ /мин	всасывания	нагнетания			
4ГМ16-12,5/17-281	Этилен	11,70	134	1,13	31,30	870	31,2x12,7x5,95	81
4ГМ16-14/14-281	Этилен	13,86	164	1,37	27,50	1150	21,4x11,7x6,2	66
4ГМ40-1,2/250-2500	Этилен	1,21	260	24,50	245,00	4300	31,8x19,2x8,1	191

Примечание: габаритные размеры указаны с учетом привода, межступенчатой аппаратуры и трубопроводов

Остановив выбор на нескольких машинах, подбирают о них в отделе оборудования более подробную информацию, включающую полную техническую характеристику компрессора и электропривода, установочные чертежи, общий вид, схемы межступенчатой обвязки, схемы маслопровода, схемы систем охлаждения, описание компрессора, его отдельных узлов и материалов, из которых они изготовлены, перечень комплектного оборудования и приборов.

При выборе центробежного компрессора необходимо знать производительность в условиях всасывания, начальное и конечное давление и другие характеристики.

Ротационные и винтовые компрессоры. Сжатие газов в этих машинах основано на том же принципе, что и в поршневых компрессорах, однако они имеют ряд преимуществ: отсутствие деталей с большой массой, они не нуждаются в смазке цилиндров. Основными недостатками таких машин следует считать более низкий по сравнению с поршневыми компрессорами к.п.д. и

относительную сложность их изготовления. Выбор таких компрессоров производится также как и поршневых компрессоров.

Вихревые насосы (рис. 92) предназначены для перекачивания воды,

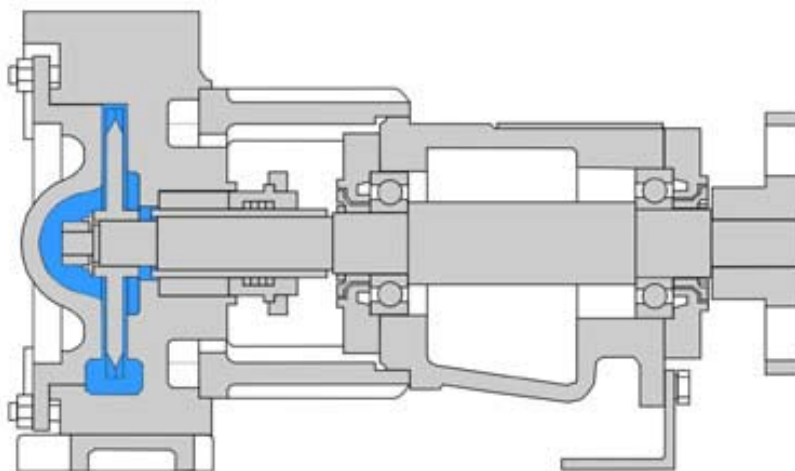


Рис. 92. Схема вихревого насоса

нейтральных, химически активных жидкостей, вязкостью до 36 сСт, температурой до 85 °С, с содержанием твердых включений до 0,01 % по массе, размером до 0,05 мм. Область применения вихревых насосов: химическая промышленность, промышленное и коммунальное водоснабжение. Характеристики насосов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Технические характеристики вихревых насосов

Марка насоса	Подача, м ³ /час	Напор, м	Частота вращения (синхр.), об/мин	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса насоса, кг
ВК 2/26-Д	7,2	26	1500	5,5	440x220x255	47,5
ВКС 2/26-Д5	7,2	26	1500	5,5	440x220x375	48,5

Консольные химические насосы предназначены для перекачивания химически активных и нейтральных сред с водородным показателем $pH = 4...9$ и температурой до 165 °С. Насосы, проточная часть которых изготовлена из титана, предназначены для перекачивания жидкостей с водородным показателем $pH = 2$. Консольные химические насосы применяются в химической, пищевой, нефтеперерабатывающей промышленности.

Центробежные консольные одноступенчатые химические насосы с горизонтальным расположением вала с односторонним осевым подводом жидкости к рабочему колесу и вертикальным отводом. Конструкция колеса обеспечивает максимально возможную разгрузку ротора насоса от осевой силы. Осевая сила, возникающая по мере износа, компенсируется опорным узлом. Опорами служат подшипники качения. Уплотнение вала – торцевое или с мягкой сальниковой набивкой. Насосный агрегат может быть укомплектован любым электродвигателем, параметры и исполнение которого соответствуют условиям эксплуатации. Смазка подшипников – жидкая или консистентная. В насосах с

жидкой смазкой поддержание уровня масла в картере опорного узла обеспечивается масленкой постоянного уровня.

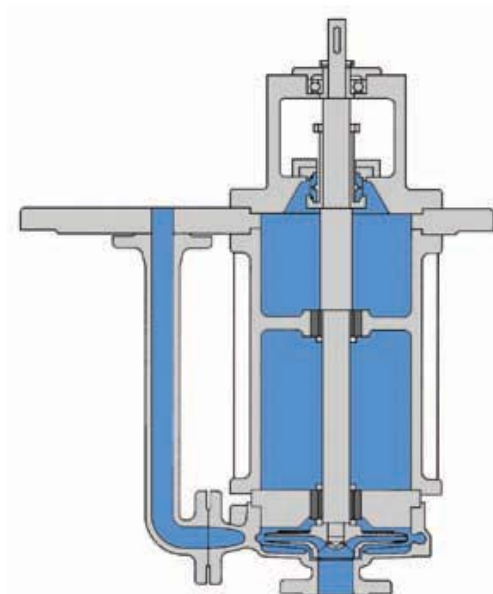


Рис. 93. Схема погружного насоса

Погружные насосы (рис. 93) предназначены для откачивания химически активных, нейтральных жидкостей и нефтепродуктов из прямых емкостей. Характеристики насосов представлены в табл. 6

Таблица 6.

