

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ДГТУ)**

**ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**  
(курс лекций)

**Ростов-на-Дону 2020**

## ЛЕКЦИЯ №1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОНЯТИЕ О ПРОЕКТИРОВАНИИ

Под **проектированием** понимают процесс переработки информации, полученной в результате научных экспериментов, в конечную информацию, необходимую для создания промышленного объекта.

В результате этого процесса получают **проект**, т.е. комплекс технической документации (текстовой и графической), необходимой для строительства намеченного объекта ХФП, позволяющего обеспечить выпуск в установленные сроки требуемой продукции определенного качества в заданном объеме с наилучшими технико-экономическими показателями при соблюдении установленных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда на спроектированном объекте.

Проектирование предприятий химической промышленности осуществляется индивидуальными специалистами или проектными организациями, имеющими лицензии на соответствующий вид деятельности, а также проектно-конструкторскими отделами заводов (ПКО) по заданиям заказчиков.

Заказчиком может являться любая организация, которой предоставлено право капитальных вложений в создание новых предприятий, зданий и сооружений на земельном участке, отведенном ей по государственному акту, а также право капитальных вложений в реконструкцию и техническое перевооружение действующего предприятия.

### ВИДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Условно можно выделить 4 основных вида проектирования:

- 1) проектирование нового предприятия;
- 2) расширение действующего предприятия;
- 3) реконструкция действующего предприятия;
- 4) техническое перевооружение действующего предприятия.

**Новым строительством** называют сооружение нового завода или последующих его очередей. К новому строительству прибегают только в тех случаях, если необходимая продукция (по ассортименту, количеству и качеству) не может быть получена в результате реконструкции или технического перевооружения действующих предприятий.

**Расширение** также является новым строительством. Его осуществляют для увеличения мощности действующего предприятия с одновременным улучшением технико-экономических показателей, которые не могут быть достигнуты путем реконструкции или технического перевооружения.

При расширении действующего предприятия осуществляется:

- 1) строительство второй и последующих его очередей;
- 2) строительство дополнительных производств;
- 3) строительство новых цехов (или расширение действующих цехов) основного производственного назначения;
- 4) строительство новых объектов вспомогательного и обслуживающего назначения, необходимых для дополнительных производств, новых или расширяющихся действующих цехов основного производства.

**Реконструкция** состоит в полном или частичном переоборудовании производств на базе новой техники и технологии, но без строительства новых или расширения действующих цехов основного производственного назначения.

При реконструкции проводятся следующие работы:

1) заменяются изношенное и морально устаревшее оборудование, средства автоматизации и механизации;

2) устраняются имеющиеся диспропорции в технологических звеньях и вспомогательных службах, обеспечивающие увеличение объема производства на базе новой, более совершенной техники;

3) расширяется ассортимент или повышается качество продукции;

4) создаются малоотходные или безотходные производства.

Кроме того, к реконструкции относятся:

5) работы по изменению профиля предприятия;

6) организация производства новой продукции на существующих производственных площадях;

7) строительство новых объектов той же мощности и того же назначения взамен ликвидируемых объектов, дальнейшая эксплуатация которых признана нецелесообразной.

Реконструкция предприятий имеет определенные преимущества по сравнению со строительством новых аналогичных предприятий или расширением действующих. К ним относятся:

1) отсутствие необходимости освоения нового района или площади строительства;

2) возможность использования существующих зданий, инженерных сооружений и коммуникаций;

3) сокращение продолжительности и сметной стоимости строительства за счет меньшего объема работ;

4) наличие коллектива квалифицированных работников;

5) сокращение сроков ввода в действие и освоения производственных мощностей.

Как показывает опыт, капитальные вложения, направленные на реконструкцию, дают примерно вдвое выше отдачу, чем при новом строительстве.

**К техническому перевооружению** действующего предприятия относятся:

1) осуществление в соответствии с планом технического развития комплекса мероприятий (без расширения имеющихся производственных площадей) по повышению до современных требований технического уровня отдельных участков производства путем внедрения новой техники и технологии, механизации и автоматизации производственных процессов и замены устаревшего и физически изношенного оборудования новым, более производительным;

2) а также другие технические и организационные мероприятия, направленные на обеспечение прироста производства продукции, повышение ее качества, улучшение условий и организации труда, снижение себестоимости продукции.

## **СОСТАВ И РАЗДЕЛЫ ПРОЕКТА**

Любой проект производства содержит ряд обязательных разделов:

1. Технология производства.
2. Управление и автоматизация производства.
3. Механизация производства.
4. Электроснабжение.
5. Общее энергообеспечение.
6. Отопление и вентиляция.
7. Водоснабжение и канализация.
8. Системы информационной и физической защиты.
9. Строительная часть.

## ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование, как правило, выполняется в три этапа.

**Первым этапом работы** проектировщика, приступающего к разработке проекта производства органического синтеза, является подготовка задания на проектирование, которое составляется при непосредственном участии проектировщиков. В общем виде эта стадия проектных работ может быть названа **предпроектной разработкой**.

**Вторым этапом проектирования** является **техническое проектирование**. На этом этапе должны быть рассчитаны и выбраны все виды оборудования, составлена калькуляция себестоимости готовой продукции, составлены сметы на строительство проектируемого объекта, разработаны проекты вспомогательных сооружений и т.д.

**Третий этап проектирования** – разработка **рабочих чертежей**, т.е. той технической документации, по которой непосредственно ведется строительство и монтаж объекта. Рабочие чертежи выполняются по всем разделам проекта.

## ПРЕДПРОЕКТНАЯ РАЗРАБОТКА

Предпроектная разработка является важнейшей частью работы технологов. На данном этапе проводятся следующие работы:

1. *Выбор площадки строительства.*
2. *Определение мощности предприятий.*
3. *Анализ исходных данных для проектирования.*
4. *Разработка задания на проектирование.*

Ответственным за разработку задания на проектирование является заказчик проекта, но непосредственная разработка задания на проектирование проводится генеральным проектировщиком по поручению заказчика.

В задании на проектирование должны содержаться все основные сведения, необходимые для разработки проекта:

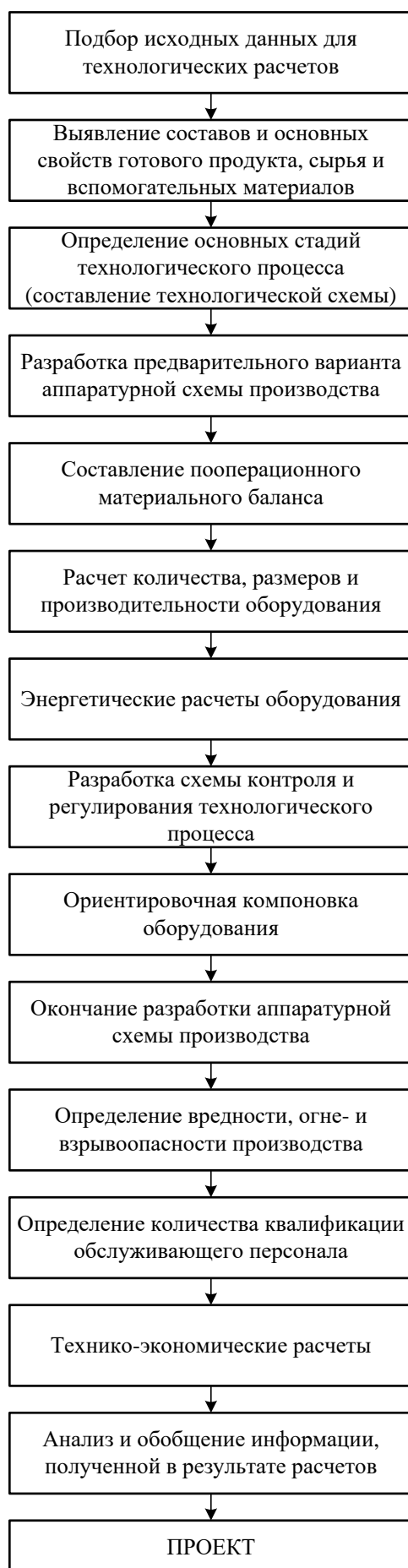
- 1) вид строительства;
- 2) стадийность проектирования;
- 3) основные технико-экономические показатели объекта, в т.ч. мощность, производительность, производственная программа;
- 4) требования к качеству, конкурентоспособности и экологическим параметрам продукции;
- 5) требования к технологии, к архитектурно-строительным, объемно-планировочным и конструктивным решениям;
- 6) требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий, к режиму безопасности и гигиене труда и т.д.

По крупным и сложным объектам задания на проектирование составляют на основе **технико-экономических обоснований (ТЭО)** строительства промышленных предприятий. Главной задачей при составлении ТЭО является определение экономической целесообразности и технической необходимости создания данного объекта. При выполнении ТЭО определяется расчетная стоимость строительства и основные технико-экономические показатели: себестоимость продукции, годовой выпуск товарной продукции, прибыль, численность персонала, годовой фонд заработной платы, срок окупаемости, потребность в основных видах сырья и энергоресурсах и т.д. Определенные в ТЭО затраты не могут быть превышены при последующем проектировании.

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Получив утвержденное задание на проектирование, технолог приступает ко второму этапу проектирования – разработке технического проекта, т.е. к техническому проектированию.

В общем виде последовательность выполнения и взаимосвязей отдельных стадий технического проектирования может быть представлена следующей схемой:



## РЕГЛАМЕНТЫ

**Технологический регламент производства** – это нормативный документ, устанавливающий методы производства, технологические нормативы, технические средства, условия и порядок проведения технологического процесса в производстве химико-фармацевтической продукции.

Общие требования к порядку разработки, согласования и утверждения технологических регламентов, а также их содержание и правила составления устанавливаются ОСТ 64-03-002-2002 "Продукция медицинской промышленности. Технологические регламенты производства. Содержание, порядок разработки, согласования и утверждения".

Согласно ОСТ, существует 5 видов технологических регламентов:

- 1) лабораторные регламенты (ЛР);
- 2) опытно-промышленные регламенты (ОПР);
- 3) пусковые (временные) регламенты (ПУР);
- 4) промышленные регламенты (ПР);
- 5) типовые регламенты (ТР).

**Лабораторный регламент** – это технологический документ, которым завершаются научные исследования в лабораторных условиях при разработке метода производства новых лекарственных средств.

**Опытно-промышленный регламент** – технологический документ, которым завершается отработка новой технологии производства лекарственного средства на опытно-промышленной установке.

**Пусковой регламент** – технологический документ, на основании которого осуществляют ввод в эксплуатацию и освоение вновь созданного промышленного производства лекарственного средства.

**Промышленный регламент** – технологический документ действующего серийного производства лекарственного средства.

**Типовой регламент** – руководящий нормативный документ, устанавливающий стандартные (унифицированные) технологические методы производства, нормы и нормативы, технические средства для процесса производства однородной группы продукции (таблетки, капсулы, инъекционные растворы и т.п.).

Серийный выпуск товарной продукции осуществляется только на основе промышленного регламента.

**Содержание регламента.** Промышленный регламент должен состоять из следующих разделов:

- 1) характеристика конечной продукции производства;
- 2) химическая схема производства;
- 3) технологическая схема производства;
- 4) аппаратная схема производства и спецификация оборудования;
- 5) характеристика сырья, материалов и полупродуктов;
- 6) изложение технологического процесса;
- 7) материальный баланс;
- 8) переработка и обезвреживание отходов производства;
- 9) контроль производства и управление технологическим процессом;
- 10) техника безопасности, пожарная безопасность и производственная санитария;
- 11) охрана окружающей среды;
- 12) перечень производственных инструкций;
- 13) технико-экономические нормативы;
- 14) информационные материалы.

## ЛЕКЦИЯ №2

### КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Все аппараты **по назначению** можно разделить на:

- 1) аппараты, в которых происходит собственно химическое превращение (реакторы);
- 2) аппараты, предназначенные для выделения продуктов реакции:
  - массообменное оборудование – экстракторы, кристаллизаторы, выпарное и дистилляционное оборудование);
  - сепарационное оборудование (фильтры и центрифуги);
  - сушильное оборудование;
- 3) вспомогательное оборудование, предназначенное для хранения и перемещения сырья и промежуточных продуктов и осуществления процессов теплообмена:
  - теплообменное оборудование;
  - дозировальное оборудование (весы, весовые дозаторы, дозирующие насосы, мерники;
  - оборудование механизации технологических процессов (транспортеры, системы пневмо- и гидротранспорта, тельферы и лифты, подъемники);
  - оборудование транспортировки и хранения продуктов и материалов (сборники, цистерны, баки, бочки, бутылки; баллоны; ресиверы; газгольдеры; барабаны, контейнеры.
  - трубопроводы и арматура.

В зависимости от **способа подвода реагентов и продуктов реакции** различают и аппараты периодического, непрерывного и полунепрерывного действия.

Аппараты периодического действия характеризуются тем, что транспортные операции (загрузка реагентов и выгрузка продуктов) и основные технологические операции разделены во времени, т.е. основной технологический процесс в аппарате периодического действия прерывается вспомогательными операциями.

В аппарате непрерывного действия основной технологический процесс совмещен во времени с транспортом вещества через аппарат, т.е. на вход в аппарат непрерывно поступает поток реагентов, а на выходе также непрерывно отводится поток продуктов.

Традиционно принято считать непрерывные процессы более прогрессивными. К их основным достоинствам можно отнести:

- 1) высокую степень использования аппаратуры;
- 2) возможность совершенствования конструкции аппаратуры, возможность механизации и автоматизации технологического процесса.

Однако периодические процессы также имеют ряд преимуществ, например:

- 1) относительная простота эксплуатации и проектирования;
- 2) возможность управления качеством промежуточной продукции;
- 3) кроме того, замена периодических процессов непрерывными не всегда оказывается целесообразной, а иногда настолько труднореализуемой, что от нее приходится отказаться.

В зависимости от **степени унификации** все технологическое оборудование можно разделить на стандартное и специализированное.

Стандартное оборудование выпускается предприятиями химического машиностроения в виде нескольких типоразмеров. Ряды типоразмеров и параметров стандартного оборудования определяются ГОСТом и содержатся в каталогах.



Специализированное оборудование ориентировано на конкретный технологический процесс и проектируется специально для него из расчета на заданную производительность.

## **МАТЕРИАЛЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ**

### **ВЫБОР МАТЕРИАЛА**

В химической промышленности, в том числе и в промышленности органических полупродуктов, для изготовления аппаратуры используются весьма разнообразные материалы. Это объясняется разнообразием и специфичностью требований, предъявляемых к конструкционным материалам для химической аппаратуры. Применяемые для этих целей материалы должны иметь:

- 1) достаточную механическую прочность;
- 2) стойкость к коррозионному воздействию перерабатываемых веществ;
- 3) обладать соответствующими физическими свойствами (например, хорошей теплопроводностью);
- 4) легко поддаваться механической обработке;
- 5) не оказывать ингибирующего действия в процессах, проводимых в данной аппаратуре;
- 6) не влиять на чистоту продуктов реакции;
- 7) быть дешевыми и доступными.

Главным требованием для материалов химических аппаратов в большинстве случаев является их коррозионная стойкость, так как она определяет долговечность химического оборудования.

### **КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ**

Коррозией (от лат. слова "corrosio" – разъедать) называется разрушение материала вследствие взаимодействия его со внешней средой. Различают два типа коррозии – химическую и электрохимическую.

Химической коррозией называется разрушение металла окислением его в окружающей среде без возникновения электрического тока в системе.

В этом случае происходит взаимодействие металла с составными частями среды – с газами и неэлектролитами.

Электрохимической коррозией называется разрушение металла в среде электролита с возникновением внутри системы электрического тока. В этом случае наряду с химическими процессами (отдача электронов) протекают и электрические (перенос электронов от одного участка к другому). К электрохимической коррозии относятся все случаи коррозии в водных растворах.

**По характеру разрушений** коррозия металлов бывает сплошной (равномерной), местной и межкристаллитной.

Сплошная коррозия не представляет особой опасности для конструкций и аппаратов особенно в тех случаях, когда потери металлов не превышают технически обоснованных норм. Ее последствия могут быть сравнительно легко учтены.

Значительно опаснее местная коррозия, хотя потери металла здесь могут быть и небольшими. Один из наиболее опасных видов местной коррозии – это точечная. Она заключается в образовании сквозных поражений, т.е. в образовании точечных полостей – так называемых питтингов. Местной коррозии благоприятствуют морская вода, растворы солей, в частности галогенидных (хлорид натрия, магния и др.). Опасность местной кор-

розии состоит в том, что, снижая прочность отдельных участков, она резко уменьшает надежность конструкций, сооружений, аппаратов.

Наиболее опасным видом коррозии является межкристаллитная, при которой разрушение происходит по границам кристаллитов в глубине металла.

Скорость коррозии металла оценивается весовым методом, основанным на определении изменения веса образца после воздействия агрессивной среды.

Для количественной оценки степени коррозионных разрушений принята десятибалльная шкала.

Коррозионная стойкость материалов

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,005	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
Пониженно стойкие	Свыше 0,1 до 0,5	6
	Свыше 0,5 до 1	7
Малостойкие	Свыше 1,0 до 5	8
	Свыше 5 до 10	9
Нестойкие	Свыше 10	10

Для изготовления химической аппаратуры должны использоваться конструкционные материалы, скорость коррозии которых не превышает 0,1–0,5 мм/год; чаще применяются материалы стойкие (скорость коррозии 0,01–0,05 мм/год).

## ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Наиболее широкое распространение в качестве материалов для химической аппаратуры получили стали и чугуны.

Они обладают

- высокой механической прочностью;
- хорошими физическими свойствами (высокая теплопроводность, малая теплоемкость и др.);
- вполне доступны и достаточно дешевы, что делает их основными конструкционными материалами общего и химического машиностроения.

В чистом железе без остатка может раствориться не более 2 % углерода. Сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, называют сталями; сплавы, в которых более 2,14 % углерода (обычно от 2 до 5–6%), – чугуном.

По содержанию углерода углеродистую сталь делят на:

- низкоуглеродистую (до 0,25 % углерода);
- среднеуглеродистую (от 0,25 до 0,6 % углерода);
- высокоуглеродистую (выше 0,6 % углерода).

Легированные стали, в свою очередь, подразделяют на:

- низколегированные (до 2,5 % легирующих элементов);
- среднелегированные (от 2,5 до 10 % легирующих элементов);
- высоколегированные (свыше 10% легирующих элементов).

В зависимости от назначения стали подразделяются на:

- конструкционные, предназначенные для изготовления строительных и машиностроительных изделий;
- инструментальные, из которых изготовляют режущий, мерительный, штамповый и прочие инструменты. Эти стали содержат более 0,65 % углерода;
- с особыми физическими свойствами, например, с определенными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения: электротехническая сталь, суперинвар;
- с особыми химическими свойствами, например, нержавеющие, жаростойкие или жаропрочные стали.

В зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора стали подразделяют на:

- стали обыкновенного качества (до 0,06 % серы и до 0,07 % фосфора);
- качественные (до 0,035 % серы и фосфора);
- высококачественные (до 0,025 % серы и фосфора);
- особо высококачественные (до 0,025 % фосфора и до 0,015 % серы).

Сталь обладает хорошими механическими и физическими свойствами, хорошо поддается обработке, относительно доступна и дешева. Главными ее недостатками являются невысокая химическая стойкость и влияние на чистоту готового продукта.

**Чугуны.** Сплав железа с углеродом, содержащий более 2,14 % С, называется чугуном.

Главным достоинством чугуна является низкая стоимость и доступность.

К недостаткам чугуна, приводящих к тому, что доля чугунных изделий в химическом машиностроении в последнее время существенно снижается, можно отнести следующие:

- 1) пониженная прочность чугуна по сравнению со сталью, вследствие чего его применяют при температуре стенки сосуда или аппарата от  $-15$  до  $+250$  °С при температуре обогревающей среды не более  $650$  °С и давлении до 1,0 МПа;
- 2) ограниченная возможность его механической обработки, поэтому чугун может быть использован только в виде литья. Это, кстати, можно отнести и к достоинствам, потому что благодаря литью изделиям из чугуна можно придавать самую сложную форму;
- 3) из-за хрупкости чугуна стенки аппаратов приходится делать толстыми (в 2 раза толще, чем для стальных аппаратов), поэтому чугунная аппаратура всегда значительно тяжелее стальной и имеет более низкие коэффициенты теплопередачи;
- 4) из-за того, что чугун не поддается сварке, рубашки чугунных аппаратов всегда выполняют съемными и крепят к дополнительному фланцу на корпусе. Это приводит к уменьшению поверхности теплообмена чугунных аппаратов по сравнению со стальными аппаратами того же объема.

## ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

**Алюминий.** Главными достоинствами алюминия, благодаря которым он получил довольно широкое распространение в качестве материала химической аппаратуры являются следующие:

- 1) доступность по сравнению с другими цветными металлами (алюминий – самый распространенный в земной коре металл. Он входит в состав глин, полевых шпатов, слюд и многих другим минералов. Общее содержание алюминия в земной коре составляет 8 % (масс.));
- 2) легкость (плотность алюминия при  $20$  °С  $\rho = 2,699$  г/см<sup>3</sup>);
- 3) высокая теплопроводность (в 4,5 раза выше стали);

4) стойкость к воздействию некоторых агрессивных агентов (например, концентрированной азотной кислоты, фосфорной и органических кислот), которая объясняется образованием на его поверхности плотной сплошной окисной пленки  $Al_2O_3$ .

Главным недостатком, ограничивающим применение алюминия, является его низкая механическая прочность. Кроме того, алюминий и его сплавы неустойчивы в щелочных средах:



Алюминий применяется для изготовления мерников, резервуаров большой емкости, небольших реакционных аппаратов, теплообменников и других аппаратов, работающих без давления и при температуре стенок не выше 200 °С.

**Медь.** Главными достоинствами меди являются :

- 1) высокая теплопроводность (в 6 раз выше стали);
- 2) легкость обработки;
- 3) повышение прочности при низких температурах при сохранении пластичных свойств.

Благодаря этому медь является ценным конструкционным материалом в криогенной технике, а также широко применяется для изготовления теплообменной аппаратуры.

Главным недостатком меди, как и алюминия, является недостаточная механическая прочность.

Коррозионная активность меди не очень велика. Она весьма устойчива в нейтральных и щелочных средах, а также в растворах органических кислот.

В минеральных кислотах, а также в присутствии соединений серы медь легко подвергается коррозии, т.к. не образует защитных оксидных пленок.

Кроме того, медь имеет низкие литейные свойства и не применяется для литых деталей. Основными материалами для литья деталей и арматуры являются сплавы на основе меди – бронзы и латуни.

**Латунью** называется сплав меди с цинком, содержащий от 10 до 50 % цинка.

Из латуней изготавливают детали трубопроводов, фланцы, бобышки, теплообменные агрегаты, антифрикционные и коррозионностойкие детали.

**Бронза** – это сплав меди с оловом и другими элементами: алюминием, бериллием, кремнием, марганцем, свинцом. Бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, хорошо сопротивляются коррозии и обрабатываются резанием. Бронзы находят применение в узлах трения (подшипники скольжения, червячные и винтовые передачи), в водяной, паровой и масляной арматуре.

**Свинец.** В прошлом свинец был весьма распространенным конструкционным материалом в химическом машиностроении. В настоящее время его применение сокращается вследствие низкой механической прочности и высокой стоимости. Всюду, где возможно, свинец заменяют пластмассами или нержавеющей сталью.

**Никель.** Вследствие высокой механической прочности и значительной химической стойкости никель считается одним из лучших материалов химического аппаратостроения.

Никель отличается высокой устойчивостью к воздействию горячих растворов и расплавов щелочей.

Он устойчив к коррозионному действию большинства органических кислот и растворов солей (азотнокислых, хлористых, сернокислых).

Его также можно применять в тех случаях, когда требуется высокая чистота продукта или недопустимо применение кислотостойких сталей вследствие их действия как катализатора, ускоряющего ход нежелательных реакций.

Однако малая доступность и дороговизна никеля пока препятствуют его широкому распространению.

Обычно из никеля изготавливаются особо ответственные аппараты (реакторы, теплообменники, вкладыши и их детали), которые должны обладать высокой химической стойкостью и механической прочностью и, кроме того, обеспечивать достаточно хороший теплообмен.

**Тантал** обладает хорошей пластичностью, прочностью, а также тугоплавкостью (температура его плавления 3000 °С) и низкой упругостью паров. Он хорошо куется, плющится, штампуется, но плохо сваривается.

Тантал характеризуется чрезвычайно высокой коррозионной устойчивостью к действию большинства органических и неорганических кислот, растворов солей и других агрессивных сред.

Однако, как и никель, тантал чрезвычайно дорог. Он стоит примерно в 100 раз дороже хромоникелевой стали. Поэтому, из-за крайне высокой стоимости единицы объема, он применяется почти исключительно в виде фольги толщиной 0,15–0,3 мм для обкладки аппаратов.

**Титан** по прочности немного уступает стали, а удельный вес его почти в 2 раза меньше (4,5 г/см<sup>3</sup>). Он куется, штампуется, сваривается, хорошо поддается механической обработке, что дает возможность изготавливать из него самое разнообразное оборудование.

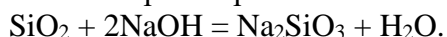
Титан не подвергается коррозии ни в нейтральных, ни во многих кислых растворах.

Разрушается титан в среде серной кислоты, концентрированной соляной кислоты, щавелевой кислоты, особенно при повышенной концентрации и температуре.

Т.к. стоимость титана велика (в 8–10 раз выше легированной стали), значительный интерес представляют стальные аппараты, облицованные тонким титановым листом. Однако титан со сталью не сваривается, и конструкционное решение подобных аппаратов представляет трудности.

## НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**Силикатные материалы** состоят из различных солей кремневых кислот, алюмосиликатов, кальциевых и магниевых силикатов, чистого кремнезема и др. Они устойчивы к воздействию многих агрессивных сред, что определяется их химическим составом. При этом чем больше в материале содержится оксида кремния (IV), тем выше его устойчивость к кислотам (кроме плавиковой). Но такие материалы разрушаются под действием растворов щелочей и карбонатов с образованием растворимого силиката натрия, например:



Материалы, содержащие в своем составе основные оксиды, устойчивы к щелочным средам, но разрушаются минеральными кислотами.

**Стекло**. До недавнего времени стекло применялось исключительно в лабораторной практике, но в последнее время оно находит все более широкое применение в химико-фармацевтической промышленности как самостоятельный конструкционный материал.

Важными свойствами, обеспечивающими внедрение стекла на заводах, являются:

- высокая химическая стойкость;
- малый коэффициент линейного расширения;
- низкая теплопроводность;
- прозрачность.

К главным недостаткам стекла следует отнести:

- хрупкость;
- и слабое сопротивление растяжению, изгибу, удару;
- чувствительность к перепадам температур.

В настоящее время стекло подвергают различным видам обработки, вплоть до закаливания и сваривания. Это позволяет изготавливать из него самые разнообразные изделия, однако наибольшее применение в ХФП нашли стеклянные трубы.

**Ситаллы.** Ситаллы являются стеклокристаллическими материалами, получаемыми из твердого стекла путем полной или частичной его кристаллизации, и отличаются высокой прочностью и стойкостью к термическим воздействиям, химической стойкостью. Ситаллы являются конструкционным материалом и по своей природе и технологии получения занимают промежуточное положение между обычным стеклом и керамикой. Помимо химического состава, они отличаются от обычного стекла тем, что в конечном виде имеют микрокристаллическое строение, а от керамики – тем, что они производятся путем полного плавления материалов с последующим формованием изделий из стекломассы и их кристаллизацией.