Технические характеристики погружных насосов

Марка насоса	Подача, м ³ /час	Напор, м	Частота вращения (синхр.), об/мин	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса насоса, кг
ХИО 45-90К-Щ	45	90	2900	55	3775 x 895 x 628	1245
ХПВ 80-50-200Д	50	46	3000	15	3220 x 920 x 2600	272
					3220 x 920 x 3000	291
ХПЕ 80-50-200Д-55	50	46	3000	15	3370 x 920 x 3000	320

Водокольцевые вакуумные насосы (рис. 94) предназначены, в зависимости от материала проточной части, для отсасывания (создания вакуума) воздуха,



Рис. 94. Водокольцевые вакуумные насосы

инертных или агрессивных газов, нерастворимых в воде. Область применения: химическая, горно-металлургическая, угольная, пищевая, целлюлозно-бумажная

промышленность, сельское хозяйство, строительство и медицина. Зазоры между вращающимся ротором и неподвижным корпусом уплотнены водяным кольцом. Простота конструкции, отсутствие трущихся пар в проточной части обеспечивают надежность и долговечность работы насоса.

Выбор насосов. При выборе насоса любого типа нужно знать его рабочую производительность, давление нагнетания, наличие подпора или предполагаемую высоту всасывания, количество и размер взвешенных частиц, пределы регулирования производительности, коррозионные свойства перекачиваемой жидкости, ее токсичность и взрывоопасность, температуру кипения перекачиваемой жидкости при давлении всасывания, температуру жидкости, ее удельный вес и вязкость при рабочих условиях.

Порядок выбора насосов и выдачи задания на разработку новых типов тот же, что и для компрессоров.

6. Трубопроводные системы

Трубопроводные системы включают в себя: трубы и их фасонные части, детали для соединения и крепления трубопроводов, компенсаторы температурных удлинений. Ниже будут рассмотрены элементы трубопроводной системы.

6.1. Трубы и их фасонные части

Трубы являются основной частью трубопроводов. Их изготавливают из стали, чугуна, цветных металлов, стекла, керамики, фарфора, полимеров. Наиболее широкое применение все же находят стальные трубы. Стальные трубы бывают сварными и бесшовными. Сварные имеют продольный или спиральный шов, поэтому они менее надежны в работе. К этим трубам относятся водо-газопроводные и электросварные. Водо-газопроводные трубы применяются для воды, сжатого воздуха, газа, пара низкого давления и других нейтральных сред при температуре от -15 до $+200$ °С. Они выпускаются для давлений до 1 МПа (обыкновенные) и до 1,6 МПа (усиленные).

Бесшовные трубы более надежны. Они используются для транспортировки разнообразных продуктов, в том числе взрывоопасных, ядовитых и корродирующих веществ при температуре от -180 до $+800$ °С и давлением до 200 МПа. Их изготавливают из сталей различных марок (Ст.10, Ст.20, 12МХ, 15ХМ, Х18Н10 Т и т.д.).

При проектировании к трубопроводам предъявляются следующие требования:

- надежность и минимум расчетных затрат,
- унификация узлов и деталей,
- быстрое включение в работу,
- уменьшение тепловых потерь в трубах,
- снижение шумовых эффектов,
- уменьшение длины труб и соответственно гидравлических сопротивлений.

Выбор труб и определение их диаметра проводится в следующей последовательности. Вначале собирают исходные данные, такие как рабочие параметры процесса (температура и давление), параметры транспортируемой среды (часовой расход, вязкость, плотность), сведения о коррозионных, токсических и пожарных свойствах внешней и транспортируемой среды, назначение рассчитываемого участка трубопровода и технологические требования, предъявляемые к материалу труб.

После этого выбирают материал труб. Выбор зависит от условного давления, химической агрессивности транспортируемой среды и т.д. При наличии нескольких видов материала, годных для изготовления трубопровода, предпочтение отдают наиболее дешевому и наименее дефицитному.

После этого переходят к гидравлическому расчету трубопровода. Основной целью такого расчета является определение диаметра трубопровода при условии постоянства расхода жидкости или газа, либо определение диаметров отдельных участков с разным часовым расходом. Одновременно определяют потери напора на отдельных участках. Приблизительно диаметр трубопровода определяют, задаваясь скоростью или допустимыми потерями напора. Эти величины связаны с диаметром соотношения вида:

$$w_{\text{доп}} = \frac{4 \cdot V_{\text{сек}}}{\pi \cdot D^2}, \quad h_{\text{доп}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_s} + \sum \xi_i \right) \cdot \frac{8 \cdot V_{\text{сек}}^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g},$$

где $V_{\text{сек}}$ – секундный расход, м³/с; $w_{\text{доп}}$ – допустимая скорость, м/с; $h_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напора, м; ξ_i – коэффициент местных сопротивлений; D – диаметр трубопровода, м.