Ситаллы отличаются от большинства других новых материалов возможностью регулирования ценных свойств в процессе изготовления и более прогрессивной технологией, благодаря которой различными методами (выдуванием, вытягиванием, прессованием, прокаткой) можно получать разнообразные изделия.

По твердости они во много раз превосходят стекло, а также обладают весьма высокой химической стойкостью к действию сильных окислителей, кислот, щелочей (кроме плавиковой).

Хотя изделия из ситалла в 1,3–1,5 раза дороже изделий из стекла, их применение более рационально, так как по эксплуатационным свойствам они превосходят изделия из стекла, эмали и других силикатных материалов.

**Керамические изделия** изготавливают из специальных сортов глины путем формования, сушки и последующего обжига до образования каменнообразного черепка. В процессе обжига изделия покрывают глазурью, состоящей из базальта и специальных легкоплавких глин, для придания им кислотостойкости и непроницаемости.

Керамические материалы обладают высокой стойкостью к минеральным кислотам (за исключением плавиковой кислоты), стойки ко всем органическим растворителям и в несколько меньшей степени – к растворам щелочей.

Керамические изделия весьма долговечны и выходят из строя только вследствие механического разрушения. Однако они чувствительны к резким переменам температуры, поэтому нагрев и охлаждение должны проводиться медленно. Не рекомендуется проводить нагрев аппаратов прямым огнем, а при паровом обогреве температура не должна превышать 120 °С.

К другим недостаткам керамики относится ее чувствительность к ударам, толчкам, натяжениям, изгибам и т.д., что заставляет соблюдать правила эксплуатации, аналогичные правилам эксплуатации эмалированной аппаратуры.

Из керамики изготавливают разнообразную химическую аппаратуру: небольшие емкостные аппараты, поверхностные абсорберы, небольшие колонные аппараты, трубопроводы и трубопроводную арматуру.

**Углеродистые материалы.** Исходным сырьем для углеродистых материалов является графит, который для снижения пористости пропитывают связующими смолами – фенолформальдегидными, кремнийорганическими, эпоксидными и др.

Графит устойчив к действию большинства химически агрессивных сред, в том числе и кислот – азотной (низкой концентрации), плавиковой (концентрацией до 40 %), серной (до 50 %), соляной, уксусной, муравьиной, фосфорной. Некоторые сорта пропитанного графита стойки к действию растворов щелочей.

Графитовые материалы хорошо поддаются механической обработке и склеиваются (обычно фенолформальдегидными смолами) с последующей термообработкой.

Удельный вес графита примерно в четыре раза меньше удельного веса стали, поэтому конструкции из графитовых материалов значительно легче аналогичных металлических конструкций.

Вследствие хорошей теплопроводности пропитанного графита его широко применяют при изготовлении теплообменников. Кроме того, из него делают трубопроводную арматуру.

## КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (ПЛАСТМАССЫ)

Название пластические массы дано этим материалам потому, что в процессе их образования, на определенной стадии, они обладают высокой пластичностью. Это свойство пластмасс позволяет изготавливать из них изделия самой разнообразной, нередко очень сложной формы путем использования методов литья, экструзии (вдувания), штамповки и т.д. Пластмассы хорошо обрабатываются режущим инструментом. Многие сорта пластмасс допускают сварку и склеивание.

Общими положительными свойствами пластмасс являются:

- малая по сравнению с металлами и керамикой плотность ( $900\text{--}1500\text{ кг/м}^3$ ),
- довольно значительная, а подчас и высокая механическая прочность,
- исключительная химическая стойкость. Пластмассы обладают высокой стойкостью к большинству электролитов (за исключением сильных окислителей и концентрированной серной кислоты), во многих случаях оказываются хорошими заменителями металлов.

К отрицательным свойствам пластических масс относятся:

- повышенная по сравнению с металлами хрупкость, малая теплостойкость,
- значительный коэффициент линейного термического расширения
- и способность некоторых из них к текучести под влиянием длительных нагрузок (особенно при повышенной температуре).

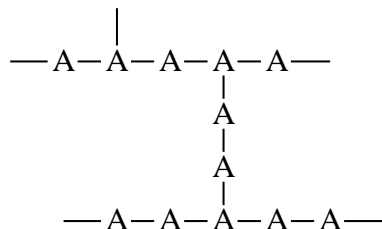
Многие такие материалы обладают высокими диэлектрическими свойствами, что при движении жидкостей по пластмассовым трубопроводам может привести к накоплению зарядов статического электричества и явиться причиной загорания и взрывов. Снять заряды с трубопроводов из пластмасс довольно сложно.

Пластические массы разделяются на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные полимеры имеют линейное



или разветвленное

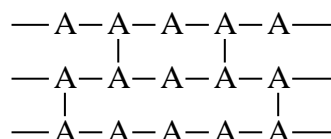


строение (где А — элементарное звено мономера). Под влиянием тепла и давления они переходят в пластическое состояние, не претерпевая при этом химических изменений. Форма, приданная такому материалу при нагреве, сохраняется после остывания, но при повторном нагреве может быть изменена. Это свойство обуславливает практически очень длительное использование оборудования из термопластичных материалов, так как оно не разрушается от химического воздействия, а в случае изменения схемы производства мо-

жет быть разобрано, форма фасонных его частей изменена в соответствии с новыми условиями и оборудованию придана новая необходимая конфигурация.

В растворителях термореактивные пластмассы набухают или растворяются.

Термореактивные пластмассы под действием тепла и давления подвергаются ко-ренным необратимым изменениям, следовательно, после термообработки изделия из них навсегда сохраняют приданную им форму. Такие полимеры имеют сетчатое простран-ственное строение:



Химические связи между цепями макромолекул делают их нерастворимыми и неплавкими.

При синтезе термореактивных пластмасс сначала получают полимеры линейного строения, которые при нагреве и воздействии отвердителей в процессе переработки пластмасс в изделие приобретают пространственное строение, причем, регулируя частоту сетки, т.е. химические связи между макромолекулами, полимерам придают определенные свойства. Полимеры, имеющие пространственное строение, обладают повышенной термо-стойкостью, более высокими упругими свойствами по сравнению с полимерами, имею-щими линейное или разветвленное строение.

## ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

**Металлические покрытия.** Для обеспечения амортизационного срока службы ап-парата достаточен слой коррозионно-стойкого материала толщиной в несколько милли-метров, а для обеспечения условий прочности нужна стенка значительно большей толщи-ны. Один из эффективных способов экономии дефицитных коррозионностойких сталей – применение двухслойных материалов, основой которых является относительно дешевая углеродистая сталь, а вторым слоем – цветной или легированный металл.

**Неметаллические неорганические покрытия.** К этим видам защитных покрытий относятся эмалирование и футеровка аппаратов.

Эмалирование применяется в тех случаях, когда через защищаемую от корро-зии поверхность металла необходимо передавать значительные количества тепла.

Эмалирование – это многократное наплавление стекловидного материала на по-верхность металла при повышенных (760–900 °С) температурах до получения сплошного покрытия, толщина которого составляет 0,8–1,2 мм.

Сначала наносят слой грунтовой эмали, предназначенной для прочного соединения покрытия с металлической поверхностью и компенсации градиента температурных коэф-фициентов линейного расширения металла и наплавленного слоя из покровной эмали.

А затем наносят слой покровной эмали, обеспечивающей коррозионную защиту.

По функциональному назначению покровные эмали условно можно разделить на следующие группы:

- кислотостойкие, применяемые для защиты химического оборудования из стали и чугуна от воздействия кислых сред любой концентрации за исключением плавиковой кис-лоты и ее производных;

- кислотостойкие с повышенной щелочестойкостью, применяемые для защиты хи-мического оборудования из стали и чугуна от воздействия кислот любой концентрации, их солей и слабых растворов щелочей;



– универсальные, применяемые для защиты химического оборудования из стали и чугуна от воздействия переменных (кислота – щелочь) и нейтральных сред;

Качество покрытия, нанесенного на поверхность металла, в основном зависит от качества подготовки поверхности изделия к нанесению покрытия. Подготовку металла осуществляется в 2 стадии: термическая обработка и механическая.

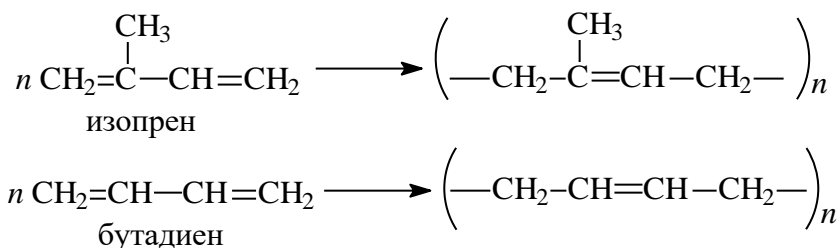
Футеровкой называется покрытие поверхности аппаратов, подвергающейся коррозии, химически стойким облицовочным материалом (в большинстве случаев плитками).

В качестве облицовочных материалов применяют метлахские плитки, кислотоупорный кирпич, стеклянные, графитовые, диабазовые плитки, плитки из каменного литья, а также полимерные материалы (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и т.д.). Наиболее распространена футеровка диабазовыми плитками и плитками из каменного литья. Эти материалы обладают хорошей химической стойкостью и выдерживают воздействие кислот и щелочей как на холоду, так и при нагревании.

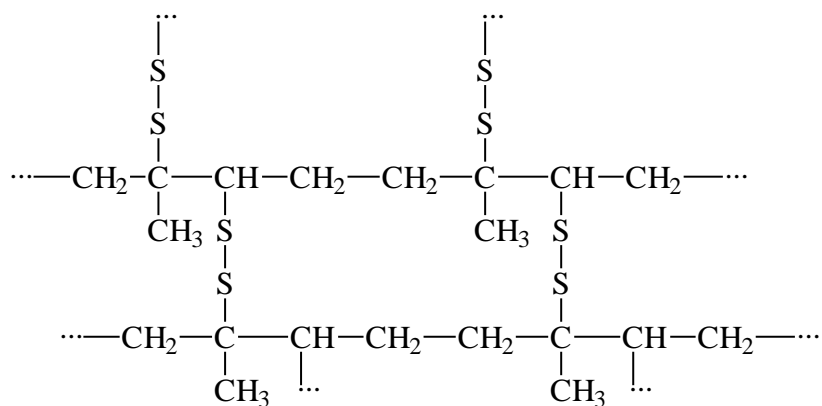
**Покрывтия из органических материалов.** В качестве защитных покрытий этого типа в химической промышленности применяются гуммирование, покрытие некоторыми пластмассами, а также лакокрасочными материалами.

Гуммирование – это покрытие поверхности аппарата резиной.

Серийные гуммировочные материалы изготовляют на основе натурального (изопренового) и синтетических (бутадиенового) каучуков, смешанных с наполнителями (сажей, серой, белилами).



Сырой каучук липок, непрочен, а при небольшом понижении температуры становится хрупким. Чтобы придать изготовленным из каучука изделиям необходимую прочность и эластичность, каучук подвергают вулканизации – вводят в него серу, а затем нагревают. Вулканизованный каучук называется резиной. При вулканизации сера присоединяется к двойным связям макромолекул каучука и "сшивает" их, образуя дисульфидные мостики:



В зависимости от содержания серы в смеси различают мягкую резину, твердую резину (эбонит) и промежуточный тип – жесткую резину (полуэбонит). Свойства резин обуславливаются как составом каучуков, так и содержанием серы. Мягкая резина содержит 0,8–4 % серы, полутвердая – 12–20 %, твердая – 30–50 % от массы каучука.

Лакокрасочные покрытия применяют для защиты от коррозии наружных поверхностей аппаратуры и емкостей и коммуникаций.

## ЛЕКЦИЯ №3

### ДЕТАЛИ РЕАКТОРОВ

#### ОБЕЧАЙКИ, КРЫШКИ И ДНИЩА

**Обечайка.** Обечайка является главным составным элементом корпуса, это наиболее материалоемкий и ответственный узел (деталь) любого химического аппарата.

С точки зрения экономии материала и равномерного распределения напряжений, возникающих в материале стенок от нагрузок, наиболее благоприятной формой для обечайки является сферическая. Сфера обладает наибольшей поверхностью на единицу объема, и при заданном давлении толщина стенки ее оказывается минимальной. Однако изготовление сферических оболочек более сложно и дорого, чем изготовление цилиндрических обечаек. Кроме того, сфера – весьма неподходящая форма для размещения внутренних рабочих устройств аппарата и для организации тока взаимодействующих агентов. Поэтому сферическую форму придают или большим хранилищам для жидкостей и газов, в которых благодаря этому удастся уменьшить вес конструкции, или аппаратам, в которых наименьшее отношение их наружной поверхности к объему существенно важно для хорошей работы, как, например, в танках для жидкого кислорода.

Наибольшее распространение в химическом аппаратостроении получили цилиндрические обечайки. Главным их достоинством является простота изготовления и рациональный расход материала. Поэтому при конструировании аппаратов, если это не идет в разрез с какими-либо особыми требованиями, предъявляемыми к аппарату, рекомендуется применять цилиндрические обечайки.

Значительно реже применяются емкостные аппараты, ограниченные не поверхностями вращения, а плоскими стенками. Плоские стенки (коробчатая обечайка) применяются только в аппаратуре, работающей при небольших перепадах давлений. Плоские стенки невыгодны потому, что они плохо сопротивляются действующему на них давлению и расход металла на единицу полезного объема в таких конструкциях бывает более высок. Удельный расход металла на изготовление прямоугольных резервуаров составляет от 90 до 130 кг на 1 м<sup>3</sup> емкости, а для цилиндрических от 18 до 50 кг на 1 м<sup>3</sup> емкости, т.е. в 3–5 раз меньше, чем для прямоугольных, причем удельный расход в обоих случаях уменьшается с увеличением емкости. Чем больше требуемая емкость, тем более выгодно применение цилиндрических резервуаров по сравнению с прямоугольными.