Таким образом, рабочее проектирование сводится к подбору соответствующих элементов системы по действующим стандартам и нормам. Трубы соединяются между собой и с арматурой. Их окрашивают в зависимости от назначения в определенный цвет (табл. 7).

Таблица 7

Цвета окраски трубопроводов

Материальный поток	Цвет окраски
Вода производственная	Черный без полос
Азот	Черный с коричневыми полосами
Вакуум	Белый с желтыми полосами
Вода горячая	Зеленый с красными полосами
Водород	Темно-зеленый
Воздух сжатый	Синий
Канализация	Черный с желтыми полосами
Кислоты крепкие	Красный с белыми полосами
Кислоты разбавленные	Красный с двумя белыми полосами
Пар насыщенный	Красный с желтыми полосами
Хлор	Защитный с зелеными полосами
Щелочи крепкие	Вишневый без полос
Щелочи разбавленные	Вишневый с белыми полосами

Трубные соединения делятся на разъемные и неразъемные. К неразъемным относятся соединения пайкой, сваркой и склеиванием. Стальные, алюминиевые, свинцовые и титановые трубы чаще всего соединяются сваркой в стык (рис. 95). Трубы из цветных металлов, их сплавов и пластмасс

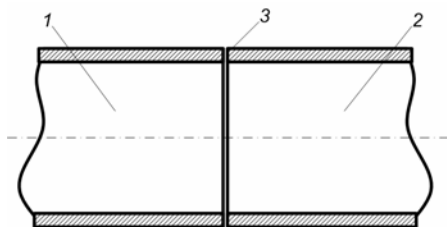


Рис. 95. Соединение труб встык
1,2 – трубы; 3 – сварной шов

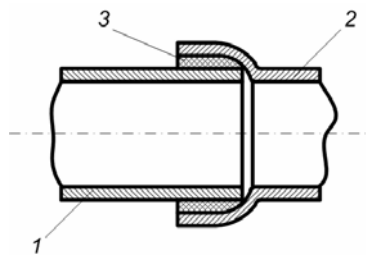


Рис. 96. Раструбное соединение:
1,2 – трубы; 3 – набивка

соединяются пайкой внахлест или склеиваются с помощью подвижных муфт. Для чугунных, керамических, гранитовых труб используют раструбные соединения (рис. 96). Раструбное соединение относится к разъемным

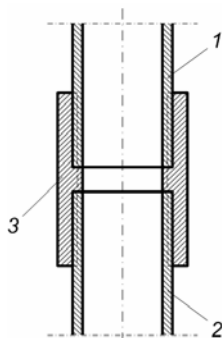


Рис. 97. Резьбовое соединение:
1,2 – трубы; 3 – муфта

соединениям. Оно может быть разобрано путем разрушения элементов, заполняющих раструбы. Гладкий конец одной трубы вставляется в раструб другой. Кольцевое пространство заполняется пеньковой прядью, а затем увлажненным цементом.

Резьбовое соединение применяется для стальных труб, но иногда и для винипластовых (рис. 97). Наиболее распространенным разъемным соединением

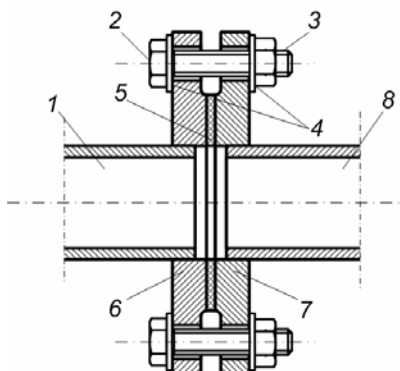


Рис. 98. Фланцевое соединение:
1,8 – трубы; 2 – болт; 3 – гайка; 4 – шайба; 5 – прокладка; 6, 7 – фланцы

труб является фланцевое (рис. 98). Конструкция фланцев меняется в

зависимости от материала трубы, рабочего давления в трубопроводе, температуры рабочей среды и от других факторов.

Для соединения отдельных отрезков труб или при переходе с одного диаметра на другой используют фасонные части (рис. 99). К ним относятся: отвод (*a*), колено (*б*), двойник (*в*), тройник (*г*), крестовина (*д*), переход (*e*).

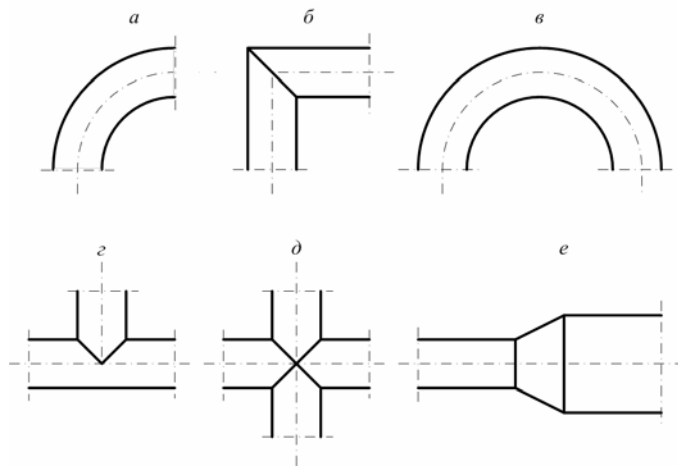


Рис. 99. Фасонные части трубопроводов

Колена, отводы и угольники применяют для изменения направления трубопровода, переходы – для соединения труб разного диаметра, а тройники и крестовина – для создания одного или двух ответвлений. Соединяемые части изготовляют путем гнутья труб или сварки заготовок из листового материала или отрезков труб.