Такие аппараты применяют для работы при небольших перепадах давлений и обычно используют в качестве кожухов сушилок, погружных холодильников и конденсаторов, корпусов фильтров и тому подобных аппаратов.

**Днища.** Днища также являются составными элементами корпусов химических аппаратов. Они, как правило, органически связаны с обечайкой аппарата и изготавливаются из того же материала.

В сварной и паяной аппаратуре днища обычно привариваются или припаиваются к обечайке; в ковальной и литой аппаратуре из пластичных материалов они либо представляют собой одно целое с обечайкой, либо также свариваются с ней; в литой аппаратуре из хрупких материалов днище всегда выполняется заодно с обечайкой. Форма днища определяется сопрягаемой с ним формой обечайки, химико-технологическими требованиями, предъявляемыми к тому или иному аппарату, давлением среды в нем, конструктивными соображениями и бывает эллиптической, сферической, конической и плоской.

Сфера – это идеальная форма для днища, т.к. в сферической оболочке не возникают изгибающие напряжения, кроме того она наиболее выгодна в отношении хорошего использования материала.

Однако такие днища достаточно трудоемки, они имеют высокую стоимость, и увеличивают длину аппарата. Сферические днища также неудобны для размещения штуцеров и сложны в изготовлении.

Наиболее широко используются эллиптические днища, которые имеют следующие преимущества: простота изготовления, рациональное расходование конструкционного материала, хорошая сопротивляемость давлению среды.

Плоские днища применяются в основном в аппаратах, работающих при атмосферном давлении. Они представляют собой круглые пластины (отбортованные или неотбортованные), привариваемые по контуру к обечайке корпуса или присоединяемые другими способами.

Плоские днища просты по конструкции, для их изготовления не требуется специального оборудования. Однако по прочности они наименее надежны, поэтому их используют в конструкциях тонкостенных аппаратов, работающих под налив, при атмосферном или незначительном избыточном давлении, а также для люков и заглушек в аппаратах, нагруженных значительным избыточным давлением.

По экономических и технологическим соображениям плоские днища (крышки) применяют также в конструкциях толстостенных аппаратов высокого давления.

Конические днища применяются в 3-х случаях: 1) при необходимости удалять из аппаратов сыпучие материалы или жидкости с большим содержанием твердых веществ; 2) для лучшего распределения газа или жидкости по всему сечению аппарата и 3) в качестве конфузоров и диффузоров для постепенного изменения скорости жидкости или газа, что необходимо для уменьшения гидравлического сопротивления аппаратов.

**Крышки.** В отличие от днищ, неразъемно соединенных с обечайкой корпуса, крышки могут изготавливаться либо совместно с аппаратом, либо в виде съемных частей. Применение отъемных крышек для аппаратов больших диаметров считается нецелесообразным, прежде всего из-за повышенного расхода металла, трудоемкости изготовления фланцев большого диаметра и их уплотнения. Возможность внутреннего осмотра и чистки аппарата, а также сборки и разборки мешалок и внутренних устройств обеспечивается в этих случаях путем установки люков достаточно большого размера. Конструктивно крышки выполняются плоскими, сферическими или эллиптическими.

## ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ПРОКЛАДКИ И КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ

Фланцевые соединения служат для соединения отдельных частей аппаратов: съемных крышек, люков и др. и трубопроводов. В аппаратах химических производств они являются одним из наиболее распространенных и ответственных разъемных соединений. Правильный их выбор в значительной степени предопределяет надежную работу сосудов и аппаратов.

Фланцевые соединения, применяемые в химической аппаратуре, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) обеспечивать герметичность соединения при данных рабочих давлении и температуре;
- 2) быть прочными;
- 3) позволять быструю и многократную сборку и разборку соединения;
- 4) быть технологичными, обеспечивающими возможность их массового изготовления;
- 5) быть достаточно дешевыми.

По конструкции и способу соединения со штуцером или корпусом различают следующие основные виды фланцев:

- фланцы, отлитые или откованные заодно с трубой или обечайкой;
- плоские приварные фланцы;
- фланцы с утолщением у основания ("с шейкой"), привариваемые к трубе в стык;
- свободные фланцы на отбортовке и бурте;
- фланцы на резьбе.

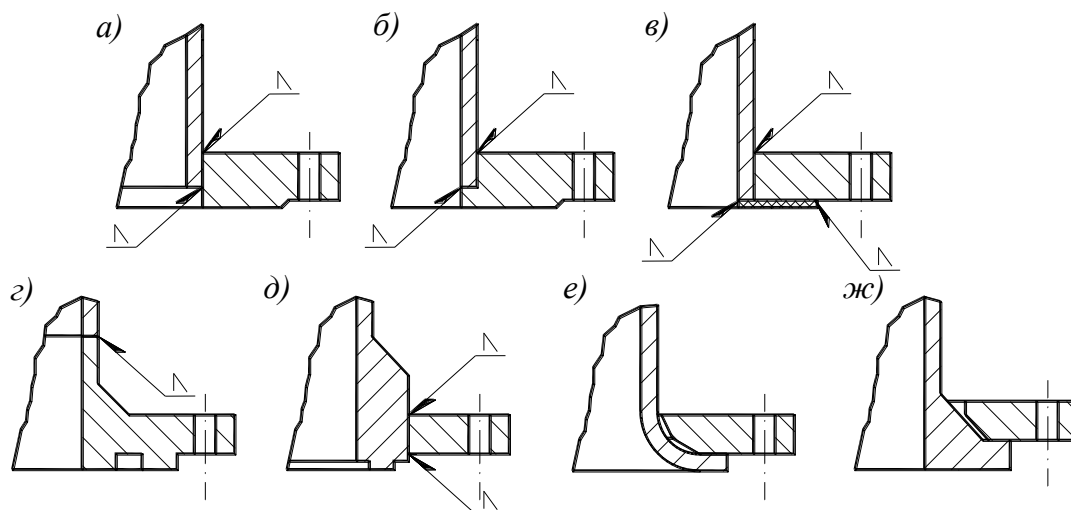


Рис. 1. Основные типы фланцев:

*а-в* – плоские приварные; *г-д* – "с шейкой"; *е* – на отбортовке; *ж* – на бурте

**Форма фланцев** (рис. 2) по преимуществу круглая. Она удобна для изготовления заготовки и механической обработки. Фланцы труб небольшого диаметра иногда делают квадратными. Число болтов фланцев должно быть кратно четырем. Исключением являются овальные фланцы трубопроводов высокого давления. По весу они получаются не менее тяжелыми, чем круглые при тех же  $D_y$  и  $p_y$ . Болты для овальных фланцев делаются в 1,4 раза большего диаметра, чем болты круглых фланцев с четырьмя отверстиями для того, чтобы сохранить необходимую площадь сечения болтов.

Фланцы всегда работают в паре или с другим фланцем, или с заглушкой, имеющей те же присоединительные размеры.

Для крепления фланцевого соединения при давлении до 1,6 МПа и температуре до 200 °С применяют болты, при более высоких температурах и давлениях – шпильки, снабженные гайками с обеих сторон, т.к. у головки болтов возникают очень значительные местные напряжения. Шаг по болтовой окружности обычно принимают равным  $(2,5 \div 4)d$  ( $d$  – наружный диаметр резьбы).

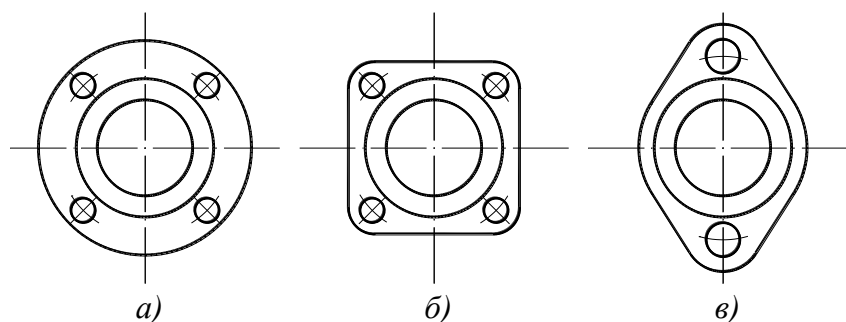


Рис. 2. Форма фланцев:

*a* – круглая; *б* – квадратная; *в* – овальная

**Уплотнение фланцевых соединений** достигается сжатием с определенной силой, обеспечивающей герметичность, уплотняемых поверхностей непосредственно друг с другом (беспрокладочное соединение) или через посредство расположенных между ними прокладок из более мягких материалов.

Наибольшее распространение имеет прокладочное уплотнение, применяемое в соединениях низкого, среднего и высоких давлений, а также при вакууме. В таких соединениях уплотнение достигается тем, что значительно более мягкая, чем основной материал фланца, прокладка деформируется и заполняет все неровности на уплотнительной поверхности фланцев.

Беспрокладочные соединения применяются значительно реже, как правило, при повышенных давлениях и в тех случаях, когда невозможно применить прокладки по температурным или каким-либо другим условиям. В этом случае уплотнение достигается за счет узкого пояса деформации материала, возникающего в месте касания под действием осевых сил. Уплотнения с упругой деформацией обеспечивают многократную сборку и разборку. Однако они обычно требуют дополнительной шлифовки уплотняемых поверхностей почти после каждой разборки. Необходимость достаточно сложной и дорогостоящей обработки уплотняемых поверхностей является главным недостатком беспрокладочных соединений, поэтому там, где это допускается по температурным, коррозионным и другим условиям, для обеспечения лучшей герметичности и уменьшения необходимой для этого силы сжатия уплотняемых поверхностей, помещается прокладка.

#### **Форма уплотнительных поверхностей.**

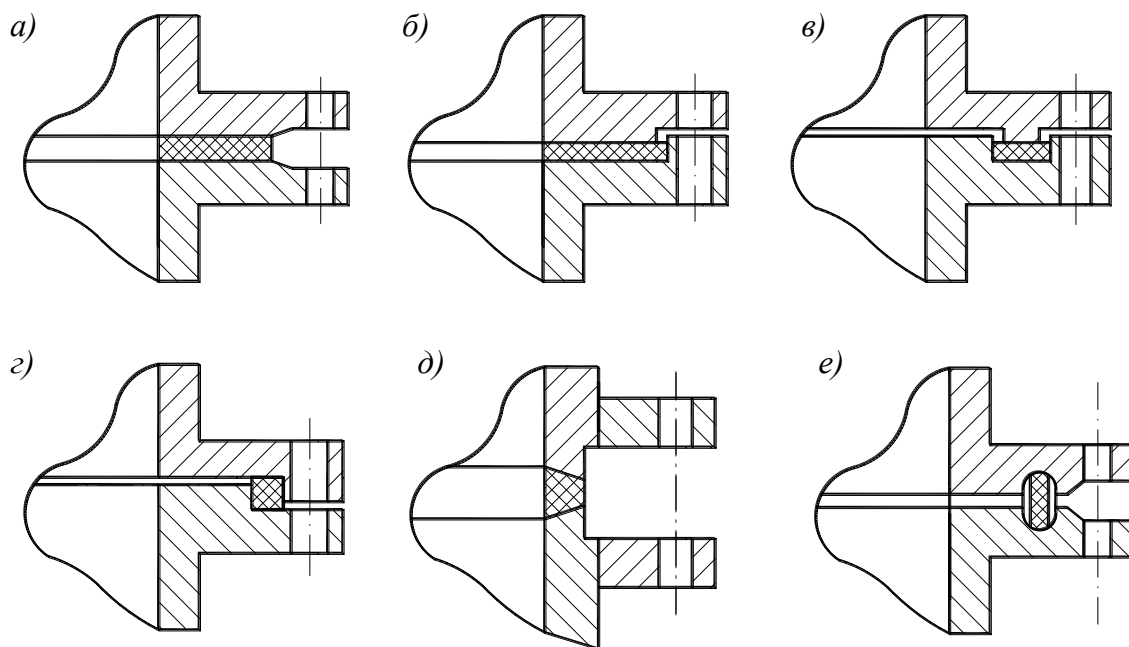


Рис. 3. Типы уплотнительных поверхностей фланцевых соединений:  
*a* – с плоской уплотнительной поверхностью; *б* – с выступом-впадиной; *в* – соединение "шип-паз"; *г* – соединение "в замок"; *д* – с линзовой прокладкой; *е* – с овальной прокладкой

## УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ГАРНИТУРА РЕАКЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Штуцеры изготавливаются из того же материала, что и обечайки и крышки самих аппаратов. Штуцеры стальных и алюминиевых аппаратов привариваются, медных – привариваются или припаиваются к ним. Штуцеры литой аппаратуры отливаются с ней заодно.

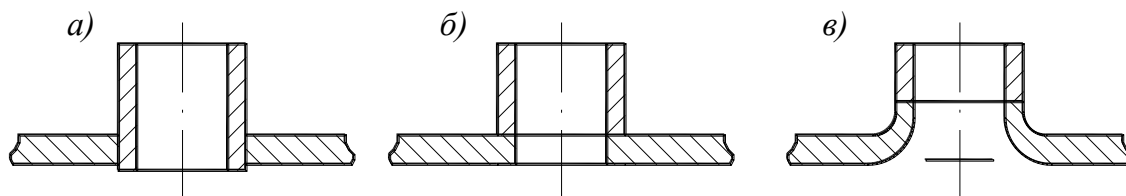


Рис. 4. Варианты приварки штуцеров

Штуцеры могут располагаться: на крышке аппарата, на обечайке и на днище.

На крышке аппарата располагают штуцеры, соединяющие реакционный аппарат с трубопроводами, подводящими и отводящими материалы, участвующие в процессе, а также ряд штуцеров, необходимых для эксплуатации аппарата: для промывки и продувки инертным газом или паром, подачи сжатого воздуха, установки предохранительных клапанов, термометра и других целей.

На обечайке аппарата, как правило, располагают штуцеры для перелива продукта, предназначенные для удаления из аппарата избыточного количества реакционной массы.

На днище располагают штуцеры для спуска продукта. В аппаратах с эллиптическими, сферическими и коническими днищами допускается установка только одного штуцера, расположенного в низшей точке аппарата и обеспечивающего полное удаление жидкости.

**Бобышки.** Вместо штуцеров с фланцами в некоторых случаях применяются бобышки, которые представляют собой фланцы, приваренные непосредственно к корпусу аппарата (рис. 5).

Достоинство бобышек состоит в том, что они служат укрепляющими кольцами. К их недостаткам относятся необходимость обработки их на цилиндр или сферу и, вследствие этого, большая толщина, чем фланца, и необходимость применения вместо болтов шпилек, ввернутых в тело бобышки. В случае обрыва шпилек (а шпильки чаще всего обрываются заподлицо с поверхностью бобышек) удаление их представляет значительные трудности.

Бобышки применяют для устройства смотровых стекол, при установке сальников, контрольно-измерительных приборов и для присоединения трубопроводов небольших диаметров, вместо штуцеров малых диаметров, которые легко поломать при перевозке и монтаже. Более широко бобышки применяются в литой чугунной аппаратуре, где они отливаются вместе с царгами аппарата.

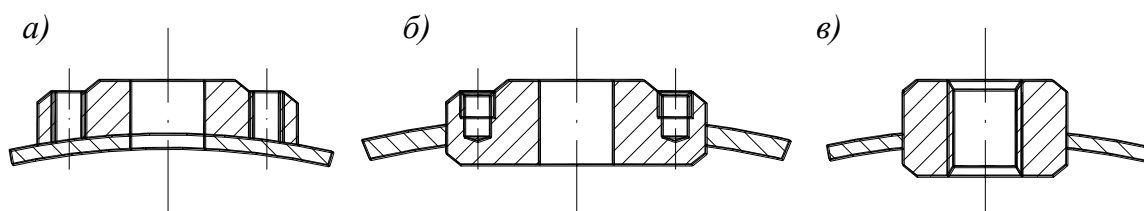


Рис. 5. Стальная приварная бобышка:  
*а* – накладная под фланец, *б* – сварная под фланец, *в* – сварная под резьбу

## ЛЮКИ И ЛАЗЫ

Люки служат для осмотра аппарата, монтажа и демонтажа внутренних устройств, загрузки сырья и очистки.

Конструкции люков и лазов зависят от условий работы и давления в аппарате. Если лазом пользуются редко, то крышку делают в виде заглушки, поставленную на бобышке или коротком штуцере с фланцем (рис. 6, *а*). При необходимости частого открывания крышку делают на откидных болтах (рис. 6, *б*), которые отвертываются значительно быстрее, чем обыкновенные, а люки и лазы, которые необходимо открывать несколько раз в день, делают с поворотной скобой, на конец которой накидывают петлю (рис. 6, *в*). Вместо болтов они имеют скобу 3, ворот 1, натяжной винт 2 и вилку 4. При закрывании люка скобу подводят под вилку и, вращая ворот, плотно прижимают крышку люка к горловине, так как при вращении ворота натяжной винт поднимает скобу и, опираясь на нее, давит на крышку. Люки со скобой очень удобны в работе при необходимости загрузки сыпучих продуктов в аппарат, однако они очень ненадежны, так как повреждение любого узла, нагруженного давлением, ведет к разрушению всего люка. Поэтому их снимают с производства.

Для облегчения перемещения тяжелых крышек лазов, а также из соображений безопасности крышки лазов делают на шарнире или подвешивают на укосине. Такие конструкции особенно необходимы для лазов, расположенных на большой высоте.

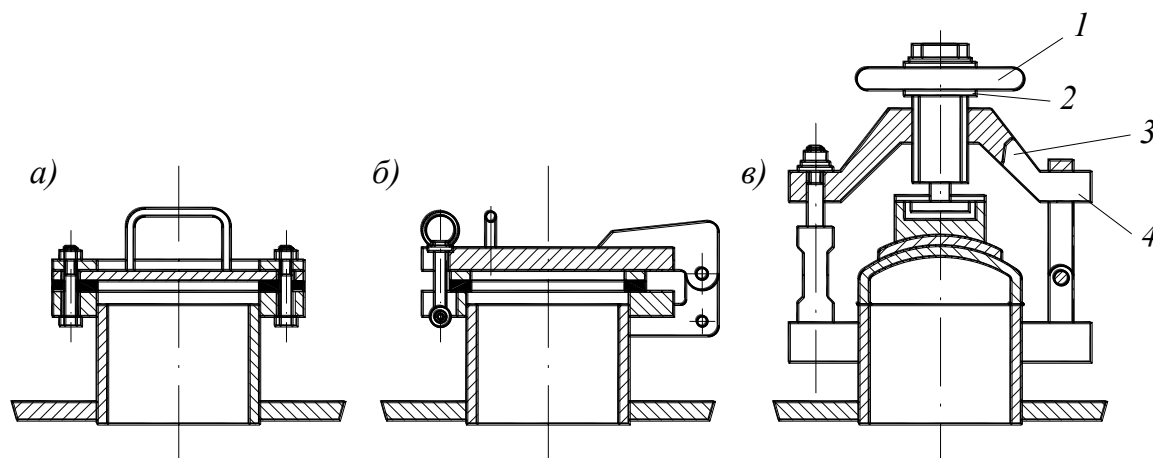


Рис. 6. Люки и лазы:  
*а* – с заглушкой; *б* – с крышкой на откидных болтах; *в* – с поворотной скобой

## ОПОРЫ АППАРАТОВ

Опоры аппаратов служат для установки аппаратов на фундаменты и несущие конструкции.

При установке вертикальных аппаратов на полу или на фундаментах применяют опорные лапы (стойки), при подвеске их между перекрытиями – боковые.

Сварная лапа (рис. 7, *б*) состоит из двух вертикальных косынок и приваренного к ним снизу основания с отверстиями для крепления оборудования к фундаменту и отжим-

ными болтами, которые служат для точной установки машин и аппаратов при монтаже. Лапы приваривают к боковым стенкам корпуса аппарата. При незначительной толщине стенки под лапы приваривают накладные листы.

Стойки приваривают к днищам вертикальных аппаратов (рис. 7, а). Стойки также состоят из двух вертикальных косынок и приваренного к ним снизу основания. В резьбовом отверстии основания установлен регулировочный винт, предназначенный для нивелирования. Второе отверстие служит для крепления аппарата к фундаменту при помощи анкерных болтов. При небольшой толщине днища над стойками также приваривают накладные листы.

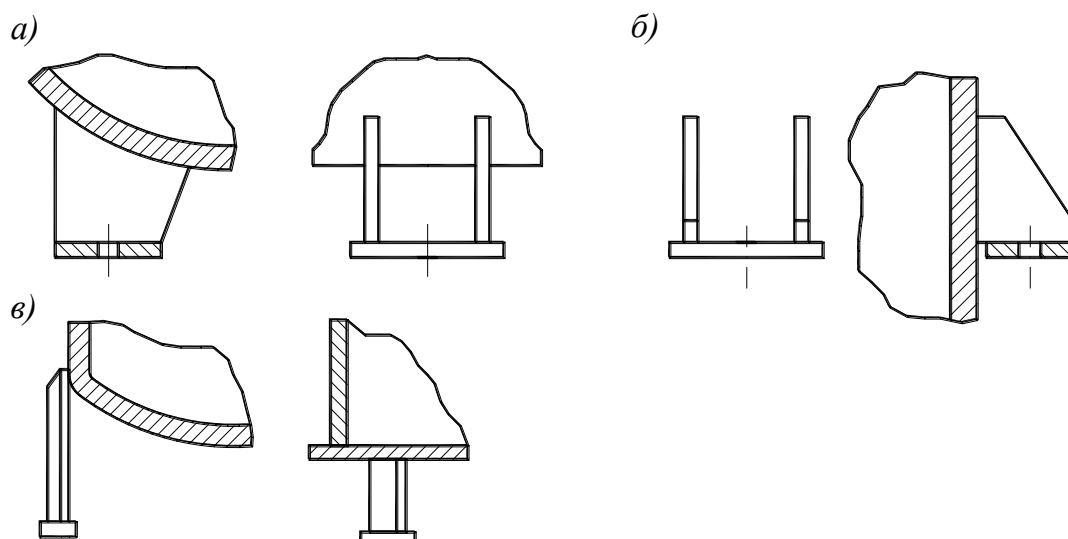


Рис. 7. Опоры аппаратов:  
а – опорные стойки; б – боковые лапы; в – опоры из труб и уголков

Для опирания горизонтальных аппаратов используют седловидные опоры, размещаемые снизу аппарата и охватывающие его не менее чем на  $120^\circ$  по окружности. Количество опор может быть 2, 3 и более, в зависимости от длины аппарата.

## ТЕПЛООБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА

По конструктивному исполнению теплообменные устройства подразделяют на наружные и внутренние.

Примером устройств первой группы является греющая рубашка.

Рубашка представляет собой сосуд, который надевается на корпус аппарата с зазором.

Гладкая рубашка эффективна, когда скорость движения теплоносителя мало влияет на теплопередачу, например, при обогреве паром. При использовании жидких теплоносителей для увеличения скорости их движения к рубашке приваривают спираль. Это увеличивает эффективность теплообменного устройства иногда в 6–7 раз.

Соединение сосуда с рубашкой выполняется в различных вариантах (рис. 8).



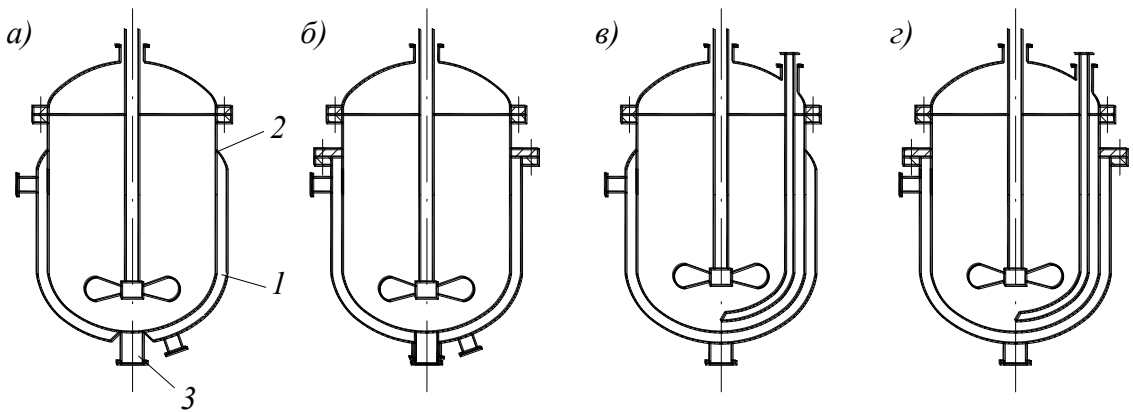


Рис. 8. Варианты присоединения рубашки к корпусу аппарата:  
1 – рубашка; 2 – аппарат; 3 – нижний сливной штуцер

Иногда соображения технологического характера заставляют применять рубашку, покрывающую целиком боковую поверхность аппарата и, следовательно, доходящую до его верхнего фланца.

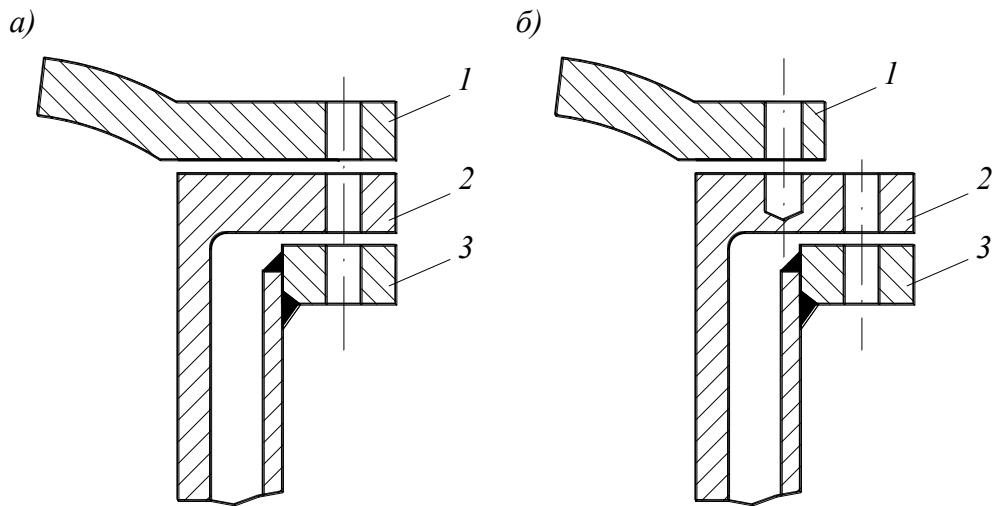


Рис. 9. Способы крепления фланцев рубашки (3), аппарата (2) и крышки (1)

По условиям механической прочности давление насыщенного водяного пара, подаваемого в рубашку стального аппарата, не должно превышать 1,1 МПа, в рубашку чугунного аппарата 0,6 МПа.