Поскольку трубопроводы подвержены колебаниям температуры в зависимости от времени года, температуры среды и состояния теплоизоляции, то для компенсации температурных удлинений в трубопроводе

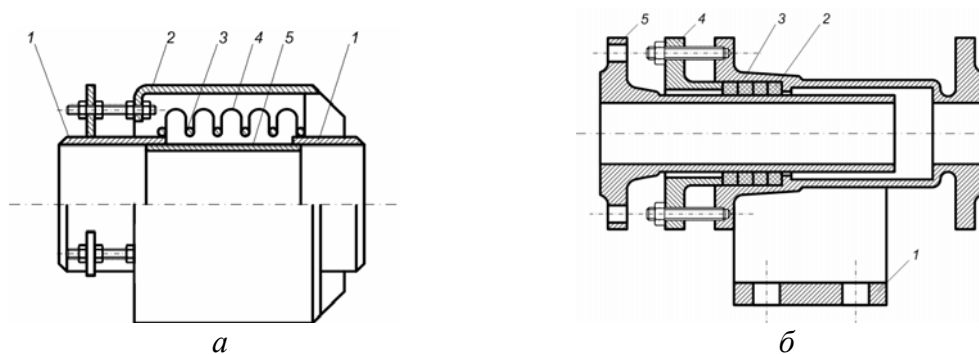


Рис. 100. Компенсаторы:

a – волнообразный: 1 – трубы; 2 – кожух; 3 – ограничительные кольца; 4 – гофрированный гибкий элемент; 5 – стакан; *б* – сальниковый: 1 – опора; 2 – набивка; 3 – корпус сальника; 4 – нажимная втулка; 5 – внутренняя труба

предусматривают компенсаторы. Конструкции наиболее распространенных компенсаторов приведены на рис. 100.

6.2. Трубопроводная арматура

Трубопроводная арматура – это все механизмы и устройства, предназначенные для полного или частичного отключения отдельных участков

трубопровода, предотвращения обратного тока жидкости или газа, а также опасного повышения давления. Арматура включает в себя: вентили, задвижки, краны, заслонки, предохранительные клапаны, обратные клапаны. Арматура любого класса включает три основных элемента: корпус, привод и рабочий орган (запорный, регулирующий и т.д.), состоящий из седла и перемещающегося или поворачивающегося относительно него затвора (золотника).

Ниже приводится краткая характеристика каждой группы арматуры.

Вентили

Вентили являются основными запорными устройствами трубопроводов для жидкостей и газов при любых давлениях и весьма высоких температурах. Их изготавливают из чугуна, стали, пластмасс и других материалов.

Они отличаются надежностью в работе, герметичностью, а также плавной регулировкой величины прохода, но имеют относительно высокое напряжение

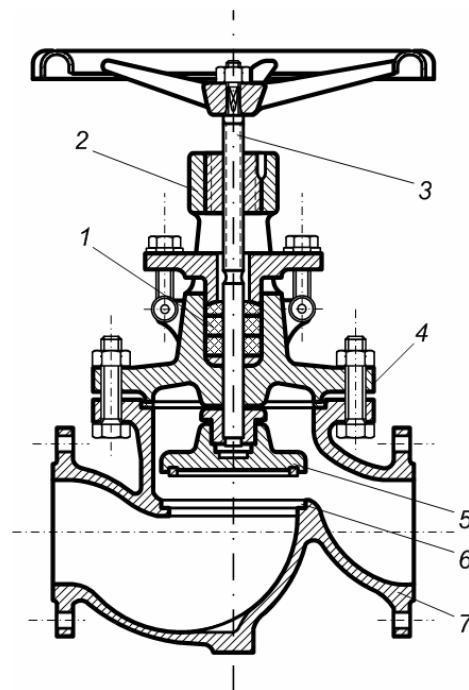


Рис. 101. Вентиль с прямым шпинделем:

1 – сальник; 2 – ходовая гайка; 3 – шпindelь; 4 – крышка; 5 – клапан; 6 – седло клапана; 7 – корпус

и большие габариты. Вентили представляют собой запорную арматуру с затвором в виде плоской или конической тарелки (золотника), которая перемещается возвратно-поступательно вместе со шпинделем относительно седла (рис. 101). Вентили выполняются с ручным управлением или с электроприводом.

Вентили на трубопроводе устанавливаются так, чтобы среда в них попадала из-под золотника. Область применения вентиляей весьма обширна.

Вентили, за исключением диафрагмовых (рис. 102), непригодны для установки на трубопроводах, служащих для передачи загрязненных осадками и легко кристаллизующихся жидкостей, так как твердые частицы, попадая между седлом и золотником, не только препятствуют плотной посадке последнего на

седло, но, повреждая рабочую поверхность, служат причиной утраты герметичности.