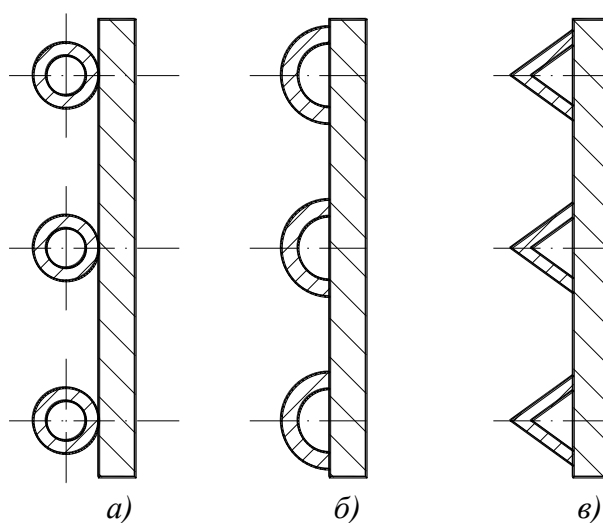


Рис. 10. Приваренные змеевики:  
 а – из целой трубы; б – из полутрубы; в – из профильного проката

Если для обогрева стальных реакторов требуется насыщенный водяной пар давлением выше 1,1 МПа или необходимы высокие скорости движения теплоносителей, применяют приваренные снаружи к стенке реактора змеевики, выполненные из целой трубы (рис. 10, а), полутрубы (рис. 10, б) или профильного проката (рис. 10, в), а также рубашки со вмятинами.

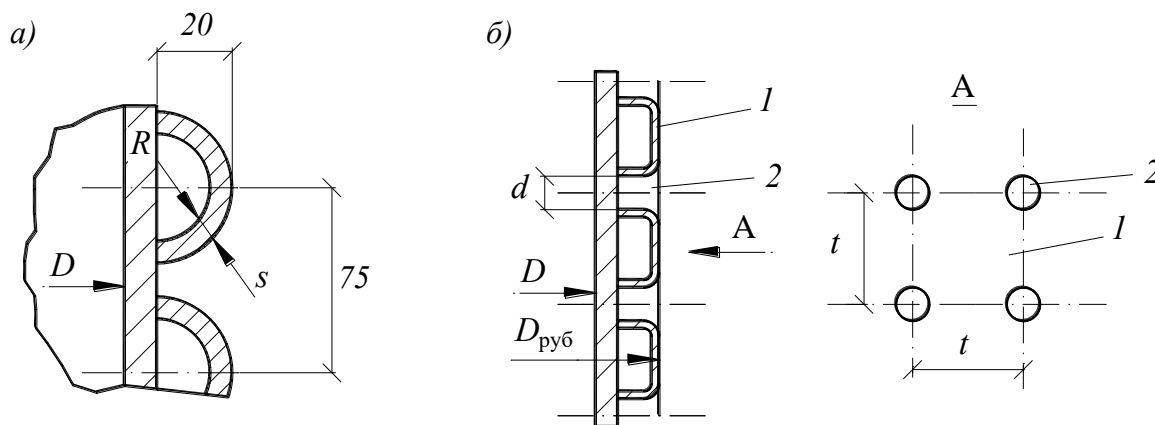


Рис. 11. Рубашка из полутруб (а) и со вмятинами (б)

Рубашки из полутруб (рис. 11, а) выполняются из спиральной полутрубы, приваренной к цилиндрической части сосуда. На днище устанавливается рубашка со вмятинами или змеевик из трубы полного сечения. Рубашки со вмятинами (рис. 11, б) выполняются из обечайки 2, на которой предварительно прорублены отверстия 1, а их кромки отогнуты внутрь. Кромки отверстий привариваются к сосуду аппарата.

Рубашка имеет ограниченную поверхность и не всегда способна обеспечить требуемый теплообмен. В этих случаях прибегают к установке внутренних теплообменных элементов (рис. 12).

Их выполняют в виде цилиндрической ("а") или плоской ("б") трубчатой спирали. В первом случае спираль устанавливают около стенки, во втором – у дна реактора. Недостаток такого расположения змеевиков – в сложности их чистки. В качестве теплообменных элементов вместо змеевиков часто используют полые диффузоры в виде цилиндрического или конического стакана с легко очищаемыми стенками ("в") или пучки прямых труб ("г").

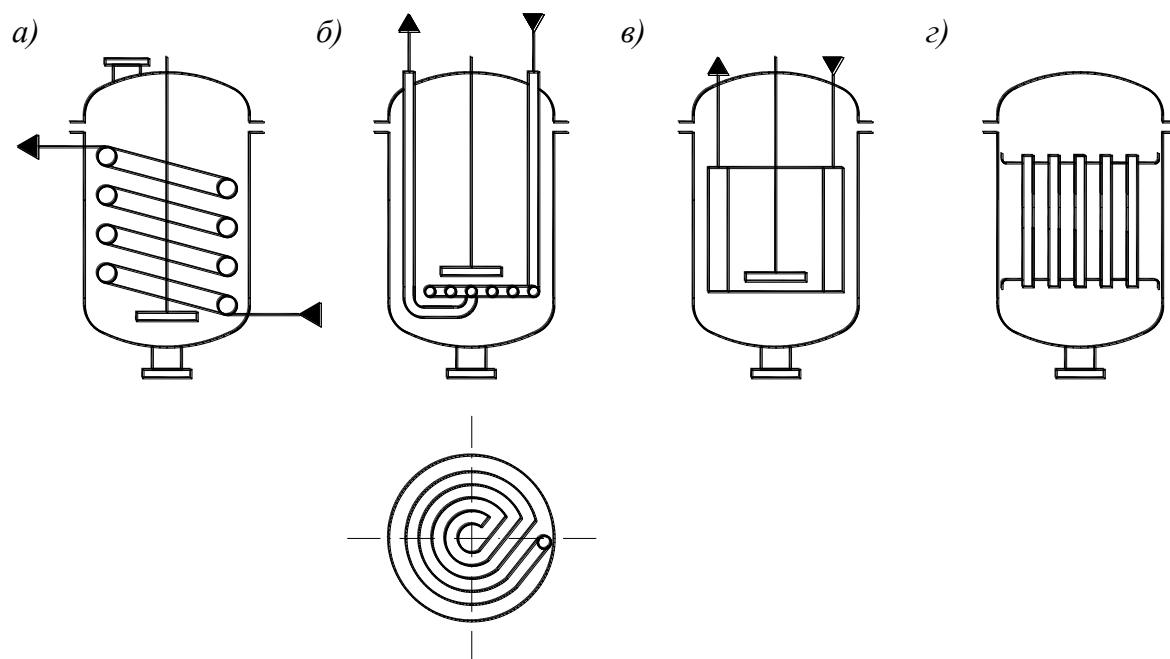


Рис. 12. Внутренние теплообменные элементы:

а – цилиндрическая трубчатая спираль; б – плоская трубчатая спираль; в – диффузор; г – пучок прямых труб

Кроме змеевиков используют также специальные охлаждающие гильзы (рис. 13).

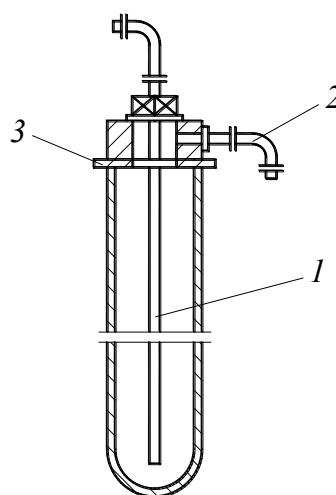


Рис. 13. Гильзы:

1 – трубка для ввода охлаждающей жидкости; 2 – трубка для вывода охлаждающей жидкости; 3 – фланец

## ЛЕКЦИЯ №4

### ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

#### КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

**Механическое перемешивание** осуществляется с помощью мешалок, которым сообщается вращательное движение либо непосредственно от электродвигателя, либо через понижающую передачу.

Традиционный вид оборудования для механического перемешивания – вертикальный цилиндрический аппарат с мешалкой, ось вращения которой совпадает с осью. Основными элементами таких аппаратов являются корпус, привод, уплотнение вала и мешалка.

**Приводом** перемешивающего устройства практически всегда служит электродвигатель, соединенный с валом мешалки прямой или понижающей передачей. Прямая передача встречается сравнительно редко, основными областями ее применения являются аппараты малого объема (менее  $1 \text{ м}^3$ ), переносные мешалки и аппараты с экранированными электродвигателями, используемые в качестве привода аппаратов, предназначенных для перемешивания токсичных, взрыво- и пожароопасных веществ при повышенных давлениях.

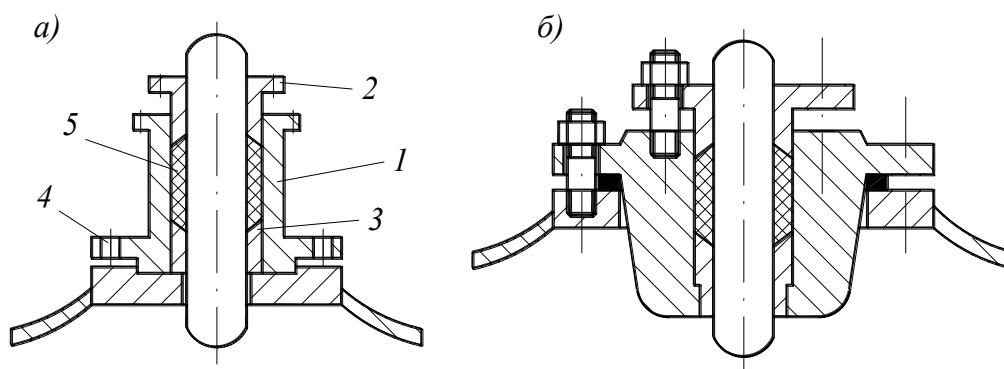


Рис. 14. Сальниковое уплотнение:

1 – корпус; 2 – нажимная крышка; 3 – втулка; 4 – натяжные шпильки; 5 – сальниковая набивка

**Уплотнение вала** осуществляется различными способами, зависящими в основном от давления среды в аппарате, требуемой степени герметизации и других специфических условий, предъявляемых к тому или иному аппарату.

Аппараты, предназначенные для перемешивания нетоксичных и невзрывоопасных жидкостей при невысоких давлениях (до  $0,6 \text{ МПа}$ ) снабжают сальниковыми уплотнениями.

Торцовые уплотнения более совершенны, поэтому ими снабжаются аппараты, предназначенные для перемешивания токсичных и взрывоопасных сред.

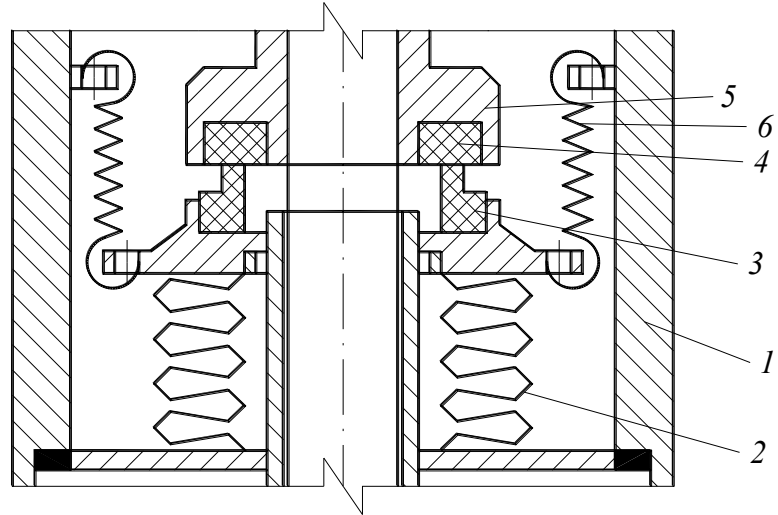


Рис. 15. Одинарное торцовое уплотнение:  
 1 – корпус; 2 – сильфон; 3 – неподвижное графитовое кольцо; 4 – подвижное кольцо; 5 – втулка; 6 – пружина

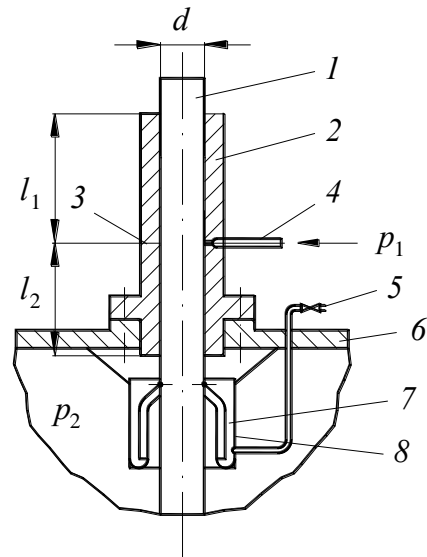


Рис. 16. Гидравлическое уплотнение:  
 1 – вал; 2 – втулка; 3 – кольцевая канавка; 4 – трубка; 5 – дроссельный вентиль; 6 – крышка аппарата; 7 – стакан; 8 – неподвижный стакан

Для аппаратов, работающих при высоких давлениях (10 МПа и более), применяется втулочное гидравлическое уплотнение.

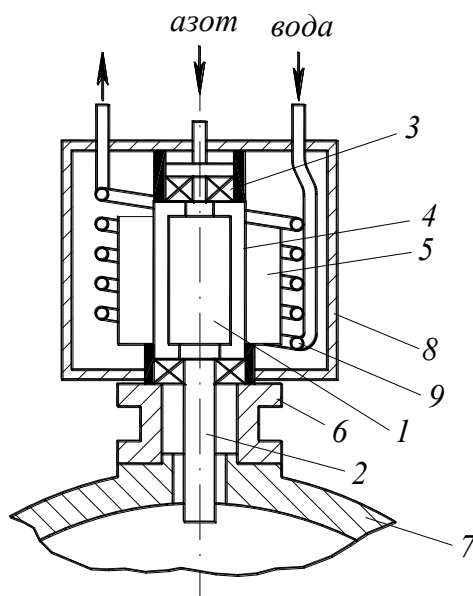


Рис. 17. Реактор с экранированным электродвигателем:

1 – ротор электродвигателя; 2 – вал; 3 – подшипники; 4 – экранирующая гильза; 5 – статор; 6 – горловина; 7 – крышка реактора; 8 – кожух; 9 – змеевик

Все вышеописанные способы не гарантируют полной герметизации аппаратов. Утечки перерабатываемой среды в атмосферу можно полностью устранить, применив в качестве привода асинхронный электродвигатель с экранирующей гильзой или магнитную муфту.

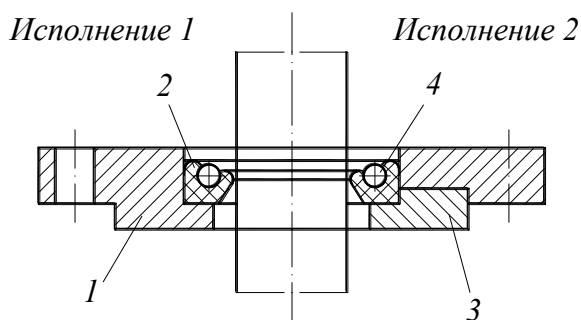


Рис. 18. Манжетное уплотнение:

1 – фланец; 2 – манжета; 3 – диск; 4 – стальная пружина

В оборудовании, работающем при атмосферном давлении широко используются манжетные уплотнения (рис. 18).

## МЕШАЛКИ

ГОСТом 20680–80 регламентируется 12 типов мешалок: трехлопастная с углом наклона лопасти  $\alpha = 24^\circ$ ; винтовая (пропеллерная); турбинная открытая; турбинная закрытая; шестилопастная, с углом наклона лопасти  $\alpha = 45^\circ$ ; клетьевая; лопастная; шнековая; якорная; рамная; ленточная; зубчатая.

Все применяемые мешалки могут быть разделены на быстроходные и тихоходные. Под быстроходными понимаются мешалки, используемые для перемешивания жидких сред при турбулентном и переходном режимах движения жидкости; под тихоходными – при ламинарном движении жидкости. Быстроходные мешалки обычно применяются в аппаратах при значениях  $\Gamma \geq 1,5$  ( $\Gamma = \frac{D_{\text{ап}}}{d_{\text{м}}}$ , где  $D_{\text{ап}}$  – внутренний диаметр аппарата,  $d_{\text{м}}$  – диаметр мешалки), тихоходные – при значениях  $\Gamma = (1,05 \div 1,25)$ .

При работе любых вращающихся мешалок возникает сложное трехмерное течение жидкости: тангенциальное, радиальное и осевое. При тангенциальном течении жидкость в аппарате движется преимущественно по концентрическим окружностям, параллельным плоскости вращения мешалки. Перемешивание происходит за счет вихрей, возникающих на кромках мешалки. Качество перемешивания будет наихудшим, когда скорость вращения жидкости равна скорости вращения мешалки.

Радиальное течение характеризуется направленным движением жидкости от мешалки к стенкам аппарата за счет центробежной силы, возникающей при вращении мешалки. Дойдя до стенки сосуда, поток жидкости делится на два: один движется вниз, другой вверх (рис. 19). Осевое течение жидкости направленно параллельно оси вращения мешалки. При осевом течении создается циркуляция жидкости (насосный эффект), являющийся важной характеристикой мешалки: чем больше насосный эффект, тем лучше идет процесс перемешивания.

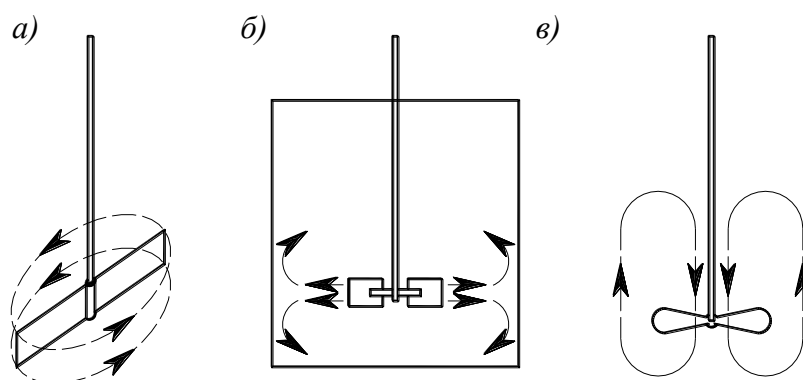


Рис. 19. Профиль жидкости при тангенциальном (а), радиальном (б) и осевом (в) течении

**Быстроходные мешалки.** К быстроходным относят лопастные, пропеллерные, турбинные, клетьевые и зубчатые мешалки.

**Лопастные мешалки.** Лопастными мешалками называются устройства, состоящие из двух или большего числа лопастей прямоугольного сечения, закрепленных на вращающемся вертикальном или наклонном валу.

Наиболее часто применяют двухлопастные (иногда называемые лопастными), трехлопастные и шестилопастные мешалки.

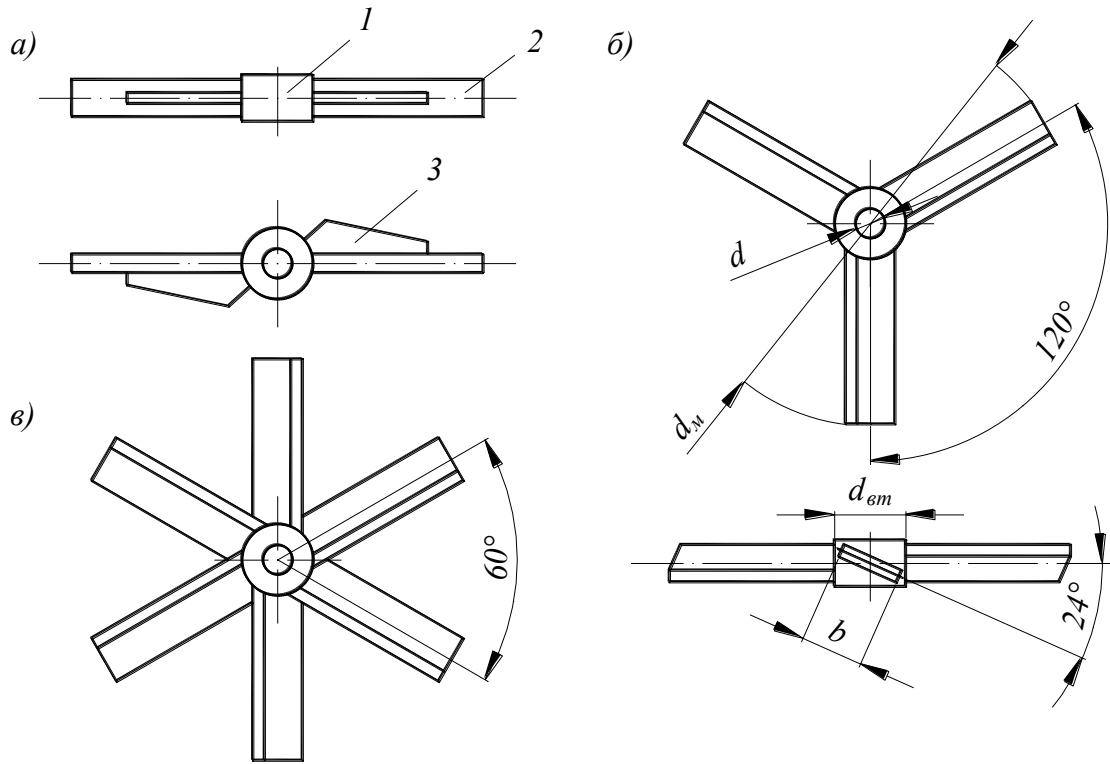


Рис. 20. Лопастные мешалки:

*a* – двухлопастная; *б* – трехлопастная; *в* – шестилопастная; 1 – втулка; 2 – лопасть; 3 – укрепляющие ребра

Турбинные мешалки работают по принципу центробежного насоса. В отличие от лопастных, рамных и якорных мешалок, сообщаящих жидкости в основном вращательное движение, они обеспечивают и значительное радиальное течение.

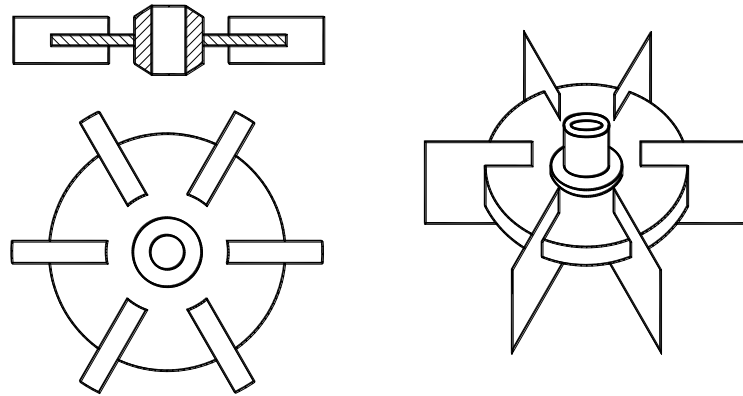


Рис. 21. Турбинная мешалка

Турбинные мешалки снабжены лопатками и имеют четко очерченный ротор (рис. 21). Наиболее простой и одновременно высокоэффективной является мешалка с прямыми лопатками, расположенными радиально. Лопатки могут быть приварены к диску или при-



креплены с помощью болтов. Плоские лопатки могут также быть наклонены под определенным углом относительно плоскости вращения мешалки (чаще всего  $\alpha = 45^\circ$ ).

Винтовые мешалки представляют собой сварную трехлопастную конструкцию. Каждая из трех лопастей выполняется из листа и является частью правильной винтовой поверхности, имеющей постоянный шаг, равный диаметру пропеллера  $d_m$  (рис. 22).

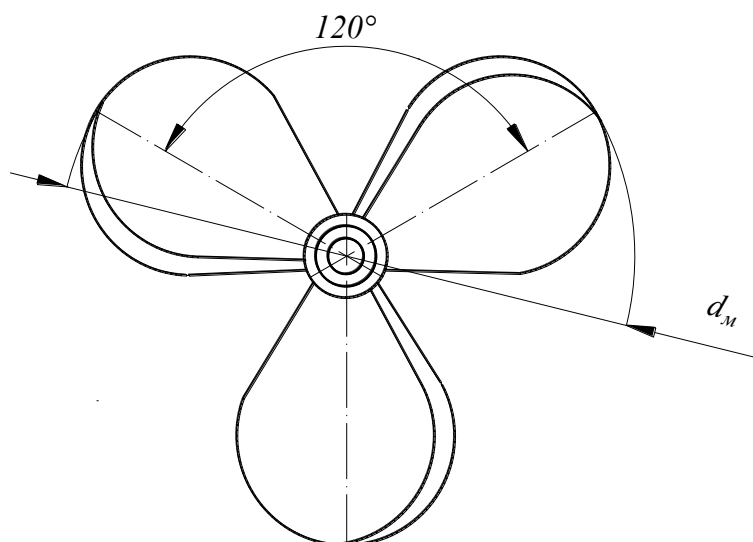


Рис. 22. Винтовая мешалка

Быстроходные мешалки чаще всего работают в аппаратах с отражательными перегородками. Целью установки отражательных перегородок служит изменение структуры поля скоростей – уменьшение окружной составляющей скорости при соответствующем увеличении осевой и радиальной составляющих. Преимущественно окружной характер движения перемешиваемой среды в аппаратах без внутренних устройств в ряде случаев ограничивает возможности интенсификации перемешивания вследствие завихрения жидкости и образования воронки.

В аппаратах с неметаллическими покрытиями (эмалированные, гуммированные) роль отражательных перегородок выполняют отражатели, закрепляемые на крышке (рис. 23). Для повышения жесткости при действии гидродинамических нагрузок отражатели изготавливают из труб.

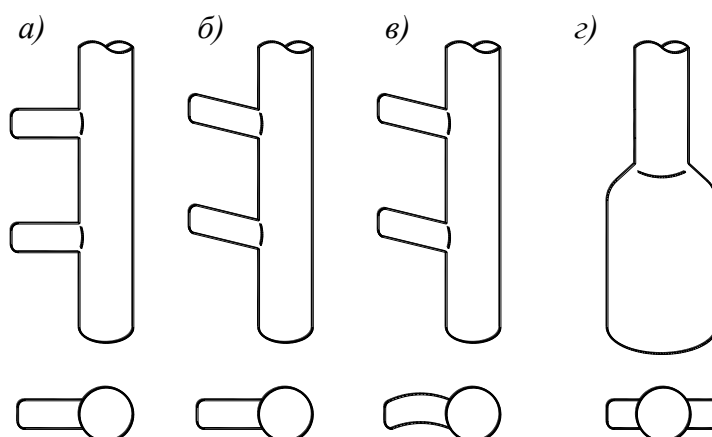


Рис. 23. Схемы отражателей:

*a, б* – с прямыми лопастями; *в* – с изогнутыми лопастями; *г* – веслообразный отражатель

К тихоходным мешалкам относятся рамные, якорные, шнековые и ленточные мешалки.

Рамные и якорные мешалки (рис. 24) отличаются исключительно низким числом оборотов. Их окружная скорость не превышает 0,5–1,5 м/с, а число оборотов 0,33–1 об/с. Диаметр мешалок приближается к диаметру сосуда, и зазор между лопастью и стенкой сосуда обычно принимается в пределах  $(0,005 \div 0,1)D$ . Таким образом, в случае применения этих мешалок можно избежать местного перегрева жидкости (при нагреве с помощью рубашки) или осадка на дне сосуда. Якорные и рамные мешалки применяются для перемешивания жидкостей высокой вязкости. Якорные мешалки пригодны для перемешивания жидкостей вязкостью 50 Па·с, а рамные – для перемешивания жидкостей вязкостью 100 Па·с.