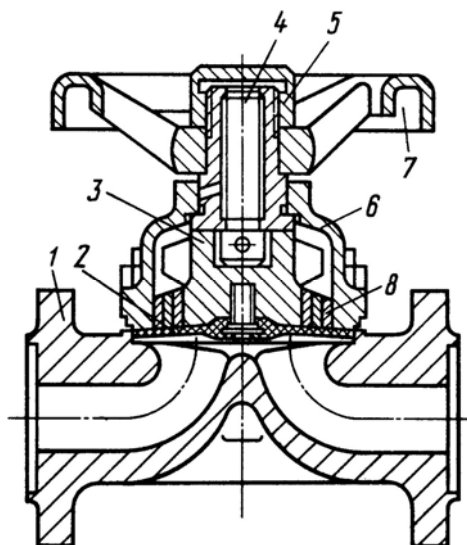


Рис. 102. Диафрагменный вентиль:

1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – клапан; 4 – шпindelь; 5, 6 – крышка; 7 – барашек; 8 – сальник

10.2.2. Задвижки

Задвижки служат запорными устройствами на трубопроводах среднего и большого диаметра (от 50 до 200 мм и выше) основными преимуществами задвижек по сравнению с вентилями являются малое сопротивление и

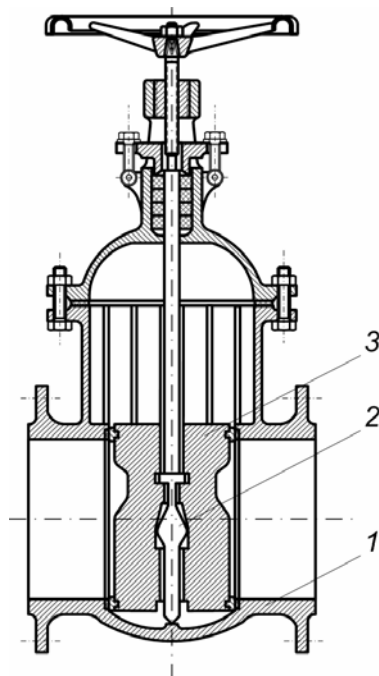


Рис. 103. Задвижка параллельная

1 – корпус; 2 – клин; 3 – тарелка

сравнительно небольшая строительная длина. Однако герметичность запорных органов задвижек ниже герметичности вентиляей соответственного диаметра. Задвижки разделяются на параллельные и клиновые. На рис. 103 приведена параллельная задвижка. Запорным органом является шибер, состоящий из двух

симметричных тарелок 3, между которыми помещается клин 2; последний при опускании тарелок распирает их, прижимая к уплотняющим поверхностям корпуса 1.

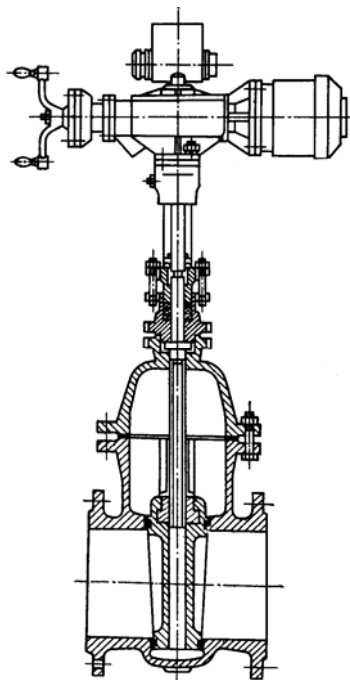


Рис. 104. Задвижка клиновья чугунная с невыдвижным шпинделем и электроприводом

При малых давлениях обычно используются параллельные двухдисковые задвижки, при больших давлениях – клиновые, с цельным, упругим или составным клином. В клиновых задвижках (рис. 104) уплотняющие кольца корпуса расположены под углом, диск имеет форму клина и при закрытии плотно прижимается к кольцам. Для закрытия или открытия прохода необходимо сделать большое число оборотов шпинделя, поэтому задвижки, особенно больших диаметров прохода, часто снабжаются электроприводом, который имеет и устройство для ручного управления, используемое в случае необходимости. Большинство задвижек с ручным управлением (клиновые) допускают установку на трубопроводе при любом рабочем положении. Задвижки с электроприводом монтируются на горизонтальном трубопроводе вертикально, электроприводом вверх. Может быть допущена установка задвижек с горизонтальным расположением шпинделя при условии, что для электропривода будет предусмотрена опора.

10.2.3. Краны

Краны применяют в качестве запорной арматуры на трубопроводах диаметром до 200 мм, предназначенных для транспортирования жидкостей, легко застывающих продуктов и взвесей при температуре до 100 °С и давлении до 0,1 МПа. Применяются натяжные (для газов) и сальниковые краны с муфтовым и фланцевым присоединением. По направлению движения продукта различают краны проходные и трехходовые. На рис. 105 показан конический пробковый кран, а на рис. 106 – шаровой кран.

Краны дают возможность пропускать жидкости, содержащие взвеси и кристаллы и создают небольшое гидравлическое сопротивление.

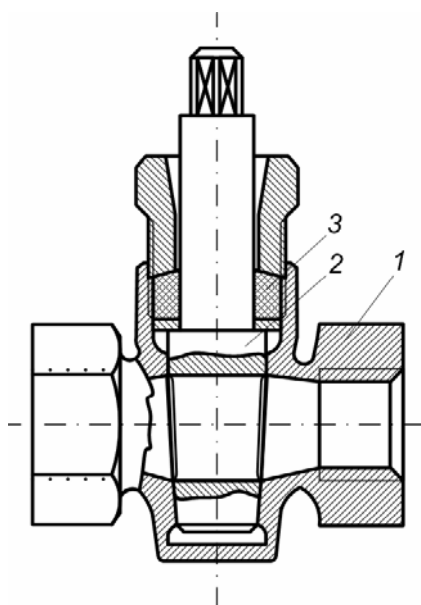


Рис. 105. Конический пробковый кран:
1 – корпус; 2 – пробка; 3 – сальник

Изготавливаются также натяжные краны, в которых усилие, необходимое для уплотнения поверхностей корпуса и пробки, создается с помощью гайки, расположенной на нарезанном цилиндрическом конце пробки, проходящим сквозь доньшко корпуса. Натяжные краны не могут обеспечить надлежащей

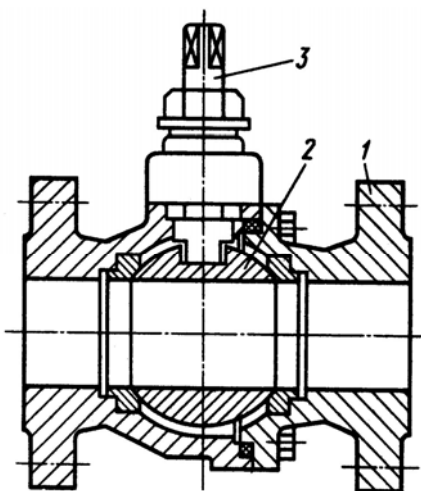


Рис. 106. Шаровой кран:
1 – корпус; 2 – пробка; 3 – шпindelь

герметичности при тех давлениях, которые обычно требуются в условиях химического производства. Они применяются главным образом в тех случаях, когда давление в трубопроводе не превосходит сотых долей МПа.

10.2.4. Заслонки

Заслонками (рис. 107) называют арматуру, в которой затвор выполнен в виде диска, поворачивающегося на перпендикулярной потоку оси. Их используют обычно на трубопроводах большого диаметра при малом давлении

среды и нежестких требованиях к герметичности запорного органа. Заслонками управляют вручную или с помощью гидро-, пневмо- или электропривода.

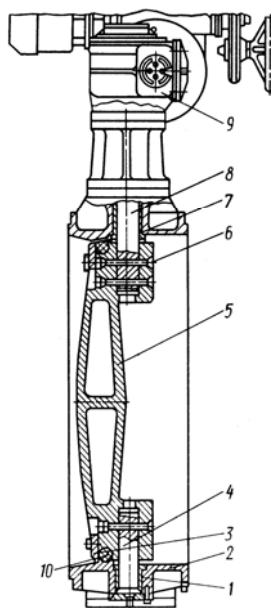


Рис. 107. Дисковая заслонка:

1, 7 – подшипники; 2 – корпус; 3 – прижимное кольцо; 4 – ось; 5 – диск; 6 – штифт; 8 – вал; 9 – электропривод; 10 – резиновое кольцо

10.2.5. Предохранительные, обратные клапаны и другая арматура

Эта арматура предназначена для защиты трубопроводной системы от повышения давления выше предельно допустимого. При повышении давления в аппаратах сверх установленной нормы клапан открывается и сбрасывает часть пара (или газа) в атмосферу или в специальную выхлопную линию.

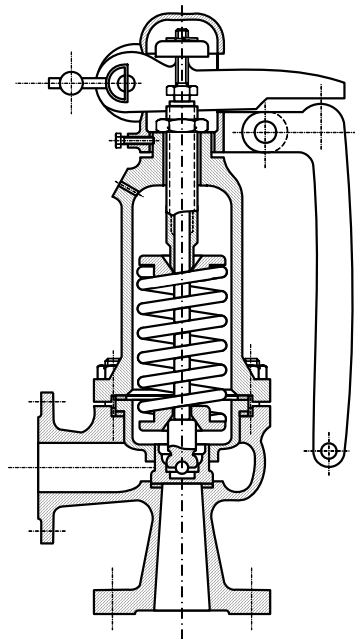


Рис. 108. Пружинный предохранительный клапан

В зависимости от способа уравнивания давления различают клапаны рычажные (грузовые) и пружинные. На рис. 108 показан пружинный

предохранительный клапан. Усилие пружины действует на шток, связанный с тарелкой клапана. Натяжение пружины регулируется с помощью гайки. Клапан имеет рукоятку для принудительного открытия, которое проводят периодически для проверки его работы.

В грузовом клапане (рис. 109) усилие на тарелку передается с помощью груза, закрепленного на конце рычага. Вся рычажно-грузовую систему помещают в закрытый кожух, исключая возможность изменения регулировки.

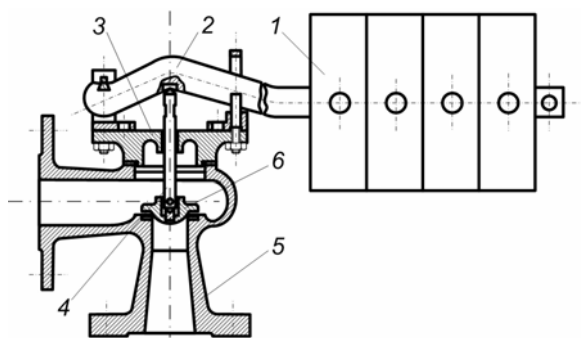


Рис. 109. Рычажно-грузовой клапан:
1 – груз; 2 – рычаг; 3 – крышка; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – золотник

Обратные клапаны служат для пропуска среды в одном направлении. В зависимости от принципа действия различают клапаны, закрывающиеся за счет веса тарелки (рис. 110), и с пружинным прижимом. Обратный клапан, закрывающийся за счет веса тарелки, может быть установлен только на горизонтальных участках трубопроводов. Клапан-захлопка имеет тарелку, поворачивающуюся на петлях.

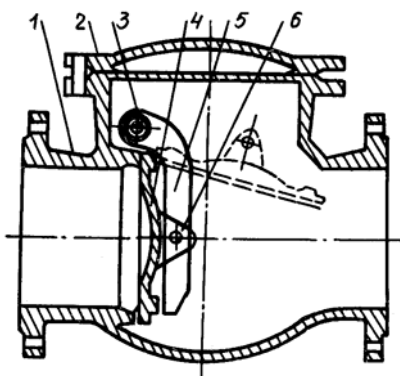


Рис. 110. Обратный клапан:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ось рычага; 4 – диск; 5 – рычаг; 6 – ось диска

Наряду с перечисленными основными типами трубопроводной арматуры необходимо отметить некоторые виды специальной, к которой относятся, например, указатели уровня, пробно-спусковые краны, конденсатоотводчики, редукционные клапаны, смотровые фонари и т.д.

Конденсатоотводчики устанавливают на отводных линиях из теплообменников и калориферов, обогреваемых паром. Их назначение – вывод из трубопроводной системы конденсата. Конденсатоотводчики действуют

автономно, выпуская конденсат периодически по мере его накопления в трубопроводе. Действие их основано на разности температур или плотностей конденсата и пара.

В настоящее время используют в основном термостатические и поплавковые конденсатоотводчики.

На рис. 111 показан конденсатоотводчик с открытым поплавком. Клапан, запирающий выходное отверстие, соединяется с поплавком, имеющим вид стакана. Когда конденсат попадает в горшок, поплавок всплывает и запирает выходное отверстие. При наполнении горшка конденсат переливается в стакан

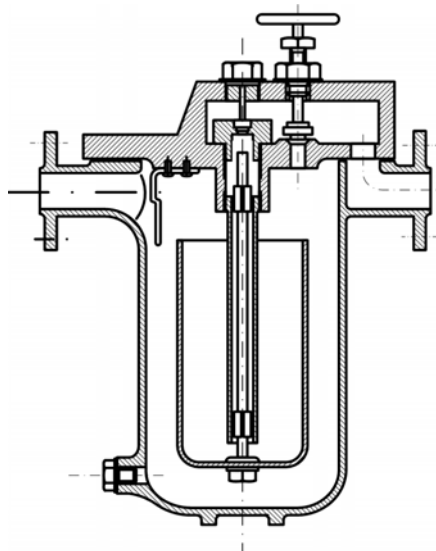


Рис. 111. Конденсатоотводчик с открытым поплавком

и топит его, выходное отверстие при этом открывается, часть конденсата за счет давления пара выбрасывается из горшка. По мере опорожнения стакана он снова всплывает, и клапан закрывает отверстие.

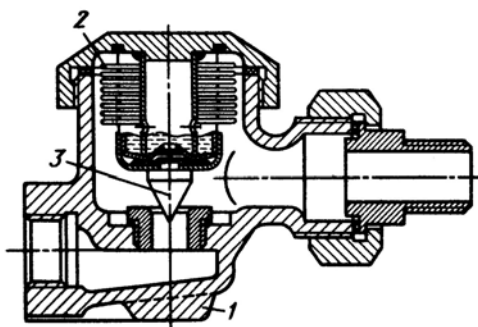


Рис. 112. Термостатический конденсатоотводчик

Применяют также термостатические конденсатоотводчики (рис. 112). В корпусе 1 такого конденсатоотводчика размещен сильфонный термостат 2, заполненный жидкостью и связанный с золотником 3 запорного устройства. С понижением температуры в конденсатоотводчике при заполнении его конденсатом уменьшается давление в сильфоне, вследствие чего золотник поднимается выпуская часть конденсата. Когда в конденсатоотводчик поступает пар, температура в нем повышается и жидкость в сильфоне

испаряется, в результате давление в сильфоне возрастает и золотник опускается, закрывая выход конденсату.

Пробно-спускные краны служат для проверки наличия жидкости в резервуарах и сосудах. Указатели уровня применяются для наблюдения за уровнем жидкости в резервуаре и сосудах.

Заключение

Для химико-технологического образования существенное значение имеет практическое освоение основ проектирования и методов расчета реакторов. Для облегчения работы в этом направлении и предлагается настоящее учебное пособие, в котором рассмотрены общие вопросы проектирования производств полимерной химии, составления материальных и тепловых балансов, применяемые конструкции полимеризаторов и другие вопросы.

Следует помнить, что расчет объема реактора не сводится к определению его основных геометрических размеров с целью подбора на этой основе стандартного или проектирования и заказа нестандартного оборудования. Инженерный расчет – это творческая работа, включающая определение размеров реакторов лишь как составную и, пожалуй, не самую главную часть. Он предусматривает прежде всего сравнительный количественный анализ различных вариантов технологических схем получения полимеров с применением различного оборудования. Для этого необходимы расчеты материальных и тепловых балансов, из которых определяются затраты материалов, теплоты, электроэнергии и других ресурсов. Необходим также предварительный выбор материала и конструкции и определение размеров аппаратов, что дает возможность оценить сложность изготовления, потребность в материалах и др.

Литература

1. Основная

- 1.1. Сутягин В.М., Бочкарев В.В. Основы проектирования и оборудование производств органического синтеза. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 188 с.
- 1.2. Сутягин В.М., Лопатинский В.П., Ляпков А.А. Основы проектирования и оборудование производства полимеров. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, Часть 1. – 1998. – 118 с., Часть 2. – 1999. – 114 с., Часть 3. – 2004. – 68 с.
- 1.3. Сутягин В.М., Ляпков А.А. Полимеризаторы в примерах и задачах. Сборник примеров и задач. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 72 с.
- 1.4. Ляпков А.А., Иванов Г.Н., Бочкарев В.В. Расчеты реакционной аппаратуры химических производств. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 122 с.
- 1.5. Ровкина Н.М., Ляпков А.А. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров. Сборник примеров и задач. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 167 с.
- 1.6. Н.А.Козулин, А.Я.Шапиро, Р.К.Гавурина. Оборудование для производства и переработки пластических масс. – Л.: ГХИ, 1963. – 784 с.
- 1.7. Я.И.Гринберг. Проектирование химических производств. – М.: Химия, 1970. – 268 с.
- 1.8. П.А.Кирпичников, В.В.Береснев, Л.М.Попова. Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
- 1.9. Л.Б.Зубакова, М.Е.Огнева, Г.М.Цейтлин. Методическое пособие к технологической части дипломного проекта. – М.: Изд. МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1972. – 36 с.
- 1.10. В.В.Бочкарев, А.А.Ляпков. Выполнение графической части курсового и дипломного проектов. Методическое пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1997. – 56 с.
- 1.11. О.Левеншпиль. Инженерное оформление химических процессов. – М.: Химия, 1969. – 624 с.
- 1.12. Л.М.Батунер. Процессы и аппараты органического синтеза и биохимической технологии. – Л.: Химия, 1966. – 520 с.
- 1.13. Г.Н.Иванов. Основы проектирования и оборудование предприятий органического синтеза. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПИ им. С.М.Кирова, 1991. – 112 с.
- 1.14. Г.Н.Иванов, В.М.Сутягин. Основные методы расчета химических реакторов. Учебное пособие. – Томск: изд. ТПИ им. С.М.Кирова, 1986. – 89 с.
- 1.15. В.В.Бочкарев, А.А.Ляпков. Оптимизация процессов химической технологии органических веществ. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1995. – 96 с.
- 1.16. В.В.Бочкарев, А.А.Ляпков. Оптимизация химико-технологических процессов органического синтеза. Сборник примеров и задач. – Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 112 с.
- 1.17. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 1.18. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
- 1.19. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. – М.: Высшая школа, 1970. – 328 с.
- 1.20. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. – М.: Высшая школа, 1970. – 352 с.
- 1.21. Беркман Б.Е. Основы технологического проектирования производств органического синтеза. – М.: Химия, 1970. – 368 с.

2. Дополнительная

- 2.1. С.А.Вольфсон. От колбы до реактора. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
- 2.2. Б.Е.Беркман. Основы технологического проектирования производств органической химии. – М.: Химия, 1970. – 368 с.
- 2.3. Д.А.Гуревич. Проектные исследования химических производств. – М.: Химия, 1976. –

- 280 с.
- 2.4. М.Г.Рудин, Г.Ф.Смирнов. Проектирование нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. – Л.: Химия, 1984. – 256 с.
 - 2.5. В.П.Перевалов, Г.И.Колдобский. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. – М.: Химия, 1987. – 288 с.
 - 2.6. С.А.Бесков. Технохимические расчеты. – М.: Высшая школа, 1962. – 468с.
 - 2.7. И.А.Грязнов, И.Г.Дигуров, В.В.Кафаров, М.Г.Макаров. Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1995. – 256 с.
 - 1.22. Кавецкий Г.Д. Оборудование для производства пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 224 с.
 - 2.8. В.О.Рейхсфельд, В.С.Шеин, В.И.Ермаков. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука. – Л.: Химия, 1985. – 264 с.
 - 2.9. О.Флореа, О.Смигельский. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 448 с.
 - 2.10. Р.Арис. Оптимальное проектирование химических реакторов. – М.: ИЛ, 1963. – 238 с.
 - 2.11. В.Е.Краскевич, К.Х.Зеленский, В.И.Гречко. Численные методы в инженерных исследованиях. – К.: Вища шк., 1986. – 263 с.
 - 2.12. Х.Розенброк, С.Стори. Вычислительные методы для инженеров-химиков. – М.: Мир, 1968. – 444 с.
 - 2.13. Ю.И.Макаров, А.Э.Генкин. Технологическое оборудование химических и нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Машиностроение, 1976. – 368 с.
 - 1.23. Л.И.Турчак. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
 - 1.24. А.Е.Мудров. Численные методы для ПЭВМ на языках БЕЙСИК, ФОРТРАН и ПАСКАЛЬ. – Томск, МП “Раско”, 1991. – 272 с.

Алексей Алексеевич Ляпков

Оборудование производств органического синтеза

Учебное пособие

Подписано к печати

Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Печать RISO. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .

Тираж 100 экз. Заказ № . Цена свободная.

Издательство ТПУ. 634050, Томск, пр.Ленина, 30.