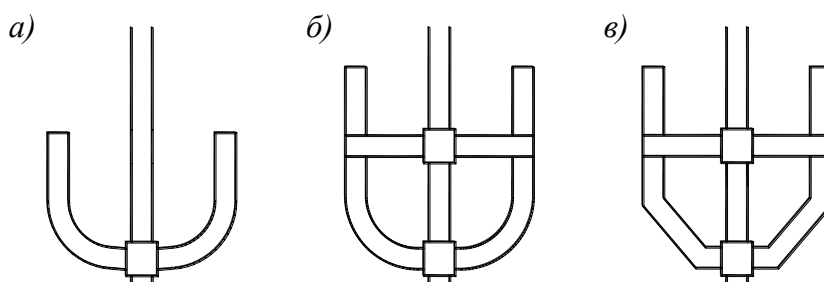


Рис. 24. Тихоходные мешалки:

*a* – якорная; *б* – рамная для аппаратов с эллиптическими днищами; *в* – рамная для аппаратов с коническими днищами

## ЛЕКЦИЯ №5

### ТЕПЛОНОСИТЕЛИ И ХЛАДАГЕНТЫ

#### ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ. ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Теплоносители, используемые в промышленности, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) достижение высоких температур при собственных низких давлениях;
- 2) большая термическая устойчивость;
- 3) отсутствие корродирующего действия на материал оборудования;
- 4) высокий коэффициент теплоотдачи;
- 5) большая удельная теплота испарения;
- 6) высокий КПД;
- 7) отсутствие токсических свойств, взрыво- и пожаробезопасность;
- 8) доступность и низкая стоимость.

#### НАГРЕВАНИЕ ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Наиболее широко в химической технологии в качестве теплоносителя используют насыщенный **водяной пар**, при конденсации которого выделяется значительное количество теплоты.

При нагревании насыщенным водяным паром различают "острый" и "глухой" пар.

При нагревании "острым" паром водяной пар вводится непосредственно в нагреваемую жидкость; конденсируясь, он отдает жидкости тепло, а конденсат смешивается с этой жидкостью.

Для нагревания и одновременного перемешивания жидкости пар вводят через барботер – трубу с рядом небольших отверстий. Барботер располагают на дне резервуара в виде спирали или колец.

Массу острого пара, используемого на нагревание жидкости  $D$ , кг, определяют из уравнения теплового баланса, учитывая равенство конечных температур нагреваемой жидкости и конденсата:

$$D = \frac{Q_2}{H - c_b t_2},$$

где  $Q_2$  – количество подводимого тепла, кДж;

$H$  – энтальпия пара, кДж/кг;

$c_b$  – теплоемкость конденсата, кДж/кг·К;

$t_2$  – конечная температура жидкости, К.

Нагревание острым паром в технике используют довольно редко, так как смешение нагреваемой жидкости и конденсата пара обычно недопустимо. Значительно чаще на практике нагревание насыщенным паром осуществляют через стенку (т.н. нагревание "глухим" паром). При этом способе нагревания пар, соприкасаясь с более холодной стенкой, конденсируется на ней, и конденсат в виде пленки стекает по поверхности стенки. Пар практически всегда вводят в верхнюю часть аппарата, а образующийся конденсат отводят из его нижней части через конденсатоотводчик. Температуру конденсата можно с достаточной точностью принять равной температуре насыщенного греющего пара.

Расход пара на нагревание  $D$ , кг, определяют из уравнения теплового баланса

$$D = \frac{Q_2}{r},$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг.

## НАГРЕВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ВОДОЙ

Горячая вода хорошо транспортируется, имеет высокий коэффициент теплопередачи и мало загрязняет поверхность теплообмена. Однако она обладает определенными недостатками по сравнению с насыщенным водяным паром. Во-первых, коэффициенты теплоотдачи от горячей воды, как и от любой другой жидкости, ниже, чем коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара. Во-вторых, температура горячей воды снижается вдоль поверхности теплообмена, что ухудшает равномерность нагрева и затрудняет его регулирование.

Расход воды и других жидких теплоносителей и хладагентов, не меняющих своего агрегатного состояния,  $G$  (в кг) определяют по формуле:

$$G = \frac{Q_2}{c(t_k - t_n)},$$

где  $Q_2$  – количество подводимого или отводимого тепла, кДж;

$c$  – теплоемкость теплоносителя или хладагента, кДж/кг·К;

$t_k$  и  $t_n$  – конечная и начальная температура теплоносителя или хладагента, К.

## НАГРЕВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

Применяемые в промышленности высокотемпературные теплоносители по принципу термодинамического подобия могут быть разделены на три основные группы:

- а) металлические;
- б) ионные;
- в) органические (ВОТ).

**Металлы** как теплоносители применяют как в жидком, так и в парообразном состоянии. В настоящее время используются литий, натрий, калий и ртуть. С их помощью можно обеспечить нагревание до температур 400–800 °С и выше при относительно низких давлениях.

Среди высокотемпературных теплоносителей жидкометаллические имеют самую высокую термическую стойкость. Однако наряду с этим они оказывают и самое большое агрессивное воздействие на конструкционные материалы, поэтому верхний температурный предел их применения определяется максимально допустимой температурой коррозионной стойкости конструкционного материала против агрессивного воздействия на него данного теплоносителя.

Пары жидкометаллических теплоносителей также обладают высокой токсичностью (для паров ртути предельно допустимое содержание их в воздухе производственных помещений составляет 0,01 мг/м<sup>3</sup>).

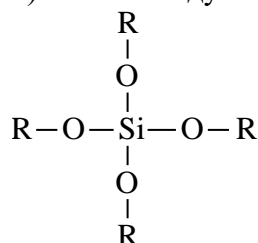
**Ионные высокотемпературные теплоносители.** К этому классу относятся следующие соединения:

- 1) соли почти всех неорганических кислот и их эвтектические сплавы (эвтектическими называются такие сплавы, температура плавления которых всегда ниже температур плавления всех компонентов, составляющих данную смесь);
- 2) кремнийорганические жидкости.

Из различных неорганических солей и их сплавов, применяемых в качестве ионных теплоносителей, наибольшее практическое применение имеет эвтектический сплав состава 53 % KNO<sub>3</sub> + 7 % NaNO<sub>3</sub> + 40 % NaNO<sub>2</sub> (нитрит-нитратная смесь СС-4). Она применяется при атмосферном давлении в интервале 150–550 °С. Этот теплоноситель характеризуется тонкостью регулировки степени нагрева, высокой теплоотдачей, хорошей термической стойкостью и до 500 °С практически не оказывает коррозионного воздействия на обыкновенные углеродистые стали. Для изготовления аппаратуры и трубопроводов, работающих при более высоких температурах, используют хромистые и хромоникелевые стали.

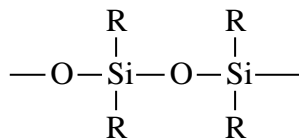
Температура плавления нитрит-нитратной смеси равна 142,3 °С, поэтому трубопроводы, по которым транспортируется этот теплоноситель, должны быть оборудованы системой парового обогрева и термоизолированы. При рабочих температурах расплав очень подвижен.

В качестве кремнийорганических теплоносителей (КОТ) используют ароматические эфиры ортокремниевой кислоты и полиорганосилоксаны. Ароматические эфиры ортокремниевой кислоты (силаны) имеют следующую структуру:



В ней ион кремния связан с ароматическими радикалами R через ионы кислорода, которые окружают его тетраэдрически. Из ряда ароматических эфиров ортокремниевой кислоты находят применение в качестве высокотемпературных теплоносителей тетра-м-крезосилан (СН<sub>3</sub>С<sub>6</sub>Н<sub>4</sub>О)<sub>4</sub>Si (ТКС), тетра-м-ксиленосилан ((СН<sub>3</sub>)<sub>2</sub>С<sub>6</sub>Н<sub>3</sub>О)<sub>4</sub>Si (ТКОС) и др.

Силиконовые теплоносители (полиорганосилоксаны) представляют собой кремнийорганические соединения – полиметилсилоксаны, полиэтилсилоксаны и полиметилфенилсилоксаны:



**Высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ).** По составу ВОТ делятся на однокомпонентные и многокомпонентные.

В свою очередь однокомпонентные ВОТ по форме молекул делятся на:

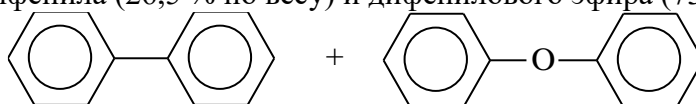
1) однокомпонентные ВОТ с симметричными молекулами (глицерин, этиленгликоль и полигликоль);

2) однокомпонентные ВОТ с плоскими молекулами – ароматические углеводороды (нафталин, замещенные бензола и нафталина: дифенил, дифенилбензол (терфенил), дифенилметан, дитолилметан (ДТМ) и т.д.).

Многокомпонентные ВОТ делятся на 3 подгруппы:

- 1) эвтектические смеси;
- 2) неэвтектические смеси;
- 3) минеральные масла.

Из всех перечисленных ВОТ самым изученным и распространенным на практике является дифенильная смесь (ДФС, даутерм, динил), являющаяся эвтектической азеотропной смесью дифенила (26,5 % по весу) и дифенилового эфира (73,5 %).



Дитолилметан (ДТМ) представляет собой техническую смесь *o*- и *p*- изомеров, получающихся при конденсации толуола с формальдегидом. Т.к. дитолилметан синтезируется из недефицитных и недорогих продуктов, стоимость его примерно в 1,3 раза меньше стоимости дифенильной смеси.

Ароматизированное масло АМТ-300 применяется, как и все масла, только в жидком состоянии и в атмосфере инертного газа (азота). Оно содержит 52–56 % ароматических и нафтенowych и 36–40 % парафиновых цепей.

Главными недостатками АМТ-300 являются невысокая термическая стойкость (уже при 180 °С происходит его термическое разложение с образованием горючих газообразных продуктов – метана, этана, пропана, этилена, пропилена и др.) и очень низкая температура самовоспламенения (290 °С) (всего на 5 °С выше максимальной рекомендуемой температуры применения (285 °С)).

## НАГРЕВАНИЕ ТОПОЧНЫМИ ГАЗАМИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

**Нагревание топочными газами.** Топливом называют природные или искусственные горючие органические вещества, являющиеся источником тепловой энергии и сырьем химической промышленности.

Преимущество топочных газов как теплоносителей заключается в том, что их температура не зависит от давления – газы имеют высокую температуру при атмосферном давлении.

Наиболее существенными недостатками этого способа нагрева являются: 1) невозможность транспортировки газов на дальние расстояния; 2) неравномерность нагрева, обусловленная охлаждением газа в процессе теплообмена; 3) трудность регулирования температуры обогрева; 4) низкие коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке (не более

35–60 Вт/м<sup>2</sup>·К); 5) возможность загрязнения нагреваемых материалов продуктами неполного сгорания топлива (при непосредственном обогреве газами).

**Нагревание электрическим током.** Наряду с топочными газами электрическая энергия представляет собой прямой источник тепловой энергии. При нагревании электрическим током может быть достигнут практически любой желаемый температурный режим, который легко поддерживать и регулировать. Кроме того, электрические нагревательные устройства отличаются простотой, компактностью и удобны для обслуживания. Однако применение электрического тока для нагрева относительно дорого:

## ОТВОД ТЕПЛОТЫ

**Вода.** Главными достоинствами воды как хладагента являются легкость регулирования температуры и хорошие условия теплопередачи. К недостаткам можно отнести: 1) возможность образования накипи и, как следствие этого, снижение коэффициента теплопередачи, 2) коррозию аппарата; 3) и, в ряде случаев, ограниченные ресурсы воды.

Охлаждение водой используют для достижения температур охлаждаемой среды на уровне 10–30 °С. При этом достигаемая температура охлаждения зависит от начальной температуры воды, которая в зависимости от ее источника может быть прудовой, речной, озерной, артезианской (получаемой из подземных скважин) или же оборотной – прошедшей водооборотный цикл промышленных предприятий. Речная, прудовая и озерная вода в зависимости от времени года имеет температуру 4–25 °С, артезианская вода – 8–12 °С, а оборотная (в летних условиях) – приблизительно 30 °С.

**Воздух.** Воздушное охлаждение в ряде случаев конкурирует с водяным, особенно при конденсации паров высококипящих жидкостей (при  $t_{\text{конд}} = 70\text{--}100$  °С и выше). Воздушные холодильники имеют, как правило, развитую наружную поверхность и снабжаются вентиляторами для принудительной подачи воздуха.

К главным достоинствам отвода тепла с помощью воздуха можно отнести следующее: 1) на стенках теплообменника не оседает накипь; 2) не происходит коррозии аппарата; 3) отпадает необходимость в создании водооборотного цикла.

К недостаткам: 1) значительные капитальные затраты на создание установки; 2) возможность использования только при высоких температурах конденсации продукта (< 70 °С); 3) низкий коэффициент теплоотдачи (в 30–60 раз меньше, чем у воды).

Для достижения **более низких температур** используют следующие способы.

1. Плавление твердых веществ. Охлаждение наступает в результате отвода из окружающей среды теплоты плавления. В качестве хладагента в этом случае наиболее часто используют лед. Лед обычно вносится непосредственно в охлаждаемую жидкость. При этом лед нагревается жидкостью до 0 °С, а затем плавится, отнимая теплоту плавления от охлаждаемой жидкости. Такой метод охлаждения применяется для жидкостей, которые не взаимодействуют с водой и для которых допускается разбавление.

Расход льда на охлаждение определяют следующим образом:

$$G = \frac{Q_2}{c_{\text{в}} t_{\text{к}} + r}, \text{ кг},$$

где  $r$  – теплота плавления льда, кДж/кг;

$t_{\text{к}}$  – конечная температура смеси охлаждаемой жидкости и воды (образующейся в результате таяния льда), °С;

$c_{\text{в}}$  – теплоемкость образующейся в результате таяния воды, кДж/кг·К;

$Q_2$  – количество отводимого тепла, кДж.

2. Охлаждение холодильными рассолами – водными растворами некоторых солей, в основном хлоридов натрия или кальция, замерзающих при низких температурах.

Выбор рассола и его концентрации зависит от требуемой температуры охлаждения, причем эта температура должна быть выше криогидратной точки, соответствующей температуре замерзания рассола.

Водные растворы хлорида натрия применяют для охлаждения реакционных масс примерно до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , водные растворы хлорида кальция для охлаждения примерно до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .