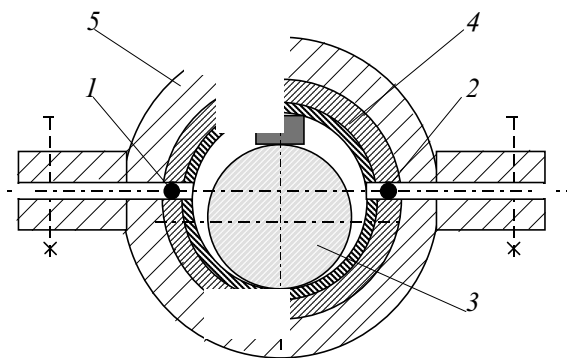
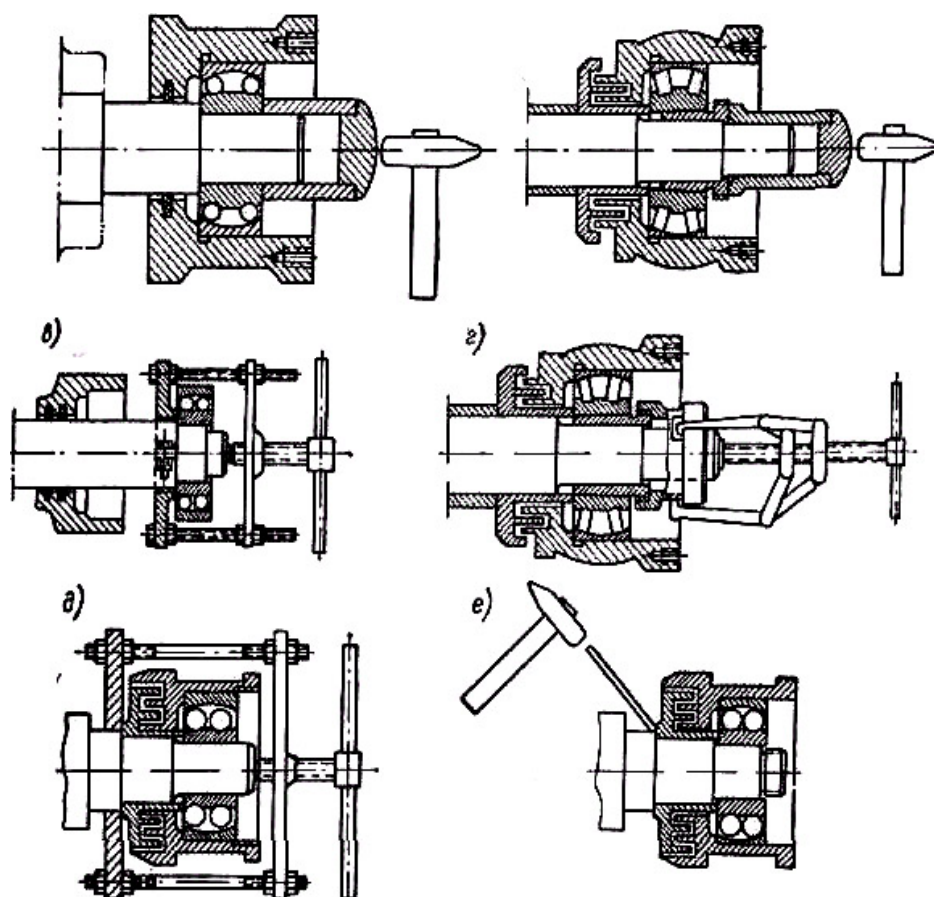


Г. С. КОРМИЛЬЦИН, О. О. ИВАНОВ

ОСНОВЫ МОНТАЖА И  
РЕМОНТА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ



• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •



### ВВЕДЕНИЕ

В приложениях учебного пособия представлены методические указания по изучению дисциплины, контрольные задачи с методическими указаниями по их решению, глоссарий терминов, вопросы для повторения пройденного материала, тестовые задания и экзаменационные вопросы.

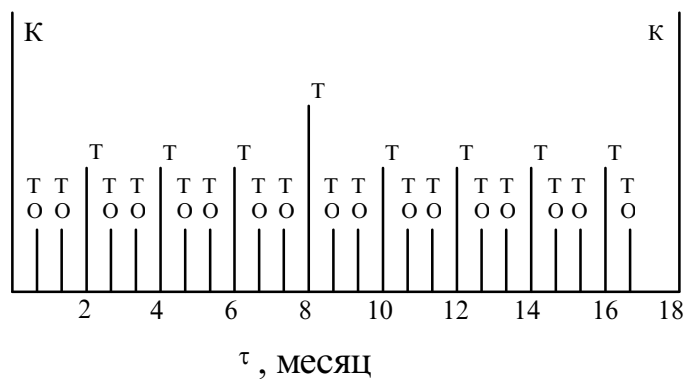


Рис. 2.2 Схема межремонтного цикла

Норма запаса деталей определяется по выражению:

$$H = \frac{ADPK_a K_d}{T},$$

где:  $A$  – количество действующих однотипных машин;  $D$  – количество однотипных деталей в одной машине;  $P$  – срок, на который следует делать запас (он равен сроку на заказ, изготовления, поставку детали);  $K_a$  и  $K_d$  – поправочные коэффициенты, зависящие от  $A$  и  $D$ ;  $T$  – срок службы данной детали.

Следует отметить, что  $K_a$  и  $K_d$  можно определить по следующей таблице.

$A$	$K_a$	$D$	$K_d$
1...5	1	1	1
6...10	0,9	2	0,8
11...15	0,8	3...4	0,7
16...20	0,7	5...6	0,6
21...25	0,6	7...8	0,5
26...30	0,5	9...10; 11...12	0,4; 0,3

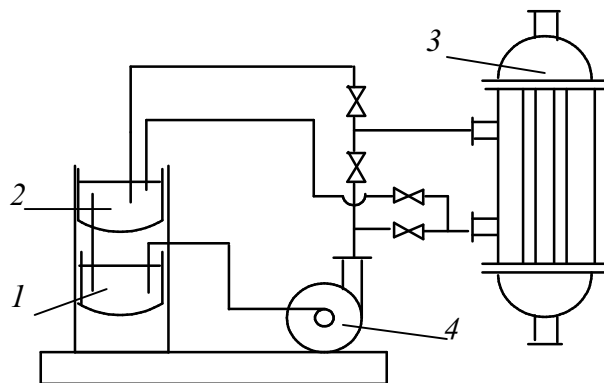


Рис. 2.3 Схема химического способа очистки: 1 – бак; 2 – отстойник; 3 – теплообменник; 4 – насос.

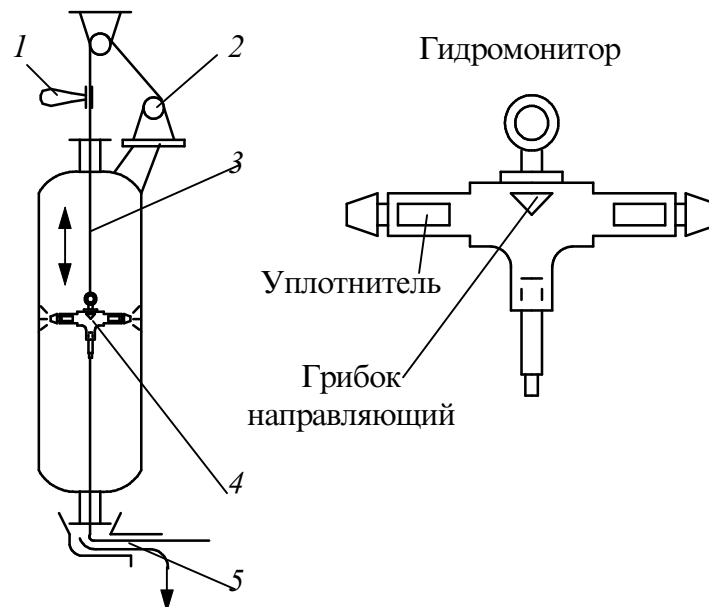
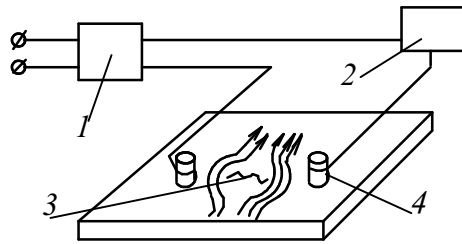
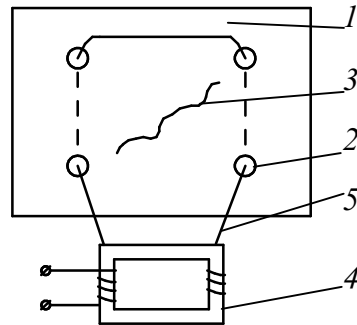


Рис. 2.4 Схема гидромонитора для механической очистки оборудования: 1 – ключ для поворота гидромонитора; 2 – лебедка; 3 – цепь; 4 – гидромонитор; 5 – шланг.



а) 1 – трансформатор; 2 – дроссель; 3 – трещина; 4 – контакт



б) 1 – трубная решетка; 2 – отверстие под трубу; 3 – трещина;  
4 – трансформатор; 5 – проводник

Рис. 2.5 Схемы магнитной дефектоскопии:

а) с пропуском тока через стенку; б) с применением проводника

#### Тестовые вопросы по монтажу технологического оборудования

1. Какое из перечисленных ниже мероприятий относится к организационно–технической подготовке монтажа?
  - А) составление смет;
  - Б) получение монтажниками от заказчика технической документации;
  - В) монтаж основного оборудования.
2. От каких факторов зависят размеры площадки строительства?
  - А) от вида оборудования и материалов;
  - Б) от климатических условий;
  - В) от сроков монтажа.
3. От чего зависит высота надземной части фундамента?
  - А) от глубины промерзания грунта;
  - Б) от динамической нагрузки;
  - В) от места расположения оборудования и требований технологии.
4. С какой целью делается выверка соосности машин и агрегатов?
  - А) с целью предотвращения опрокидывания оборудования;
  - Б) с целью предотвращения разрушения подшипников и других узлов машины.
  - В) чтобы избежать горизонтального смещения машины.
5. Каким испытаниям емкостного оборудования отдается предпочтение и почему?
  - А) пневматическим из-за простоты;
  - Б) гидравлическим по причине безопасности;
6. Почему при монтаже камерной сушилки особое внимание уделяют размерам по диагоналям между опорами подшипников барабанов ленты?
  - А) для увеличения коэффициента мощности;
  - Б) чтобы обеспечить параллельность барабанов лент;
  - В) чтобы обеспечить нормальные условия теплопередачи.
7. В чем заключаются преимущества канатного кантователя перед роликовым?
  - А) в возможности изготовить на нем обечайки большого диаметра;
  - Б) в возможности изготовить на нем обечайки из цветных металлов;

В) в возможности легкого перестраивания при переходе диаметр обечайки.

8. Какой способ соединения труб обеспечивает минимальные течи и экономичность?

А) сварка;

Б) на муфтах;

В) на фланцах.

9. Как компенсируют тепловые удлинения трубопроводов?

А) охлаждением труб;

Б) вводом в конструкцию трубопроводов компенсаторов;

В) нагревом труб.

10. Каковы преимущества совмещенного способа монтажа перед последовательным способом возведения объекта?

А) уменьшается себестоимость промышленной продукции;

Б) сокращается стоимость технологического оборудования;

В) сокращаются сроки строительства и рационально используется подъемно-транспортное оборудование.

*Вывод.* Если Вы правильно ответили менее чем на 7 вопросов, то Вам необходимо еще раз изучить первую часть данного пособия

Дисциплина "Монтаж и ремонт технологического оборудования" занимает важное место в учебном плане специальностей 1705 и 1706.

Инженер-механик современного предприятия должен обладать отличными знаниями технологического оборудования, уметь квалифицированно разрабатывать и реализовывать систему технического обслуживания и ремонта его.

Решая основную задачу поддержания в работоспособном состоянии сложного оборудования, инженер-механик должен уметь совершенствовать конструкции машин и аппаратов, разрабатывать нестандартные средства механизации для монтажа и ремонта, разбираться в вопросах экономики ремонтного хозяйства, системы оплаты труда, техники безопасности при ремонте и монтаже.

Основной задачей дисциплины является ознакомление будущих специалистов с организацией монтажных и ремонтных работ, изучение типовых приемов монтажа, диагностики и ремонта технологического оборудования.

В приложениях учебного пособия представлены методические указания по изучению дисциплины, контрольные задания с методическими указаниями по их выполнению, глоссарий терминов, вопросы для повторения пройденного материала, тестовые задания.

Учебное пособие составлено с использованием источников, указанных в списке литературы и с учетом опыта преподавания данной дисциплины на кафедре "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии" Тамбовского государственного технического университета.

## 1 МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Создание и эксплуатацию промышленного производства можно упрощенно представить с помощью схемы (рис. 1.1):

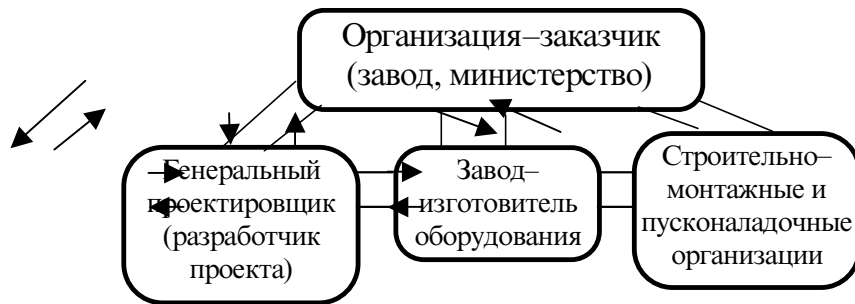


Рис. 1.1 Схема создания и эксплуатации промышленного производства

Создавая промышленное производство, стремятся снизить удельные капитальные вложения, эксплуатационные расходы и себестоимость продукции. Данные показатели во многом зависят от качества монтажных и ремонтных работ. Уже на стадии проектирования оборудования и изготовления его необходимо предусматривать методы монтажа и ремонтпригодность технологических машин и аппаратов. В данном курсе изучают монтаж, эксплуатацию, диагностику и ремонт основного технологического оборудования, предназначенного для выпуска химических, микробиологических и пищевых продуктов.

Монтаж оборудования, как правило, состоит из следующих этапов:

- организационно-техническая подготовка монтажа;
- производство монтажных работ;
- пуско-наладочные работы.

### 1.1 ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА МОНТАЖА

Организационно-техническая подготовка монтажа состоит из следующих мероприятий:

- получение монтажной организацией от заказчика технической документации;
- организация монтажной площадки;
- обеспечение строительной готовности объекта;
- организация поставки оборудования;
- оснащение участка монтажным оборудованием;
- разработка и создание безопасных условий труда;
- организация контроля качества работ, подготовка кадров.

Необходимо подробно рассмотреть наиболее важные из перечисленных мероприятий.

1 *Техническая документация* содержит: планы расположения строящихся объектов; планы и разрезы цехов; чертежи на фундаменты и монтаж оборудования; чертежи на трубопроводы и металлоконструкции; смету на производство монтажных работ; дополнительную документацию на монтаж отдельных узлов.

Монтажная организация составляет план производства работ (ППР), который содержит основные принципиальные решения по монтажу. ППР оформляется в виде пояснительной записки, к которой прикладывается генеральный план, график производства работ, ведомость трудовых затрат и график движения рабочей силы, монтажные чертежи.

Следует отметить, что график движения рабочей силы должен иметь плавный характер (рис. 1.2).

2 Площадка для складирования

является составной частью монтажной площадки и располагается по возможности вблизи монтируемого объекта. Размеры площадки  $\Pi$ , м<sup>2</sup> определяются по формуле

$$\Pi = \frac{(KM)}{B},$$

где  $M$  – общий вес оборудования, т;  $K$  – коэффициент одновременности поступления (0,5 ... 0,9);  $B$  – удельная загрузка, т/м<sup>2</sup>.

Удельная загрузка зависит от вида оборудования и материалов. Средние значения этой загрузки приведены ниже.

Наименование материала и оборудования	$B$ , т/м <sup>2</sup>
Трубы в штабелях	1,5 ... 1,8
Сортовой прокат	2 ... 8
Стальной лист	8 ... 10
Металлоконструкции	0,15 ... 0,35
Мелкое оборудование и детали	0,6 ... 0,8
Крупное тяжелое оборудование	0,5 ... 0,6

3 *Строительная готовность объекта.* Под этим термином понимают такое состояние строительной части возводимого объекта, когда можно вести монтаж в безопасных условиях и обеспечивать сохранность оборудования и рациональные методы его монтажа. В перекрытиях и стенах должны быть предусмотрены монтажные проемы для транспортировки технологического оборудования. Опасные зоны должны быть ограждены и освещены.

При приемке строительной части объекта особое внимание уделяется фундаментам и приямкам. Размеры их должны соответствовать чертежам, а отклонения не превышать допустимых норм. Значения этих норм приведены в таблице:

Вид размера	Величина отклонения, мм
Оси фундаментов	20
Основные размеры в плане	30
Высотные отметки фундамента	-30
Глубина колодцев	+20

Количество рабочих

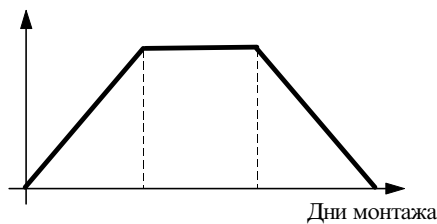


Рис. 1.2 График движения рабочей силы

Приемка строительной готовности объекта оформляется актом, к которому прикладывается схема фундаментов и прямиков с указанием отклонений от проекта. Иногда монтажникам необходимо сделать проверочный расчет размеров фундаментов.

4 *Фундаменты под технологическое оборудование.* Фундамент – устройство, которое обеспечивает оборудованию заданную ориентацию в пространстве и поглощает вибрацию во время эксплуатации его. Фундаменты бывают групповые и индивидуальные.

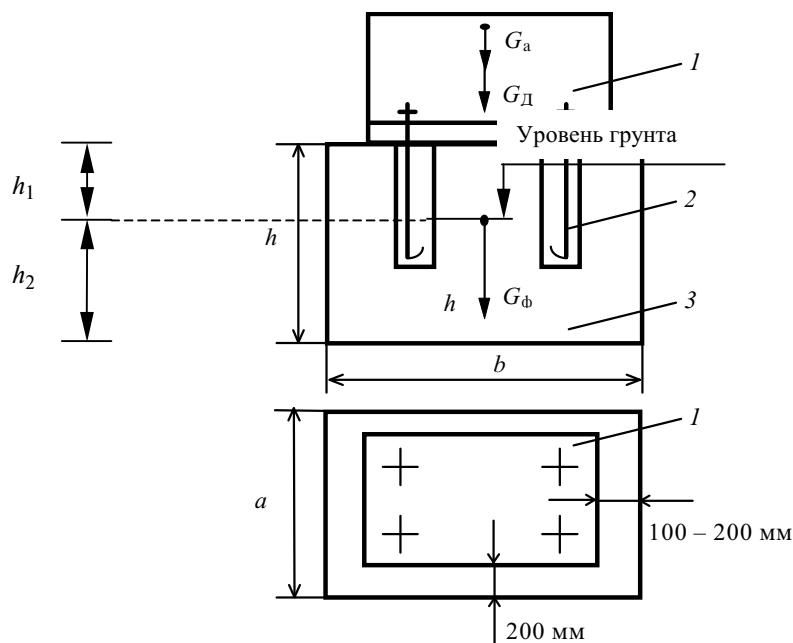


Рис. 1.3 Расчетная схема фундамента:  
1 – аппарат; 2 – фундаментный болт; 3 – фундамент

Групповые фундаменты представляют собой бетонное или железобетонное полотно толщиной до 300 мм, на котором устанавливают аппараты весом до 2 т.

Индивидуальные фундаменты используются для установки тяжелого оборудования, а также оборудования, работающего с большими динамическими нагрузками. Такие фундаменты предотвращают передачу вибрации другим аппаратам.

При проектировании фундамента необходимо составить расчетную схему, определить основные размеры его, а также выполнить проверочный расчет фундамента. Составление расчетной схемы заключается в определении координат точек приложения сил, действующих на фундамент.

В расчетной схеме величина  $G_a$  представляет собой суммарный вес аппарата и перерабатываемых веществ. Если при расчете фундамента необходимо учитывать динамические нагрузки, создаваемые центробежными силами, то их для облегчения расчета приводят к эквивалентным статическим нагрузкам  $G_d$ :

$$G_d = k_d M \varepsilon \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2,$$

где  $G_d$  – приведенные динамические нагрузки;  $k_d$  – динамический коэффициент ( $k_d = 1,5 \dots 2$ );  $M$  – вращающиеся массы;  $\varepsilon$  – эксцентриситет вращающихся масс, ( $\varepsilon = 0,01 \dots 0,001$  от диаметра вращающихся масс);  $n$  – число оборотов вращающихся масс.



Определив величины  $G_a$  и  $G_d$ , рассчитывают суммарную статическую нагрузку  $G_{ст} = G_d + G_a$ , вес фундамента  $G_{ф}$  и размер подземной части  $h_2$ :

$$G_{ф} = kG_{ст},$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, для оборудования со статической нагрузкой  $k = 0,6 \dots 1,5$ , для оборудования с динамической нагрузкой  $k = 2 \dots 3$ .

Зная вес фундамента, площадь его основания и удельный вес материала фундамента, определяют размер его подземной части:

$$h_2 = \frac{G_{ф}}{ab\gamma},$$

где  $\gamma$  – удельный вес материала фундамента;  $a$  и  $b$  – ширина и длина фундамента (эти величины принимаются на 100 ... 200 мм больше размеров опорного контура аппарата).

Рассчитанное значение  $h_2$  необходимо проверить. Минимальная величина  $h_2$  для фундаментов в отапливаемом помещении должна быть не менее 500 мм.

Для неотапливаемых помещений и открытых площадок величина  $h_2$  определяется по выражению

$$h_2 \geq H_{пр} + 200 \text{ мм},$$

где  $H_{пр}$  – глубина промерзания грунта в данном районе.

Значения  $H_{пр}$  для некоторых районов Российской Федерации:

I – северные и восточные районы (Архангельск, Казань, Екатеринбург) – 2 м;

II – северо-западные районы (Санкт-Петербург, Тверь, Петрозаводск) – 1,6 м;

III – центральные районы (Москва, Тамбов, Саратов) – 1,5 м;

IV – Орел, Белгород – 1,3 м;

V – южные районы (Астрахань, Волгоград, Новороссийск) – 1,1 м.

Высота надземной части фундамента  $h_1$  определяется местом расположения оборудования и требованиями технологии (обеспечение горизонтальности или уклона трубопроводного участка между соседними аппаратами и т.д.). Общая высота фундамента должна быть больше, чем длина фундаментных болтов:

$$l = (15 \dots 20)d,$$

где  $l$  – длина и  $d$  – диаметр фундаментного болта.

Диаметр фундаментного болта определяется по выражению

$$d = \sqrt{\frac{P_b + Q_3}{0,785 [\sigma]_{разр}}},$$

где  $Q_3$  – затягивающая сила на болтах ( $Q_3 = 4 P_b$ );  $P_b$  – вырывающая сила;

$$P_b = \frac{G_r L}{2S},$$

где  $G_r$  – сила горизонтального смещения;  $L$  – расстояние по вертикали от точки приложения силы  $G_r$  до верхней плоскости фундамента;  $S$  – расстояние между болтами.

5 *Поставка и прием оборудования.* Для рациональной организации монтажа необходима комплектная поставка оборудования. Правила поставки оборудования

следующие. Малогабаритное оборудование (теплообменники, сосуды, трубные секции и т.д.) должно поставляться в собранном виде, на подкладках, с установленными внутренними устройствами и деталями для строповки.

Защитные покрытия свинцом, медью, лаком, эмалью выполняются на заводе-изготовителе, а футеровка кирпичом и плиткой на месте монтажа.

Крупногабаритное оборудование поставляется максимально укрупненными блоками с соответствующей маркировкой.

Поставляемое оборудование должно иметь ответные фланцы на штуцерах, а также крепежные детали и анкерные болты.

Порядок транспортировки оборудования по железной дороге и реке следующий:

– по железной дороге допускается перевозка машин и аппаратов по согласованию с Министерством путей сообщения весом до 240 т, диаметром 4 м и длиной 30 м;

– по рекам на судах: диаметром до 8 м и длиной 55 м, а с буксировкой на плаву: диаметром до 10 м и длиной до 100 м по согласованию с Министерством речного флота.

Прием оборудования в монтаж производится на складе путем осмотра без разборки на узлы и детали. При этом проверяют:

- соответствие оборудования чертежам и проектной спецификации;
- комплектность оборудования по упаковочным ведомостям;
- наличие и полноту технической документации завода-изготовителя;
- отсутствие трещин, поломок и т.п.

При приеме оборудования допускается наличие дефектов в пределах определенных норм, которые приведены в таблице для емкостных аппаратов.

Толщина стенки, мм	Глубина, мм	
	дефекта	зачистки дефекта
4 ... 5	0,3	0,5
6 ... 7	0,3 ... 0,4	0,7
8 ... 10	0,5	1,0
11 ... 12	0,6	1,2

Документация на поставляемое оборудование должна содержать:

- назначение машины и аппарата;
- сведения об условиях работы (давление, температура);
- способы и параметры испытания;
- данные о материале прокладок и набивок;
- таблицу штуцеров;
- указание об антикоррозионной защите;
- спецификацию деталей и узлов с указанием веса;
- комплектную и маркировочную ведомости для крупногабаритного оборудования и инструкцию по сборке его узлов;
- зарегистрированную книгу для аппаратов, подведомственных ГОСГОРТЕХНАДЗОРУ;
- указания по установке и креплению оборудования;
- указания по тепловой изоляции.

Прием и сдача оборудования в монтаж оформляется специальным актом.

## 1.2 ПРОИЗВОДСТВО МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Монтаж – это подъем и перемещение оборудования, сборка его и установка в проектное положение. При монтаже оборудования следует выполнять следующие правила:

- монтаж оборудования проводят чаще всего днем;
- монтаж нельзя проводить на открытых площадках при ветре более шести баллов, при дожде, снегопаде, гололеде;
- подъем груза должен доводиться до проектного положения, если это не удалось сделать до конца смены, то груз должен быть опущен на нулевую отметку;
- груз при подъеме должен быть надежно застропован, т.е. стропы налагаются равномерно без узлов и перекруток и угол между ветвями строп не должен быть больше  $90^\circ$ ;
- расстроповку груза проводят только после его установки и надежного закрепления.

### 1.2.1 Механизация монтажных работ

Под механизацией понимают замену ручного труда работой машин и механизмов, управляемых человеком. При монтаже используют: стальные канаты, стропы, траверсы, блоки, полиспасты, лебедки, домкраты, мачты и порталы, краны.

*Канат* изготавливают из проволок диаметром 0,5 ... 2 мм одинарной спиральной свивкой, двойной свивкой или тройной свивкой (рис. 1.4).

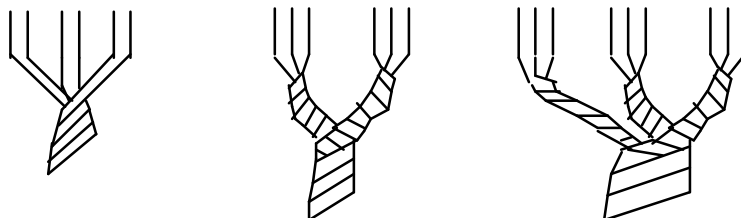


Рис. 1.4 Канаты

*Стропы* – устройства для подвешивания грузов, которые изготавливаются из канатов. Они бывают облегченными (рис. 1.5, а) и универсальными (рис. 1.5, б).

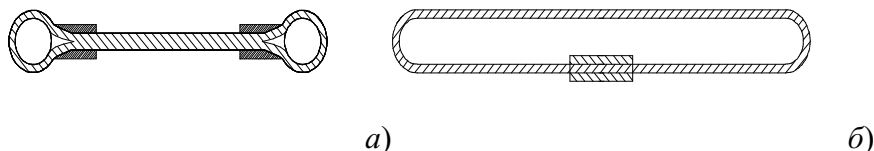


Рис. 1.5 Стропы

*Траверса* – в простейшем случае это горизонтальная балка, которая служит для распределения усилий подъема на несколько точек строповки. Траверсы изготавливают из швеллеров, двутавровых балок. Траверсы бывают двухлучевые (рис. 1.6, а) и трехлучевые (рис. 1.6, б).

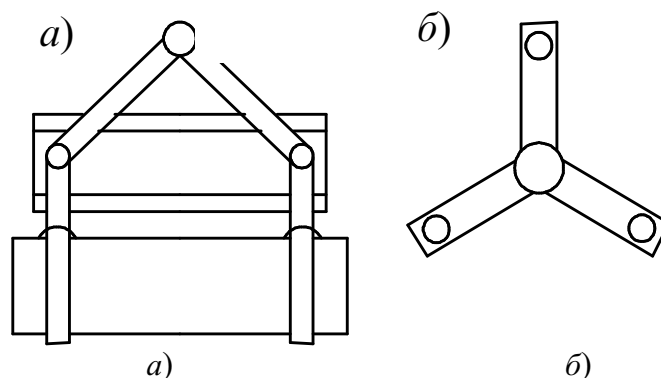


Рис. 1.6 Траверы

*Блок* – колесо с желобом по окружности для каната. Блок служит для уменьшения усилия подъема, так как исключается трение каната при использовании неподвижных балок, через которые перебрасывается канат при подъеме груза.

*Полиспаст* – устройство из нескольких блоков, огибаемых канатом. Вес поднимаемого груза распределяется на несколько ветвей каната, поэтому тяговое усилие уменьшается при подъеме груза, но уменьшается и скорость подъема.

*Лебедка* – грузоподъемная машина для перемещения оборудования с помощью движущегося каната, длина которого изменяется при вращении барабана лебедки. Грузоподъемность лебедок находится в пределах 5 ... 200 кН. Канатоемкость барабана лебедок может достигать 900 м. Следует отметить, что диаметр каната зависит от диаметра барабана лебедки и определяется соотношением:

$$\frac{D}{d} \geq 17 \dots 34,$$

где  $D$  – диаметр барабана (блока);  $d$  – диаметр каната.

Во избежание смещения лебедка крепится стальным канатом к стационарному якорю или конструкциям здания, либо рама ее нагружается балластом. В любом случае производится расчет крепления лебедки.

Вес балласта, предотвращающего опрокидывание лебедки, определяется по уравнению

$$G = \frac{k(Qh - G_1 a)}{b},$$

где  $G$  – вес балласта, кг;  $k$  – коэффициент запаса устойчивости (1,2 ... 1,3);  $Q$  – натяжение каната, кг;  $h$  – расстояние от уровня земли до каната, м;  $G_1$  – вес лебедки, кг;  $a$  – расстояние от центра тяжести лебедки до точки опрокидывания, м;  $b$  – расстояние от центра тяжести противовеса до точки опрокидывания, м.

Кроме расчета на опрокидывание следует рассчитать крепление лебедки против горизонтального смещения. Силу горизонтального смещения определяют по выражению

$$N = Q - F_{\text{тр}}, \quad F_{\text{тр}} = fG_2,$$

где  $N$  – сила горизонтального смещения, Н;  $Q$  – натяжение каната, Н;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения, Н;  $f$  – коэффициент трения (0,3 ... 0,5);  $G_2$  – вес лебедки и противовеса, кг.

*Домкрат* – механическое устройство для подъема оборудования на небольшую высоту. Он применяется для установки и выверки оборудования на фундаменте. Грузоподъемность домкратов от 30 до 2000 кН, высота подъема составляет 60 ... 350 мм.

*Мачты и порталы* – это универсальные подъемники для производства монтажа тяжеловесных крупногабаритных аппаратов (грузоподъемность 200 ... 5000 кН). Мачты

бывают решетчатые (рис. 1.7, а) и трубчатые (рис. 1.7, б). Из аналогичных элементов изготавливаются и порталы (рис. 1.7, в).

Мачты и порталы удерживаются в вертикальном положении с помощью расчалок (трос). Расчалка одним концом крепится к оголовку мачты, а другим к якорю. Угол наклона расчалки к горизонту не должен превышать 45. Решетчатая мачта изготавливается из уголков, соединенных раскосами, трубчатая – из труб диаметром более 400 мм.

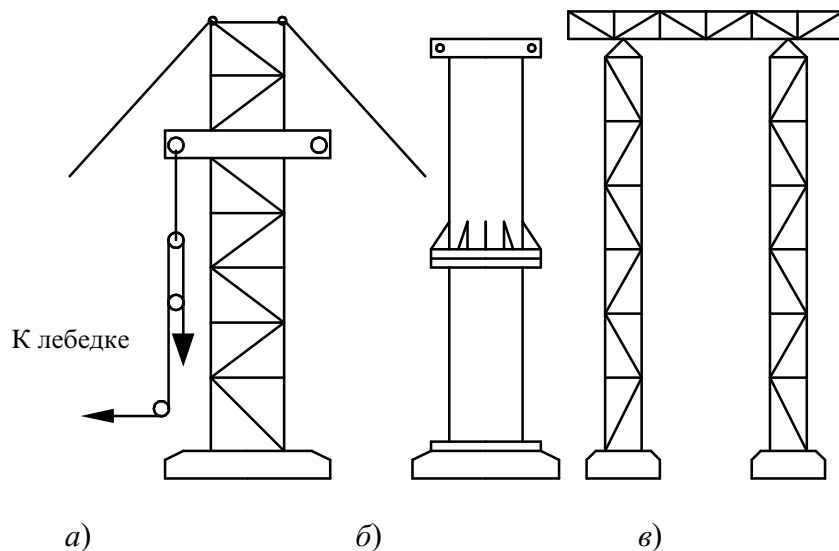


Рис. 1.7 Универсальные подъемники для монтажа тяжеловесных крупногабаритных аппаратов

*Краны автомобильные* – применяются для погрузки и выгрузки оборудования, подачи его в монтажные проемы и установки на фундаменты, перемещения монтажного оборудования (лебедок, мачт и т.п.). Грузоподъемность их достигает 125 т. Эти краны отличаются большей маневренностью и могут работать в здании после настила полов.

*Краны гусеничные* – используются при монтаже тяжелого и крупногабаритного оборудования. По сравнению с автомобильными кранами они имеют более длинную стрелу, а следовательно могут подавать оборудование на большую высоту (35 м). Грузоподъемность их достигает 50 т. Они обладают высокой проходимостью и работают в здании до настила полов.

*Краны башенные* – применяются для одновременного монтажа строительных конструкций и оборудования на различных высотных отметках, не закрываемых стенками и перекрытиями. По сравнению с автомобильными и гусеничными кранами у них вылет стрелы (высота подъема груза) значительно больше. Например, кран КБ–573 может поднять груз весом 8 т на высоту 150 м.

*Краны мостовые* – ими ведут монтаж оборудования внутри зданий. Они входят в оборудование цеха и монтаж цеха необходимо начинать с монтирования мостовых кранов. Обычно на монтаже используют 2 крана: один грузоподъемностью 50 т, а другой 10 ... 15 т, тяжеловесы поднимают одновременно двумя кранами.

*Средства малой механизации* – большой объем работ при монтаже приходится на сборку мелких узлов аппаратов, а также доводочные и слесарно – пригоночные операции. Для повышения производительности труда монтажников используются средства малой механизации как серийного производства, так и создаваемые в монтажных организациях. Ручной механизированный инструмент применяется при выполнении следующих работ:

- а) затяжка болтов – электрогайковерт, пневмогайковерт, гидравлический ключ;
- б) нарезка резьбы – резьбонарезная машина;

- в) развертка отверстий – сверлильные машины;
- г) зачистка сварных швов – электрошлифовальная машина, реверсивная пневмощетка;
- д) планировка мест под подкладки на фундаменте – пневмо- и электромолотки;
- е) резка металла – электроножницы;
- ж) резка труб, снятие фасок – станок с абразивным кругом.

Для организации монтажа в стесненных и опасных условиях разрабатываются стационарные или передвижные манипуляторы с механической рукой. Манипуляторы маневренны и легко управляются оператором. Применяются также манипуляторы с программным и дистанционным управлением.

Средства малой механизации должны предусматриваться на стадии разработки проекта производства работ.

### 1.2.2 Установка оборудования на фундаменте

Для обеспечения нормальной работоспособности оборудования и технологической схемы в целом необходимо точно установить и выверить это оборудование в плане и по высоте. Оборудование, как правило, устанавливается на фундаменте (рис. 1.8), и суммарная жесткость системы "станина оборудования – фундамент" во многом определяет надежность работы технологической схемы. Оборудование устанавливается в основном двумя способами:

- непосредственно на фундамент или бетонную подливку на фундаменте;
- с применением пакетов плоских металлических подкладок.

Для компенсации неточности размеров фундаментов применяются пакеты подкладок, установочные болты, упругие шайбы, фундаментные болты.

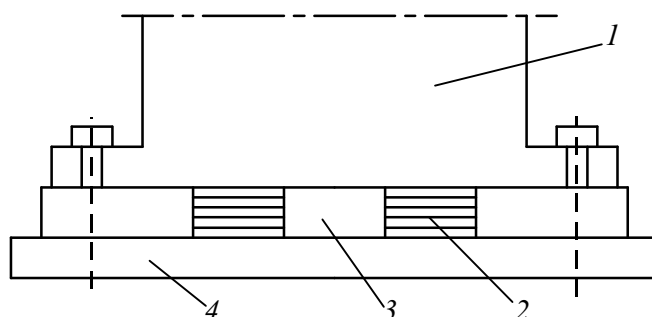


Рис. 1.8 Установка оборудования на фундаменте:  
1 – оборудование; 2 – пакет пластин; 3 – подливка; 4 – фундамент

До установки аппаратов на фундамент укладывают подкладки или приспособления для выверки оборудования. При выверке аппаратов на фундаменте проверяют соблюдение требований горизонтальности, соосности, параллельности, вертикальности и привязки осей аппарата к осям здания и строительных конструкций.

Выверку горизонтального положения оборудования следует производить по базовым поверхностям (плоскостям разъема и расточкам под вкладыши подшипников или по контрольным площадкам).

Проверку соосности валов машин и агрегатов, соединяемых муфтами, следует производить в два приема:

- 1) предварительная проверка при помощи линейки и щупа – это делается до затяжки фундаментных болтов и подливки бетоном плит, рам;

2) окончательная проверка при помощи специальных скоб, устанавливаемых на полумуфтах.

Проверку соосности необходимо производить при совместном повороте валов на 90, 180 и 270°, т.е. через каждые 90°. Замеры производятся между торцами полумуфт (в осевом направлении) для определения величины излома осей.

Соосность далеко удаленных друг от друга деталей и отверстий определяется с помощью нивелира или теодолита.

### 1.3 ИСПЫТАНИЕ СМОНТИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Существуют три вида испытаний:

а) на прочность и плотность емкостного оборудования (реакторы с мешалками, емкости, колонны, теплообменники и т.д.);

б) вхолостую машин и аппаратов с приводами;

в) под нагрузкой машин и аппаратов с приводами.

Ниже представлены общие методы испытаний технологического оборудования. Специфичные способы испытаний рассмотрены в разделах, посвященных монтажу конкретного оборудования.

#### 1.3.1 Испытания технологического оборудования на прочность и плотность

Испытания технологического оборудования на прочность и плотность проводят гидравлически или пневматически. По условиям безопасности предпочтение отдается гидравлическим испытаниям. Порядок выполнения гидравлических испытаний следующий:

а) в верхней части аппарата, при необходимости, монтируют штуцер с краном для подвода воды, в нижней – для стока воды, кроме того устанавливают воздушник и манометр;

б) заглушают все штуцеры, люки, отключают КИПиА;

в) аппарат заполняют водой;

г) закрывают воздушник;

д) поднимают давление до рабочего и далее до давления испытания;

е) выдерживают 5 мин и снижают давление до рабочего;

ж) при рабочем давлении аппарат осматривают и проверяют уплотнения;

з) давление снижают до атмосферного и сливают воду; воздушник при этом открывают.

Следует отметить, что если в аппарате остается воздух, то испытания на прочность категорически запрещаются. О присутствии воздуха в аппарате свидетельствуют резкие колебания стрелки манометра при работе насоса, создающего давление в аппарате.

Режимы гидравлических испытаний следующие:

а) если рабочее давление в аппарате  $P_{\text{раб}} \geq 0,5$  МПа, то давление испытания  $P_{\text{исп}} = 1,25P_{\text{раб}}$ ;

б) если  $P_{\text{раб}} < 0,5$  МПа, то  $P_{\text{исп}} = 1,5P_{\text{раб}}$ .

Как правило, на прочность аппараты испытывают гидравлически и лишь в исключительных случаях с разрешения Госгортехнадзора испытывают и пневматически, но давление не поднимают выше рабочего.

Пневматические испытания проводят, как исключение, в следующих случаях:

а) когда опоры или конструкция не рассчитаны на вес воды, которая заполняет аппарат при гидравлическом испытании (газовые аппараты);

б) при низкой температуре атмосферы, когда вода может превратиться в лед;

в) особые причины: когда герметизирующие материалы растворяются в воде или когда требуется тщательная осушка аппарата после гидроиспытаний.

Аппарат при пневматическом испытании осматривают и для контроля плотности мыльным раствором смачивают сварные швы и фланцевые соединения.

#### Режимы пневматических испытаний

Создаваемое давление, кгс/м <sup>2</sup>	Время подъема давления, мин	Продолжительность испытания, мин
1	15	10
1 ... 10	30	10
10 ... 20	30	10
20 ... 50	40	15
50 ... 100	50	15

Все дефекты, выявленные при испытаниях, отмечают мелом и исправляют. Также подтягивают гайки, меняют прокладки, вырубает дефектные участки с последующей заваркой. Затем проводят повторные испытания.

Аппарат считается выдержавшим испытание, если отсутствуют трещины, нет "потения" сварных швов и нет остаточных деформаций после испытания.

#### 1.3.2 Испытания машин и аппаратов с приводом вхолостую и под нагрузкой

Порядок проведения обкатки технологического оборудования следующий:

- а) проверка направления вращения вала электродвигателя, отключенного от механизма;
- б) контроль работы электродвигателя в течение 40 – 60 мин вхолостую. При этом проверяют нагрев подшипников, вибрацию и потребляемую силу тока;
- в) прокручивание вращающейся части оборудования вручную или специальным валоповоротным механизмом;
- г) обкатка машины на холостом ходу;
- д) обкатка оборудования под нагрузкой.

#### Режимы обкатки

Вид оборудования	Количество об/мин	Продолжительность обкатки, ч	
		вхолостую	под нагрузкой
С неподвижным корпусом и вращающимися частями	до 100	2	4
	более 100	4	8
С вращающимся корпусом	до 300	4	8



## 1.4 МОНТАЖ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Малотоннажное и малогабаритное оборудование поступает с завода–изготовителя в комплекте с приводами. Такой агрегат часто имеет общую раму. Монтаж сводится к установке данного агрегата на фундаменте и выверки его горизонтального положения. Но большинство технологического оборудования имеет специфику монтажа, на которой мы ниже и остановимся.

### 1.4.1 Монтаж колонных аппаратов

Монтаж ректификационных, абсорбционных, адсорбционных и других колонн является трудоемким видом работ. По весу такие аппараты составляют 50 % веса всей аппаратуры технологической схемы. Вес отдельных колонн достигает 200 т, а высота 80 м. Поэтому монтаж таких аппаратов во многом определяет срок монтажа всей установки.

Часто при монтаже колонн используют метод крупноблочной сборки, когда до подъема аппарата его испытывают, оснащают площадками и лестницами, покрывают тепловой изоляцией и затем поднимают и устанавливают в проектное положение. Такой метод повышает качество, безопасность и производительность монтажных работ.

Подъем колонн хорошо вести мощными башенными кранами, но при этом необходимо смонтировать сам кран, что трудоемко, поэтому используют другие такелажные средства (мачты, порталы).

Используют следующие методы подъема колонн:

- а) подъем колонн с помощью мачты или портала методом скольжения (рис. 1.9, а);
- б) подъем аппарата методом наклона двух спаренных мачт (рис. 1.9, б).

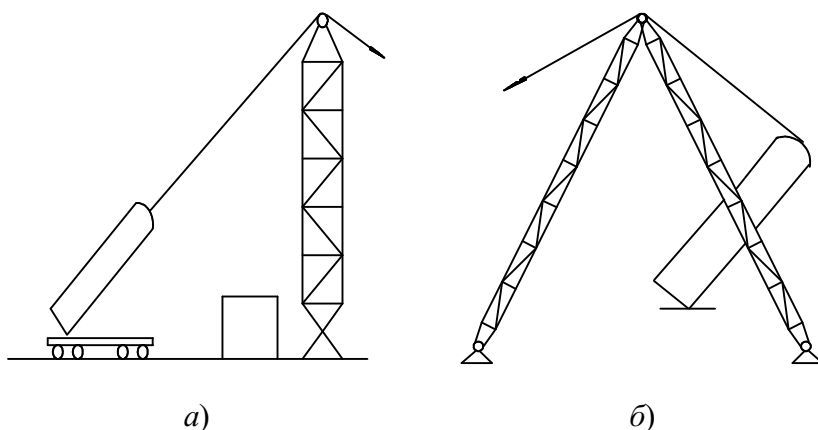


Рис. 1.9 Методы подъема колонн

Когда монтируют колонны стреловыми самоходными кранами, то используют следующие методы:

а) подъем аппарата одним краном со строповкой за крышку колонны; этот метод применяется при небольшой высоте аппарата и наличии крана достаточной грузоподъемности;

б) подъем аппарата одним краном со строповкой за корпус (рис. 1.10, а); этот способ позволяет монтировать колонны, высота которых больше, чем высота крюка крана ("вылет" крюка крана). При подъеме данным методом отклонение оси аппарата от вертикали не должно превышать 15°;

в) подъем колонн спаренными стреловыми кранами (рис. 1.10, б) – при этом строповка может производиться за ложные штуперы; также может использоваться балансировочная траверса, что предпочтительнее.

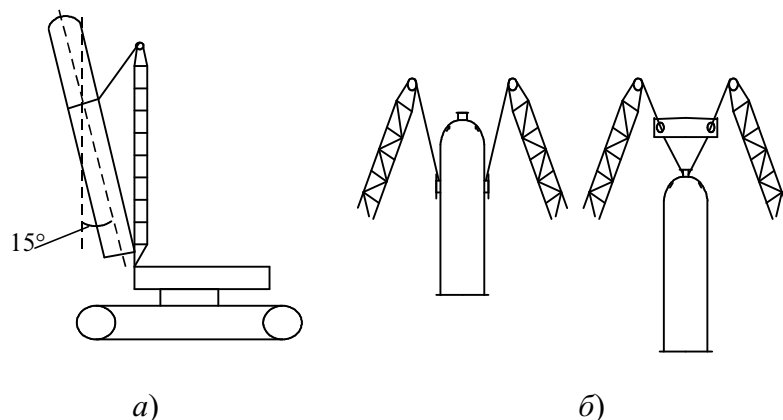


Рис. 1.10 Монтаж колонн стреловыми самоходными кранами

#### 1.4.1.1 Монтаж внутренних устройств колонных аппаратов

К внутренним устройствам колонн относятся: насадка, тарелки, опоры и другие детали. Насадка выполняется в виде шаров, колец, седел и т.п. Укладка насадки трудоемкая операция. Если насадка засыпается внавал, то ее загружают сверху аппарата, предварительно заполненного водой. По мере заполнения колонны насадкой воду сливают. При таком методе заполнения не разрушаются насадка и корпус аппарата.

При монтаже тарельчатых колонн следует помнить, что от правильного расположения тарелок по отношению к корпусу и друг другу зависит производительность аппарата и качество продукта.

К смонтированным тарелкам предъявляют следующие требования:

- равномерность работы всей площади тарелки;
- соблюдение заданного проектом уровня жидкости на тарелке;
- герметичность в соединении тарелки с корпусом колонны;
- стойкость материалов конструкций против коррозионного воздействия.

Основными операциями при монтаже тарелок являются:

- устройство освещения, приспособлений для подъема деталей и т.д.;
- подъем деталей тарелок на необходимую высоту и сборка их;
- выверка деталей и собранной тарелки в целом;
- испытание на плотность водой;
- испытание на барботаж воздухом;
- снятие вспомогательных приспособлений.

Если аппарат имеет люки через каждые 5 ... 7 тарелок, то монтаж тарелок необходимо начинать с самой нижней для данного люка тарелки. Каждая тарелка испытывается отдельно. Если люк имеется у каждой тарелки, то монтаж можно вести параллельно. Следует отметить, что для каждого типа тарелок и конкретно каждой колонны имеются нормативные данные на отклонения действительных размеров от проектных.

Монтаж ситчатых тарелок сводится к креплению опорных деталей тарелок и установки этих тарелок строго в горизонтальном положении.

Монтаж колпачковых тарелок сводится к креплению опорных деталей тарелки, установки тарелки на опорных деталях, креплению и испытанию колпачков.

Тарелки с круглыми колпачками испытывают на барботаж следующим методом. На один из колпачков ставят отрезок трубы (оправка) диаметром на 45 ... 50 мм больше

диаметра колпачка и высотой чуть больше высоты колпачка. Вторую такую же оправку ставят последовательно на каждый колпачок. Равномерность и интенсивность барботажа проверяют визуально по окружности колпачка. Барботажа должен быть по интенсивности одинаковым. Первый испытанный колпачок принимают за эталон и по нему регулируют все остальные.

#### 1.4.2 Монтаж центробежных насосов, вентиляторов, компрессоров

В пищевой, химической и биохимической промышленности чаще всего применяются центробежные насосы. Они выпускаются обычно агрегированными с электродвигателем на общей чугунной раме. Буквенно-цифровое обозначение марки насоса расшифровывают следующим образом. Например, центробежный насос марки К20/30а: К – консольный; 20 – производительность, м<sup>3</sup>/ч; 30 – напор, м; а – индекс обточки рабочего колеса.

Перед монтажом насоса проверяется фундамент, который не должен иметь трещин, пустот и оголенной арматуры. Затем на фундаменте производится разметка и подготовка мест установки подкладок. Эти места выравняются зубилом. Они должны быть горизонтальными и иметь размеры 100 × 100; 200 × 150; 75 × 150 мм.

После проверки и подготовки фундамента производится ревизия насоса, которая насосов состоит из разборки их и промывки деталей, протирки, осмотра, проверки зазоров, набивки сальников, а затем сборки. Затем устанавливается насос, привод или весь агрегат с рамой на фундамент и выверяют их горизонтальное положение.

Насос выверяется уровнем, который укладывается на обработанную поверхность нагнетательного патрубка в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Отклонение от горизонтальности не должно превышать 0,1 мм на 1 м длины.

Перед пуском насоса проворачивают ротор, который при этом должен вращаться свободно. Затем запускают насос и по мере увеличения частоты вращения вала электродвигателя постепенно открывают задвижку на нагнетательном трубопроводе и следят за состоянием сальника. В нормальном состоянии сальник должен слегка пропускать жидкость: 15 ... 20 капель в минуту.

*Монтаж центробежных вентиляторов* как и насосов заключается в установке их на фундамент или виброизолирующие опоры с выверкой горизонтальности. Перед пуском вентилятора рабочее колесо проворачивают вручную, проверяют биение колеса и положение вала в отверстии для него в кожухе. Для различных вентиляторов имеются допустимые нормы зазора между валом и отверстием в кожухе.

*Центробежные компрессоры* требуют повышенной точности при установке на фундаменте и центровке валов, так как имеют большую частоту вращения ротора (15 000 об/мин). С завода-изготовителя поступают отдельные узлы. Для снижения трудоемкости монтажа используют сборку блоков путем укрупнения узлов на монтажной площадке.

С целью выверки горизонтальности на корпусе компрессора завод-изготовитель выполняет обработанные горизонтальные площадки (реперы) для установки уровня.

Целесообразна установка на общей раме всех механизмов агрегата (компрессора, редуктора, двигателя), даже если они поставляются отдельно. Рама упрощает установку и выверку агрегата.

#### 1.4.3 Монтаж центрифуг

Центрифуги непрерывного действия, например типа НОГШ, в монтаж поступают в собранном виде. Монтируют ее на металлической раме. Выверку горизонтальности производят по уровню, укладываемому на вал машины, после чего окончательно крепят к раме центрифугу. К фланцу питающей трубы центрифуги присоединяют трубопровод

подачи суспензии, а к фланцам нижней части кожуха – трубопровод для отвода фугата и желоб для вывода осадка.

Затем проверяют качество крепления рамы к фундаменту и центрифуги к раме, проводят испытание на холостом ходу в течение одного часа.

#### 1.4.4 Монтаж кожухотрубчатых теплообменников

Теплообменники, как правило, поступают с завода-изготовителя в собранном виде. Перед монтажом проводят ревизию аппарата, которая состоит в осмотре внутренней части при снятых крышках. Особое внимание обращают на качество вальцовки труб. Качество вальцовки проверяется простукиванием и, если при этом нет дребезжащего звука, вальцовка удовлетворительна. Проходимость труб проверяют просвечиванием их.

Теплообменник монтируется на опорной металлоконструкции или фундаменте. Чаще всего теплообменники устанавливаются горизонтально или вертикально. Горизонтальность выверяется по уровню, и допускаемое отклонение при этом составляет 0,5 мм на 1 м длины. При вертикальной установке теплообменника используют для выверки отвес. Для любой установки аппарата и выверки используют подкладки, размещаемые под опорными плоскостями.

Кожухотрубчатые теплообменники испытывают гидравлически следующим образом. Отсоединяют крышки, межтрубчатое пространство заполняют водой, поднимают давление до давления испытания, выдерживают и следят по манометру за давлением. Если давление падает, значит в системе имеются неплотности, которые могут быть: а) в местах развальцовки труб; б) в самих трубах (трещины и т.д.).

Неплотности в развальцовке обнаруживаются по течи и отпотинам, а в трубах – по появлению воды.

Иногда при испытании давление падает, а визуально течи воды не обнаруживается, тогда сливают воду из межтрубного пространства и подают в него пар. Парение из определенных трубок указывает на дефекты в них.

#### 1.4.5 Монтаж сушилок

Рассмотрим ленточные и барабанные сушилки, монтаж которых имеет некоторую специфику.

Монтаж ленточной сушилки заключается в агрегировании отдельно поставляемых блоков и узлов: сушильной камеры; ленты с барабанами; калориферно-вентиляционной установки; трубопроводных узлов; электропусковой аппаратуры и т.д.

Сушильная камера монтируется на фундаменте и проверяется правильность ее установки по уровню. Особое внимание при монтаже следует обратить на замеры по диагоналям как самой камеры, так и между опорами подшипников барабанов ленты. При несовпадении размеров по диагоналям может произойти перекося ленты, который невозможно ликвидировать натяжным барабаном.

Качество сборки паровых калориферов, трубопроводов и других элементов системы обогрева проверяют гидравлическим испытанием. Паровые калориферы монтируют с уклоном в сторону отвода конденсата. При этом превышение одной стороны калорифера над другой должно быть в пределах 5 мм.

Сборка и регулирование приводов проводится особенно тщательно, с целью обеспечения нормальной работы сушилки. На все открытые движущиеся части сушилки устанавливают ограждения.

Специфика монтажа барабанной сушилки заключается в максимально точной установке и выверке опорных станций с заданным уклоном. Торцевые поверхности двух опорных роликов (на каждой станции) должны находиться в одной плоскости. Расстояние между

упорными роликами должно быть примерно на 20 мм больше ширины бандажа (по 10 мм с каждой стороны).

После выверки опорных станций и заливки бетоном фундаментных плит с помощью крана размещают на станциях собранный корпус барабана. При этом контакт сопрягаемых поверхностей бандажей и опорных роликов должен быть в средней части не менее  $\frac{2}{3}$  длины образующих. Контакт проверяют путем смазки тонким слоем смываемой краски рабочих поверхностей опорных роликов.

При выверке привода совмещают середины зубчатого венца и малой шестерни и обеспечивают зазор между вершиной и впадиной зуба величиной  $0,25$  модуля. Контакт сопрягаемых поверхностей зубьев шестерен должен также быть не менее  $\frac{2}{3}$  длины образующих.

При монтаже загрузочной и разгрузочной камер обеспечивают параллельность и соосность с корпусом сушиллки.

#### 1.4.6 Монтаж резервуаров

Резервуары бывают вертикальные цилиндрические, сферические, горизонтальные цилиндрические и квадратного сечения.

*Вертикальные цилиндрические емкости.* На машиностроительных заводах изготавливают укрупненные элементы резервуара: плоские и цилиндрические поверхности сваривают из листов в полотнища, которые сворачивают в рулоны и отправляют на монтаж заводу-заказчику.

Изготовление полотнищ и сворачивание в рулоны осуществляется на стенде-кантователе. Чаще всего используется канатный кантователь (рис. 1.11), который имеет четыре опоры, на одной из них устанавливается общий привод. Несущим органом является бесконечный канат.

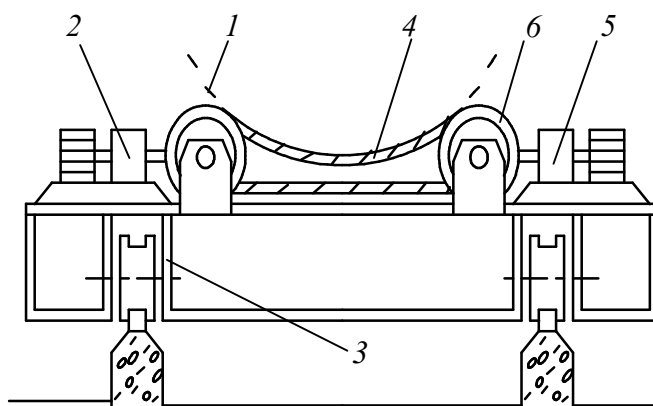


Рис. 1.11 Канатный кантователь:  
1 – обечайка; 2 – привод натяжения; 3 – рама; 4 – канат;  
5 – привод каната; 6 – блок

Для изготовления обечайек резервуаров применяют также роликовый кантователь, но канатный имеет по сравнению с ним ряд преимуществ:

- контактные напряжения в местах касания с обечайкой меньше, так как больше периметр касания;
- легче изменяется высота обечайки над рамой за счет изменения натяжения канатов, т.е. легко перестроиться при переходе на другой диаметр обечайки;

в) конструкция позволяет быстро изменять расстояние между отдельными кантователями, а значит стыковать и сваривать отдельные обечайки.

Обечайки и днище сворачиваются на шахтные лестницы с помощью кантователей.

Установку резервуаров производят на искусственное основание, состоящее из грунтовой подсыпки (песчаной подушки). На песчаный слой укладывают гидроизоляционный слой, приготовленный из битума и песка. Толщина гидроизоляции 80 ... 100 мм. Затем на это основание краном укладывают рулон днища и разворачивают его. Днище, как правило, состоит из двух-трех частей, их сваривают и испытывают в целом наливом воды. На днище устанавливают рулон корпуса и разворачивают его с помощью трактора или лебедки. Покрытие резервуара монтируют из плоских секторных щитов, которые при монтаже опираются на поддерживающую стойку, которую убирают после монтажа.

Готовый резервуар испытывают на прочность и плотность наливом воды или плотность пробой керосина.

*Сферические резервуары* свариваются из "лепестков", часто изготавливаемых методом горячей штамповки. Размеры этих элементов максимально возможные по условиям транспортировки.

На заводе-изготовителе проводят контрольную сварку с установкой фиксаторов. На месте монтажа при сварке швы накладывают в определенной последовательности согласно технологической карте. Сварка применяется автоматическая.

## 1.5 МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ

### 1.5.1 Требования, предъявляемые при монтаже к трубопроводам

При монтаже трубопроводов необходимо предусматривать разъемные соединения труб (через каждые 20 ... 30 м). Эти разъемы необходимы для чистки и замены труб при ремонте. Запорную арматуру монтируют на горизонтальных и вертикальных участках (для установленных в труднодоступных местах вентилей применяют штанги, цепные и электрические приводы). При укладке трубопроводов часто предусматривают уклоны (0,002 ... 0,005) для стока жидкости. При необходимости трубопроводы теплоизолируют для уменьшения потерь тепла, для избежания конденсации и замерзания жидкости. В качестве изоляционных материалов применяют древесные опилки, минеральную вату, асбест, войлок и т.д. Трубопроводы во взрывоопасных цехах заземляются. После монтажа технологические трубопроводы испытывают на прочность и плотность, затем они промываются и продуваются. Чаще всего трубопроводы испытывают гидравлически и в редких случаях пневматически. Давление испытания зависит от материала трубопровода, рабочего давления и температуры. Промывают трубопровод чаще всего водой и продувают сжатым воздухом.

### 1.5.2 Способы соединения труб

Отдельные участки труб соединяют следующими способами: сваркой, пайкой, склеиванием, а также с помощью муфт, фланцев и раструбов.

Сваркой или пайкой (рис. 1.12) можно соединять трубы из черных (кроме чугуна), цветных металлов, а также полиэтиленовые и винилпластовые.

Лучшим способом соединения труб является сварка. Преимущества сварки: высокая прочность шва (100 % от прочности цельной трубы), удобство в эксплуатации (минимальные течи), простота обслуживания, высокая экономичность. Недостатки: трудность разборки трубопроводов. Поэтому делают смешанные соединения, т.е. две-три трубы сваривают, а затем ставят фланцевое соединение. При сварке труб толщиной не менее 5 мм кромки труб зашлифовывают под углом 30 ... 45°. Для обеспечения хорошего привара труб и избежания сплющивания между торцами оставляют зазор 2-3 мм.

Нержавеющие стали типа Х18Н10Т при сварке уменьшают концентрацию хрома и становятся склонными к межкристаллитной коррозии и разрушению. Поэтому стараются

применять трубы с повышенным содержанием титана, который препятствует уменьшению хрома в шве (но надо помнить, что титан снижает химическую стойкость стали).

Соединение труб из цветных металлов и пластмасс осуществляют с помощью сварки или пайки и производят следующими способами:

а) сварка встык – применяется при соединении алюминиевых и свинцовых труб (рис. 1.13, а);

б) сварка (пайка) с разбортовкой – используется при соединении медных и свинцовых труб (рис. 1.13, б);

в) сварка (пайка) с муфтой – применяется в случае, когда требуется высокая прочность соединения (рис. 1.13, в).

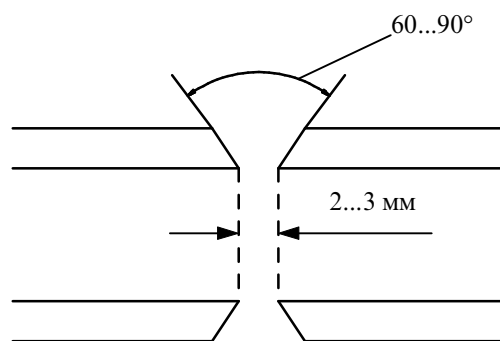


Рис. 1.12 Схема сварки труб

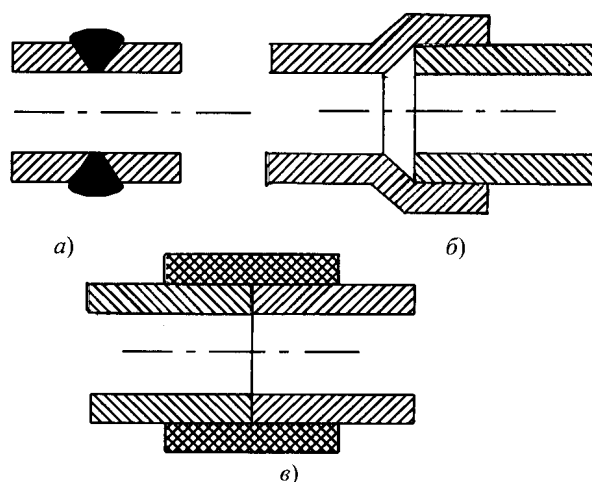


Рис. 1.13 Способы соединения труб

Склеиванием соединяют фаолитовые, винипластовые и полиэтиленовые трубы.

Фаолитовые трубы склеивают встык (рис. 1.13, а). При этом кромки труб зашлифовывают на угол  $30 \dots 45^\circ$ , смазывают спиртом, обкладывают жгутом из фаолитовой замазки и дают отвердеть шву в течение 30 ч при температуре  $60 \dots 130^\circ\text{C}$ . Винипластовые и полиэтиленовые трубы соединяют, как показано на рис. 1.13, а и рис. 1.13, б. Места соединения промазывают клеем (одну весовую часть перхлорвиниловой смолы и семь частей дихлорэтана) и плотно сжимают в течение 20 ... 30 мин. При необходимости места соединений сваривают.

Для разветвления трубопроводов и установки КИП используют так называемые фасонные части или фитинги. К ним относят: тройники, крестовины, отводы и т.п. Фитинги

соединяются с трубопроводами с помощью резьбы, фланцев и сварки. Для изготовления отводов применяют специальные прессы, которые обеспечивают также значительную экономию металла. Для отключения и включения потока транспортируемой среды на трубопроводах устанавливают запорную арматуру: краны, вентили и задвижки.

Запорная арматура различается по характеру привода:

- управляемая вручную;
- приводимая в действие электродвигателем, гидравлически;
- включаемую и выключаемую автоматически.

Запорная арматура соединяется с трубопроводами с помощью фланцев, муфт и сваркой.

### 1.5.3 Расчет трубопроводов

При расчете принимают, что сечение трубопровода заполнено жидкостью целиком и при движении жидкости сохраняются постоянными следующие параметры: скорость, давление и сопротивление. Скорость жидкости зависит от напора, создаваемого насосом или высотой, с которой она идет самотеком, а также ее вязкости и конструкции трубопровода. На практике принимают при расчетах следующую скорость:

- самотечные трубопроводы – 0,5 ... 1,25 м/с;
- напорные трубопроводы – 1 ... 3 м/с;
- газопроводы для газов, насыщенных паров – 10 ... 30 м/с.

Секундный расход протекающей жидкости или газа по трубопроводу определяется по уравнению

$$V_C = \frac{\pi d^2}{4} w,$$

где  $d$  – диаметр трубы,  $w$  – скорость жидкости или газа. Тогда

$$d = \sqrt{4V_C / \pi w}.$$

Для определения внутреннего диаметра и величины сопротивления от трения в трубе также пользуются готовыми расчетными таблицами.

*Расчет труб на прочность.* Толщина стенки стальной трубы с внутренним давлением среды  $P_y$  может быть рассчитана по следующим формулам:

а) для бесшовных труб:

$$S = \frac{P_y D_n}{230\sigma + P_y} (1 + A),$$

где  $P_y$  – условное давление, которое соответствует рабочему при  $t = 200$  °С;  $D_n$  – наружный диаметр трубы;  $\sigma$  – допустимое напряжение при  $t = 200$  °С;  $A$  – коэффициент, учитывающий прибавку  $S$  на уменьшение толщины при изгибе и коррозии (обычно  $A = 0,2$ ).

б) для сварных труб:

$$S = \frac{P_y D_n}{230\phi\sigma + P_y} + C,$$

где  $\phi$  – коэффициент, учитывающий ослабление от сварного шва (обычно  $\phi = 0,6 \dots 0,8$ );  $C$  – прибавка на коррозию.

### 1.5.4 Тепловые удлинения трубопроводов и их компенсация



При монтаже трубопроводов необходимо учитывать изменение их длины при колебаниях температуры воздуха. Величина этого изменения может быть определена по уравнению

$$\Delta l = \alpha \Delta t l,$$

где  $\alpha$  – термический коэффициент линейного расширения, 1/град;  $l$  – первоначальная длина трубы;  $\Delta t$  – изменение температуры.

Трубопровод малой длины при нагревании удлиняется и это удлинение может компенсироваться за счет поворотов и выпучивания трубы. Такой процесс называется самокомпенсацией. Для длинных трубопроводов необходимо вводить в конструкцию компенсаторы следующих типов (рис. 1.14): а) линзовые; б) лирообразные. Также применяют, но значительно реже, и сальниковые компенсаторы.

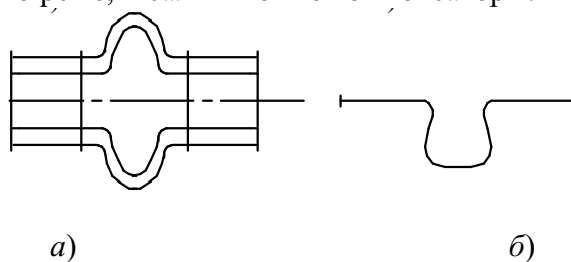


Рис. 1.14 Способы компенсации температурных напряжений

### 1.5.5 Установка трубопроводов

Внутри цеха трубопроводы часто прокладываются открытым способом, т.е. по стенам, колоннам, подвешиваются к перекрытиям.

Скрытая прокладка труб применяется чаще всего в лабораториях (в нишах стен или в полу). Открытым способом прокладывают также трубы вне зданий по эстакадам, мачтам, столбам и т.д. Прокладка в грунте применяется чаще всего для водопроводных и канализационных труб.

*Расчет опор трубопроводов.* Длина пролета между опорами определяется в зависимости от допустимого напряжения на изгиб (для данного материала трубы):

$$l_1 = \sqrt{\frac{12\sigma_{\text{и}}W}{100q}},$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  – допустимое напряжение на изгиб, кг/см<sup>2</sup>;  $W$  – момент сопротивления, см<sup>3</sup>;  $q$  – вес 1 м трубы (с материалом и изоляцией), кг/м.

Расчетная нагрузка на одну опору определяется по уравнению

$$Q = 15ql_1.$$

Опоры для трубопроводов бывают подвижного типа – скользящие и катковые и неподвижного типа – хомутовые и приварные.

Скользящие опоры применяют для прокладки трубопроводов в труднодоступных местах и с большим температурным удлинением. Сами опоры устанавливают на кронштейнах, мачтах, эстакадах.

### 1.6 Совмещенный способ монтажа производственных объектов

Наряду с рассмотренным выше способом последовательного сооружения промышленных предприятий, когда сначала необходимо обеспечить строительную готовность объекта, а затем монтировать технологическое оборудование, также применяется совмещенный способ монтажа объектов. Сущность этого способа заключается в том, что производят монтаж оборудования одновременно со строительными и другими специальными работами. Это особенно выгодно в масштабах всей стройки: рациональнее используются краны, сокращаются сроки строительства, уменьшается его стоимость. При совмещенном способе широко применяют крупноблочный монтаж, когда большой объем сборочных работ выполняют на специальных монтажных площадках до установки оборудования на рабочее место. Это позволяет уменьшить число такелажных операций. Кроме того, работа на земле более безопасна и более производительна.

## 1.7 ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Завершающим этапом монтажа являются пусконаладочные работы, которые выполняются специализированными бригадами, которые формируются из опытейших специалистов пусконаладочных управлений. Пусконаладочные работы начинаются при готовности объекта на 95 ... 98 %. Пусконаладочные работы можно условно разделить на следующие периоды:

а) освоение проектной документации – при этом могут быть своевременно внесены замечания и рекомендации, основанные на опыте пуска и освоения аналогичных объектов;

б) строительномонтажные работы и подготовка объекта к пуску – в данный период разрабатывается план пусконаладочных работ с графиком и сроками их проведения и учетом специальных решений; подготовка кадров;

в) инженерный надзор за монтажом – заключается в контроле основных операций, определяющих работу оборудования, выявлении отступлений от проекта, проверки состояния оборудования, трубопроводов, сварных швов; кроме того, осуществляется предпусковая ревизия оборудования и его испытание, корректировка технической документации;

г) пусковой период – производится комплексное апробирование оборудования на инертных средах, устранение выявленных недостатков и пуск производства на рабочих средах, затем осуществляется вывод производства на проектный режим;

д) период освоения мощностей – производится испытание оборудования на проектных нагрузках; снимаются реальные материальные и энергетические балансы производства; производится анализ работы оборудования и определяются межремонтные пробеги; также вырабатываются мероприятия по ликвидации возможных неполадок, намечаются пути наращивания мощностей, снижение расходных норм сырья и энергии; составляется отчет о работе.

Как показывает опыт проведения пусконаладочных работ, основная причина неполадок (до 60 %) – поломки и непригодность оборудования. Ошибки проекта влекут около 10 % неполадок, а низкое качество строительномонтажных работ – 15 %, остальное приходится на ошибки обслуживающего персонала.

Особое внимание при выполнении пусконаладочных работ уделяется таким операциям, как продувка аппаратов и трубопроводов, загрузка катализатора, монтаж компрессоров.

Опыт показал, что при пусконаладочных работах чаще всего выявляются следующие дефекты:

- аварийный клапан не отрегулирован на рабочее давление;
- люк аппарата закрыт площадкой обслуживания;
- отсутствуют площадки обслуживания;

- не соблюдаются условия, исключающие искрообразование в опасных цехах;
- отсутствуют мягкие вставки на линиях нагнетания и всасывания вентиляторов;
- сливной патрубков выступает выше дна, что затрудняет слив жидкости из аппарата;
- отсутствуют ребра жесткости;
- установка подшипников на прессовой посадке вместо скользящей.

Выявленные недостатки обобщаются и представляются в виде рекомендаций проектировщикам и заводам-изготовителям оборудования.

## 2 РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ремонт – процесс восстановления работоспособности машин и аппаратов, в результате которого основные рабочие параметры оборудования приводятся в пределы, установленные его технической документацией.

Проблемы ремонта оборудования решает теротехнология – это наука об обслуживании техники. Она обобщает и систематизирует принципы и элементы технического обслуживания и ремонта с учетом морального износа. Теротехнология – технология обеспечения эффективного функционирования оборудования в течение всего срока службы. Она увязывает это обеспечение с качеством проектирования, монтажа и эксплуатации оборудования.

В процессе эксплуатации оборудования детали постоянно изнашиваются и изменяются под влиянием внешних нагрузок, внутренних технологических напряжений и коррозионного воздействия. Этот износ характеризуется отклонениями размеров и формы деталей, изменением механических и химических свойств поверхностных и внутренних слоев деталей. Совокупность таких изменений при достижении определенных границ называется эксплуатационным повреждением детали. Оно устраняется ремонтом или заменой данного узла. Для удлинения срока работы деталей необходимы:

- а) переход от приближенных расчетов на статическую прочность к расчетам, учитывающим усталость при повторно переменных нагрузках;
- б) учет явлений концентрации напряжений;
- в) применение износостойчивых материалов;
- г) поверхностное упрочнение деталей и т.п.

Ремонт оборудования включает в себя комплекс мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормальной работоспособности деталей, узлов, агрегатов. Технологические ремонты состоят из следующих этапов:

- разборка машины и ее дефектация,
- ремонтная обработка детали,
- сборка узлов и машин с проверочными операциями,
- испытание машин и аппаратов.

### 2.1 ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ремонтом и эксплуатацией технологического оборудования, сооружений и коммуникаций руководит служба главного механика предприятия. Главный механик подчиняется главному инженеру и директору. Структура ремонтно-механического хозяйства завода представлена на рис. 2.1.

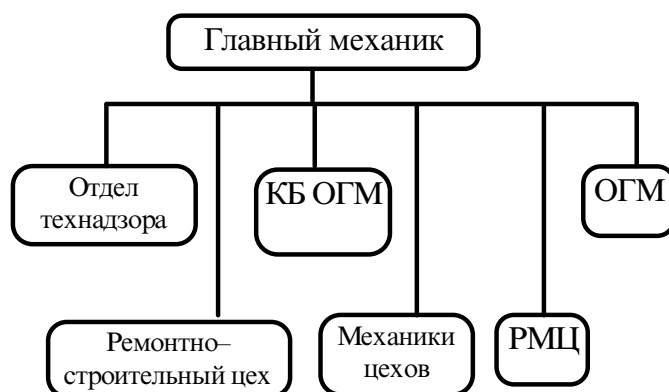


Рис. 2.1 Структура ремонтно-механического хозяйства завода

Служба главного механика выполняет следующие работы:

- надзор за состоянием оборудования и строительных конструкций;
- составление плана на ремонт оборудования;
- организация мероприятий по ремонту;
- внедрение новых процессов по ремонту оборудования;
- контроль стоимости ремонтных работ;
- составление отчетов по ремонту;
- разработка чертежей по ремонту оборудования приспособлений, механизмов;
- собственно ремонт.

Сама ремонтная служба может быть централизованной, децентрализованной и смешанной. *Централизованная* служба предполагает, что ремонт всего оборудования выполняется силами ремонтно-механического цеха (РМЦ). Для *децентрализованной* службы характерно то, что все виды ремонтных работ выполняются на ремонтных участках технологических цехов. При *смешанной* службе ремонт проводится как силами РМЦ, так и силами ремонтных отделений технологических цехов.

## 2.2 СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Для поддержания в рабочем состоянии технологического оборудования необходим комплекс организационных и технических мероприятий по обслуживанию и ремонту машин и аппаратов, трубопроводов и арматуры. Наиболее распространенным таким комплексом является система планового предупредительного ремонта (ППР). При этом мероприятия по обслуживанию и ремонту оборудования проводятся по заранее составленному плану для обеспечения безотказной работы оборудования.

Цели, которые достигаются при реализации системы ППР следующие:

- предупреждение аварий оборудования;
- возможность выполнения ремонтных работ по плану, согласованному с планом производства;
- своевременная подготовка запчастей материалов и минимальный простой оборудования в ремонте.

Для каждого конкретного производства система ППР реализуется в виде графика, составляемого на один год службой главного механика. В графике на каждую единицу основного оборудования указываются виды ремонта (Т – текущий, К – капитальный) и сроки проведения их по месяцам. Также предусматриваются нормативы времени на производство ремонтных работ по каждому виду ремонта ( $T_1$  – первый текущий ремонт;  $T_2$  – второй текущий ремонт) и указывается исполнитель (ремонтная бригада).

На основании годового графика составляется месячный график плановых ремонтов с уточнением дат ремонта. В этом графике указывается трудоемкость по каждому виду ремонта и исполнители.

В процессе реализации ППР содержание и объем каждого ремонта устанавливается с учетом выявленного состояния агрегатов. При составлении плана учитывается межремонтный цикл – это время работы оборудования между двумя капитальными ремонтами. В ремонтный цикл входят кроме  $T_1$ ,  $T_2$  и  $K$  также и техническое обслуживание  $ТО$ .

Ремонтный цикл связывает виды ремонтов и сроки проведения их по месяцам (рис. 2.2).

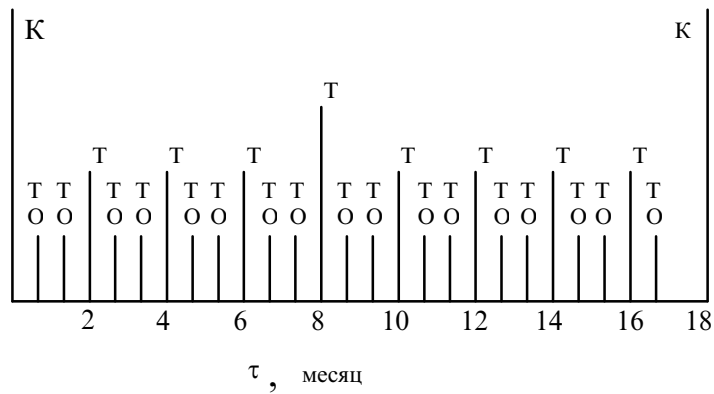


Рис. 2.2 Схема межремонтного цикла

Составление графиков ППР и учет их выполнения сложная техническая задача, для решения которой используют быстродействующие ЭВМ и создают автоматизированные системы управления. Для создания и внедрения АСУ необходимо иметь пять видов обеспечения: организационное, информационное, математическое, программное и техническое.

*Организационное обеспечение* – взаимодействие персонала с техническими средствами и между собой.

*Информационное обеспечение* – система документооборота, оптимизированная путем возможного сокращения действующих документов строгим ограничением потоков информации при обеспечении полноты и достоверности.

*Математическое обеспечение* – совокупность математических методов и моделей для обработки информации и решении задач.

*Программное обеспечение* – использование типовых программ при решении вышеизложенных задач.

*Техническое обеспечение* – комплекс технических средств, состоящий из ЭВМ с дополнительными устройствами и системой связи.

### 2.2.1 Виды обслуживания и ремонтов

Система ППР предусматривает следующие виды обслуживания и ремонтов: техническое обслуживание; текущий ремонт; капитальный ремонт.

*Техническое обслуживание* – это эксплуатационный уход и мелкий ремонт оборудования. Данное мероприятие включает наружный осмотр, смазку, проверку заземления, подтяжку креплений, замену предохранителей и т.п. Техническое обслуживание осуществляется эксплуатационным персоналом: аппаратчик, слесарь, электрик. Все неисправности фиксируются в сменном журнале. Изложенное выше показывает, что техобслуживание иногда требует остановки оборудования. Следует отметить, что эти остановки невозможно предусмотреть.

*Текущий ремонт* – выполняется с разборкой отдельных сборочных единиц; включает следующие операции: промывку оборудования, регулировку узлов, ремонт и замену деталей, ремонт антикоррозионных покрытий.

В зависимости от характера и объема работ текущий ремонт часто подразделяют на два вида  $T_1$  и  $T_2$ . Текущий ремонт  $T_1$  включает в себя очистку оборудования и осмотр его, регулировку зазоров в узлах машин, подтяжку или замену уплотнений, мелкий ремонт систем охлаждения и смазки. Текущий ремонт  $T_2$  кроме работ, предусмотренных ремонтом  $T_1$ , включает в себя центровку и балансировку вращающихся деталей, замену и ремонт подшипников и зубчатых колес, а также испытание оборудования.

Текущий ремонт можно производить в нерабочие смены, а при непрерывном процессе – в дни специально предусмотренные планом. Выявленные дефекты и результаты текущего ремонта регистрируются в ремонтной карте.

*Капитальный ремонт* – характеризуется одновременной заменой большого количества деталей, сборочных единиц и комплексов. При капитальном ремонте оборудование полностью восстанавливается. В этот ремонт входят: промывка и полная разборка оборудования, ремонт и замена деталей и сборочных единиц, проверка фундаментов и станин, сборка машины с испытанием на холостом ходу и под нагрузкой. Также в капитальный ремонт могут быть включены работы по модернизации и автоматизации оборудования.

После капитального ремонта оборудование сдается по акту комиссии в составе главного механика, инженера, отдела технадзора, инженера по ТБ и начальника производства. Следует отметить, что при планировании ремонтов с длительной остановкой оборудования, особенно капитального ремонта, предусматривают проводить эти мероприятия в теплое время года, так как часть оборудования находится на открытых площадках.

Перед остановочным ремонтом должны быть проведены подготовительные работы: сооружения лесов, изготовление фланцев, получение сложных узлов с машиностроительных заводов. Для остановочного ремонта разрабатывается проект проведения ремонта, который включает следующие этапы:

– подготовку техдокументации (чертежи оборудования, ремонтные чертежи);

- описание технологии ремонта;
- описание и подготовку ремонтной оснастки;
- составление дефектной ведомости.

В дефектной ведомости перечисляются дефекты по каждому узлу с указанием заменяемой или ремонтируемой детали. Она является основным документом для определения стоимости ремонтных работ. В ней указываются все детали и узлы, подлежащие ремонту, стоимость всех работ. Также определяются трудоемкость ремонтных работ, количество ремонтных рабочих. Она имеет следующий вид.

### ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ

на \_\_\_\_\_ ремонт. Заказ № \_\_\_\_\_  
 Наименование оборудования \_\_\_\_\_  
 Инв. № \_\_\_\_\_ марка \_\_\_\_\_ модель \_\_\_\_\_

Наименование детали.	№ чертежа	Количество	Описание дефекта	Наименование	Наименование материала	Масса	Стоимость	Объем работ	Погребное количество
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Дата составления ведомости \_\_\_\_\_

Место ремонта \_\_\_\_\_

Представитель службы главного механика \_\_\_\_\_

Бригадир ремонтников \_\_\_\_\_

### 2.2.2 Заготовка запасных частей

Перед ремонтом необходимо получить сложные узлы (трубные пучки, роторы компрессоров и т.п.) с машиностроительных заводов. Необходимо также иметь определенный запас деталей для ремонта. Различают две группы запасных деталей: а) систематически заменяемые детали; б) резервные детали, заменяемые при капитальном ремонте, аварии и внеплановом ремонте.

Норма запаса деталей определяется по выражению:

$$H = \frac{ADPK_a K_d}{T},$$

где  $A$  – количество действующих однотипных машин;  $D$  – количество однотипных деталей в одной машине;  $P$  – срок, на который следует делать запас (он равен сроку на заказ, изготовления, поставку детали);  $K_a$  и  $K_d$  – поправочные коэффициенты, зависящие от  $A$  и  $D$ ;  $T$  – срок службы данной детали.

Следует отметить, что  $K_a$  и  $K_d$  можно определить по следующей таблице:

$A$	$K_a$	$D$	$K_d$
1 ... 5	1	1	1
6 ... 10	0,9	2	0,8



11 ... 15	0,8	3 ... 4	0,7
16 ... 20	0,7	5 ... 6	0,6
21 ... 25	0,6	7 ... 8	0,5
26 ... 30	0,5	9 ... 10; 11 ... 12	0,4; 0,3

### 2.3 ВАЖНЕЙШИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

При ремонте технологического оборудования приходится использовать различные металлы и сплавы. Поэтому необходимо иметь представление не только об их физико-механических свойствах, но и о классификации и маркировке.

*Железо* в технически чистом виде почти не применяется как конструкционный материал. Оно отличается пластичностью и стоит дорого. Очень небольшое его количество идет на изготовление прокладок для аппаратов высокого давления. Зато сплавы железа с углеродом – чугуны и стали – являются самыми важными материалами для изготовления химического оборудования. Достаточно сказать, что не менее 85 ... 90 % по весу оборудования химических заводов сделано из чугуна и стали и в том числе не менее 50 % – из чугуна.

*Чугуны.* Серые чугуны представляют собой многокомпонентные сплавы железа с углеродом и другими элементами – кремнием, марганцем, фосфором. Содержание углерода в чугунах варьируется от 2,8 до 3,7 %, причем большая его часть находится в свободном состоянии и только около 0,8 ... 0,9 % в связанном состоянии – в виде цементита (карбида железа). Содержание компонентов в обычных серых чугунах примерно следующее: *C* – 3,0 ... 3,6; *Si* – 1,6 ... 2,4; *Mn* – 0,5 ... 1,0; *P* – до 0,8; *S* – до 0,12 %.

Структура чугунов преимущественно ферритно-перлитная. От взаимного соотношения перлита и феррита зависят и механические свойства чугуна. Содержание феррита определяет вязкость, а перлита – жесткость и прочность чугуна. Свободный углерод выделяется в чугуне в виде графита и существенно влияет на прочностные свойства отливки. Стараются присадками и выбором правильного времени охлаждения добиться наибольшей мелкозернистости и шаровидной формы зерен графита.

Детали изготавливаются из чугуна отливкой в земляные или металлические формы, что дает возможность в случае необходимости придавать изделию гораздо более сложные формы, чем допускают другие технологические приемы. Не менее крупным достоинством серых чугунов является их низкая стоимость, что совместно с неплохими механическими свойствами и обеспечило их повсеместное применение в технике как одного из важнейших конструкционных материалов. Чугуны пластичностью не обладают. Штамповка или ковка чугуна даже в нагретом состоянии невозможна. Рекомендуются проводить обработку чугуна резанием.

Название марок серых чугунов по ГОСТу 1412-74 состоит из букв СЧ, что означает серый чугун, и двух двухзначных чисел: первое характеризует предел прочности чугуна на растяжение, а второе – предел прочности на изгиб. Чугун представляет собой анизотропный материал, обладающий различной прочностью в зависимости от характера и направления нагрузки. Лучше всего чугун сопротивляется сжатию, хуже изгибу, причем опыт показывает влияние формы поперечного сечения на величину предела прочности при изгибе. На растяжение чугун работает примерно в четыре раза хуже, чем на сжатие. Также плохо выдерживает серый чугун скалывающие нагрузки. Эти особенности чугунов обязательно должны учитываться не только при конструировании, но и при монтаже чугунной аппаратуры (чтобы не разрушить детали приложением нагрузок, на которые детали не рассчитаны). Чугуны СЧ12-28 применяются для изготовления рам машин, бочек аппаратов, работающих без давления, а также для изготовления элементов трущихся пар, заменяя во многих случаях более дорогую и дефицитную бронзу.

Чугуны марок СЧ15-32 и СЧ18-36 наиболее часто применяются для изготовления деталей машин и аппаратов. Чугуны СЧ21-40 и более высоких марок применяются для ответственных деталей повышенной прочности или подверженных действию знакопеременных нагрузок, таких, как цилиндры насосов и компрессоров, зубчатые и червячные колеса, звездочки для цепей, маховики и т.д. При проектировании чугунных аппаратов и сосудов необходимо считаться с ограничениями инспекции Госгортехнадзора, которые допускают применение серого чугуна для аппаратов, температура стенок которых не выше 250 °С, при соблюдении следующих условий: 1) из чугуна марки СЧ15-32 допускается изготовление сосудов диаметром до 1 м для внутреннего давления не выше 6 ати и диаметром до 2 м при давлении не выше 3 ати и 2) из чугуна марки СЧ18-36 диаметром до 3 м для внутреннего давления не выше 3 ати. При наружном давлении до 8 ати допустимый максимальный диаметр сосуда 2 м.

Серые чугуны обладают весьма умеренной химической стойкостью против агрессивных сред, что объясняется их неоднородностью. Все структурные составляющие чугуна, именно цементит, феррит и графит, обладают разным химическим потенциалом. Разность потенциалов между ферритом и графитом достигает 0,8 В, что и объясняет их малую химическую стойкость.

На машиностроительных заводах выпускаются специальные щелочестойкие низколегированные чугуны, обладающие хорошей стойкостью против растворов и расплавов едких щелочей.

Улучшение качества серого чугуна достигается модифицированием, заключающимся в введении в него небольших количеств графитизирующих добавок (силикокальция, силикоалюминия, ферросилида). Модифицированными выпускаются чугуны марок СМЧ28-48, СМЧ32-52, СМЧ35-56 и СМЧ38-60.

Модифицированный чугун характеризуется однородностью и мелкозернистостью структуры, повышенной износостойкостью, повышенной прочностью при динамических нагрузках, хорошей обрабатываемостью на станках, а также большей, чем у серых чугунов, химической стойкостью, что делает его весьма желательным конструкционным материалом, несмотря на несколько большую его себестоимость по сравнению с обычным серым чугуном.

Интересной современной разновидностью модифицированного чугуна является высокопрочный чугун, в который введена специальная добавка из магния. В результате действия добавки свободный графит в чугуне выделяется не в виде пластинок и чешуек, а в виде мелких зерен сферической формы, чем значительно снижается концентрация напряжений возле зерен. Механические характеристики высокопрочного чугуна, его плотность, вязкость и усталостная прочность оказались настолько хороши, что из него начали изготавливать даже такие ответственные детали, как коленчатые валы малых компрессоров, которые ранее отковывались из стали. Высокопрочный чугун вытесняет так называемый ковкий чугун, т.е. частично обезуглероженный серый чугун с содержанием углерода 2,95 %, способный без разрушения испытывать значительные деформации, поскольку относительное удлинение образцов составляет от 3 до 10 %. В промышленном аппаратостроении ковкий чугун применяется, главным образом, для изготовления небольших и тонкостенных деталей, арматуры и фитингов.

Широкое применение в химической аппаратуре нашли легированные чугуны, химическая стойкость и жаропрочность которых повышены добавками никеля, хрома, молибдена, кремния и других элементов. Чугуны с содержанием никеля до 20 % и добавкой 5 ... 6 % меди применяются для работы с едкими щелочами, так как они мало чувствительны к каустической хрупкости. Высокохромистые чугуны с содержанием хрома до 30 % устойчивы к азотной кислоте, ее солям, фосфорной, уксусной, хлористым соединениям и, кроме того, обладают высокой износостойкостью и жаростойкостью, позволяя работать при температурах до 1200 °С. Хромистый чугун стоек против разъедания серой и ее

соединениями. Распространены аустенитные чугуны, содержащие до 19 % хрома и до 9 % никеля, устойчивые к азотной кислоте и обладающие хорошей жароупорностью. Они пригодны для работы при температурах до 1000 °С.

Для изготовления аппаратов и труб, подверженных воздействию азотной кислоты и других агрессивных сред, применяются высококремнистые чугуны – ферросилиды и антихлор. Антихлор стоек против соляной кислоты, интенсивно разрушающей большинство конструкционных металлов и сплавов (в том числе и ферросилиды).

Несмотря на высокую стойкость против коррозии и дешевизну, высококремнистые сплавы получили сравнительно ограниченное применение из-за плохих механических и технологических свойств. Все высококремнистые сплавы хрупки, не переносят быстрых изменений температур и обладают большой линейной усадкой и плохими литейными свойствами, поддаются обработке только абразивным кругом. Невозможность обработки резанием высококремнистых сплавов объясняется не столько их твердостью, сколько выкрашиванием зерен материала при его обработке.

*Стали.* Второй обширной и важнейшей группой конструкционных материалов на железной основе являются стали. Такое исключительное значение стали приобрели благодаря своей прочности, вязкости, способности выносить динамические нагрузки, способности отливаться, коваться, штамповаться, прокатываться, свариваться, хорошо обрабатываться резанием, термически обрабатываться и, что чрезвычайно ценно, изменять свои свойства в широчайших пределах в зависимости от состава, термической и механической обработки, а также благодаря своей дешевизне и доступности.

Содержание углерода в сталях доходит до 1,5 %, причем в конструкционных сталях оно не превышает 0,7 %. С повышением содержания углерода в стали повышается ее прочность, снижается пластичность и ухудшается свариваемость. В углеродистых сталях, предназначенных для сваривания, содержание углерода не должно превышать 0,3 %, а в легированных сталях – 0,2 %. При содержании углерода более указанного стали приобретают склонность к воздушной закалке, благодаря чему в зоне сварки при охлаждении могут возникнуть высокие напряжения и образоваться закалочные трещины. Стали с низким содержанием углерода (до 0,2 %) хорошо штампуются и вытягиваются, хорошо цементируются и азотируются, но плохо обрабатываются резанием.

*Маркировка сталей.* Марки качественных конструкционных сталей обозначаются сочетанием цифр и букв, позволяющих сразу получить представление о химическом составе стали, в отличие от марок чугунов, которые характеризуют их механические свойства. Цифры, поставленные слева от букв, показывают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы означают содержание в стали того или иного легирующего элемента, а цифры, стоящие справа от букв, – процентное содержание этих элементов в том случае, если их содержание в стали превышает 1 ... 1,5 %. В марках сталей легирующие элементы обозначаются следующими буквами: Н – никель, Х – хром, М – молибден, Г – марганец, С – кремний, Т – титан, Б – ниобий, В – вольфрам, Ф – ванадий, Д – медь, Ю – алюминий.

Буква А, стоящая в конце марки, означает, что это качественная сталь, выполненная в мартеновских или электродуговых печах. Качественные углеродистые стали обозначаются цифрами, характеризующими среднее содержание углерода в стали, а буква К, стоящая справа от цифр, указывает, что это котельная, а буква Л – литейная стали. Например, марка 15К означает, что это качественная котельная углеродистая сталь со средним содержанием углерода 0,15 %; марка 15ХМ означает, что это низколегированная сталь со средним содержанием углерода 0,15 %, легированная хромом и молибденом, содержание каждого из которых не превосходит 1 ... 1,5 %. Марка высоколегированной стали Х18Н12М2Т показывает, что она содержит около 18 % хрома, 12 % никеля, 2 % молибдена и около 1 % титана. Кроме марок, у многих сталей имеются еще и заводские названия, например сталь 1Х18Н9Т называется сталью ЭЯ1Т.

Для изготовления ответственной аппаратуры применяется также углеродистая сталь обыкновенного качества марок Ст1, Ст2 и Ст3. Буквы, стоящие слева от этих марок, обозначают способ получения, например МСт3 означает мартеновскую сталь.

В машиностроении наиболее распространены углеродистые и низколегированные стали (с содержанием легирующих добавок до 2,5 %).

Стали, предназначенные для аппаратостроения, должны обладать высокой пластичностью, потому что при гибке и вальцовке обечаек материал подвергается большим пластическим деформациям. Они также должны обладать хорошей свариваемостью, позволяющей отказаться от термообработки сварных швов. Стали, применяемые для аппаратуры, работающей при повышенных температурах и давлениях, должны изготавливаться в мартеновских печах или электропечах и иметь относительное удлинение не менее 17 ... 18 %. Углеродистая сталь допускается для деталей аппаратов, работающих при давлении не выше 64 атм. При температурах стенки выше 450° вне зависимости от давления применяются теплостойкие стали. Повышение температуры до 350 °С вызывает уже такое сильное уменьшение предела текучести, что применение обычных сталей становится нерациональным.

Широкое применение в аппарато- и котлостроении получили низколегированные молибденовые стали с содержанием около 0,5 % молибдена и хромомолибденовые, содержащие, кроме молибдена, до 1 % хрома. Сталь марки 16М, разработанная взамен ранее выпускавшихся сталей 15М и 20М, хорошо сваривается, термически обрабатывается, очень вязка и пригодна для изготовления сварных и кованых сосудов, работающих под давлением. Благодаря присутствию молибдена она стойка против коррозии в пароводяной среде. Сталь М16 не должна применяться при температурах, превышающих 475 °С, из-за ее склонности к графитизации и потере прочности от длительного воздействия такой температуры. Из хромомолибденовых сталей 12МХ и 15ХМ изготавливаются теплообменники, работающие в области высоких температур, горячие коллекторы, паропроводы высокого давления. Предельные температуры при длительной работе для стали 12МХ-540 °С, а для стали 15ХМ-560 °С.

В последнее время освоены стали 12МФХ и 12ХМФ, отличающиеся от двух предыдущих меньшим содержанием дорогого молибдена (0,3 % вместо 0,5), но с добавлением 0,15 ... 0,3 % ванадия. Эти стали отличаются несколько большей прочностью и могут применяться при температурах до 560 °С. При температурах выше 600 °С и при действии агрессивных сред применяются высоколегированные жароупорные стали типа 18-8 и им подобные.

Особо выделяются стали для изготовления крепежных деталей разъемных соединений аппаратуры высокого давления. Они должны обладать высокой прочностью, высоким пределом текучести и крипоустойчивостью и не обладать тепловой хрупкостью. Из них особенный интерес представляет сталь 25Х2МФ, обладающая высокой прочностью, релаксационной стойкостью и сопротивляемостью против тепловой хрупкости. В менее тяжелых условиях хорошо работают стали 30ХМА и 38ХМЮА. Особую группу составляют также высоколегированные аустенитные стали с повышенной стойкостью против коррозии.

*Влияние легирующих добавок.* Важнейшими легирующими элементами являются: хром, никель, молибден, марганец, кремний, титан, ниобий, вольфрам, ванадий, иногда добавляются алюминий и медь. Добавки этих элементов в стали оказывают влияние на ее конструкционные свойства.

Никель повышает прочность, пластичность и вязкость, уменьшает зерно и склонность к его росту, улучшает прокаливаемость, увеличивает коррозионную стойкость, является аустенито-образующим элементом и вводится в состав всех аустенитных сталей. Положительное влияние никеля на свойства стали усиливается при добавлении хрома.

Хром улучшает механические свойства, износостойкость и прокаливаемость стали. Добавление хрома повышает коррозионную стойкость стали и делает ее жароупорной. Хром повышает склонность сталей к отпускной хрупкости. Высокохромистые стали плохо свариваются, что ограничивает их применение.

Молибден повышает прочностные свойства сталей и способствует их сохранению при высоких температурах. Повышает предел ползучести, уменьшает склонность хромистых сталей к отпускной хрупкости, улучшает прокаливаемость, способствует образованию равномерной и мелкозернистой структуры. Добавление молибдена к аустенитным сталям придает им устойчивость по отношению к хлоридам.

Марганец считается легирующим элементом при содержании его в стали более 1 %. Повышает прочностные свойства стали, повышает устойчивость аустенитной структуры, увеличивает прокаливаемость. Его отрицательное влияние проявляется в том, что он понижает пластичность и способствует росту зерен. Увеличение содержания марганца до 10 ... 15 % позволяет получить вязкую и прочную аустенитную сталь с большой сопротивляемостью к ударам и эрозии.

Кремний считается специальным легирующим элементом при содержании его в стали более 0,5 %. Увеличивает прочность, коррозионную стойкость, жаростойкость и жаропрочность сталей. Снижает вязкость и способствует графитизации стали.

Титан и ниобий – карбидообразующие элементы, увеличивающие прочность стали и способствующие ее прокаливаемости. Вводятся в состав большинства хромоникелевых аустенитных сталей для предупреждения интеркристаллитной коррозии.

Вольфрам сильно увеличивает твердость стали. Применяется преимущественно для легирования инструментальных и быстрорежущих сталей.

Ванадий увеличивает пластичность, измельчает структуру стали, улучшает ее свариваемость. Увеличивает стойкость стали против водородной коррозии.

Из сталей на специализированных заводах выпускают заготовки – листы, трубы, профильный прокат, прутки, проволоку.

Фасонные стальные отливки делают из углеродистых сталей 20Л, 25Л, 35Л и 55Л – по составу аналогичных сталям 20, 25, 35 и 55. Для литья пригодны также стали 30СГЛ, 25МЛ и 20ХМЛ и высоколегированные, например, сталь 1Х18Н9Т.

Сравнивая свойства углеродистых и низколегированных сталей, легко убедиться, что незначительные добавки легирующих элементов в низколегированных сталях существенно повышают их конструкционные свойства после термической обработки. Поэтому одна из задач инженеров в настоящее время заключается во внедрении и максимальном использовании низколегированных сталей вместо простых углеродистых с целью существенного уменьшения веса конструкций и высвобождения значительного количества черных металлов. Для этой же цели промышленность осваивает новый улучшенный сортament профильного проката, в том числе и фланцевую уголковую сталь, позволяющую удешевить изготовление фланцев крупной аппаратуры и уменьшить отходы при их обточке.

*Высоколегированные аустенитные стали.* В машиностроении широко используются высоколегированные хромо-никелевые стали, содержащие 18 ... 20 % хрома и 8 ... 10 % никеля и поэтому часто называемые до сих пор сталями типа 18-8. Несмотря на дороговизну этих сталей по сравнению с углеродистыми, они быстро завоевали обширную сферу применения, благодаря своим высоким качествам: коррозионной стойкости ко многим агрессивным средам, жароупорности, крипостойкости и прочности.

Основными марками аустенитных сталей являются: 1Х18Н9Т (ЭЯ1Т), 1Х18НПБ (ЭЯ1Б), 1Х18Н12М2Т и 1Х18Н12М3Т. Сталь 1Х18Н9Т (ЭЯ1Т) обладает высокой стойкостью против газовой коррозии, может применяться при температурах, достигающих до 900 °С. Она устойчива против разъедающего действия азотной кислоты, нитритов, нитратов, уксусной и фосфорной кислоты и многих других агентов. Эта сталь служит конструкционным материалом для изготовления аппаратуры заводов азотной кислоты. Сталь 1Х18Н11Б,

благодаря добавлению ниобия, обладает повышенной крипостойкостью. Сталь 1X18H12M2T устойчива против хлористого аммония и многих других хлорсодержащих соединений. Жаростойкость ее также высока. Сталь 1X18H12M3T предназначена для изготовления аппаратов синтеза мочевины и обладает высокой стойкостью ко многим агрессивным веществам, но более дорога благодаря большому содержанию молибдена. Аустенитные стали немагнитны.

Сравнение характеристик стали 1X18H9T с характеристиками углеродистой стали 15 показывает, что при том же пределе текучести сталь 15 обладает в 1,5 раза меньшим пределом прочности и значительно меньшим относительным удлинением.

Конструкционные свойства аустенитных сталей хорошие. Они прекрасно штампуются, удовлетворительно обрабатываются резанием, отлично свариваются, но очень чувствительны к наклепу.

*Цветные металлы.* Из цветных металлов в химической аппаратуре применяются алюминий, медь, никель и свинец, в последнее время начали применять титан и тантал. Химическая стойкость цветных металлов сильно зависит от их чистоты. Примеси других металлов снижают коррозионную сопротивляемость цветных металлов и повышают их механическую прочность. Холодная обработка (наклеп, гартровка) значительно повышает предел прочности цветных металлов и понижает их относительное удлинение. Пластические свойства наклепанного металла восстанавливаются отжигом. Отношение предела прочности нагартованного металла к пределу прочности отожженного для алюминия и меди может превышать три, а для никеля – доходить до двух.

Максимальные температуры стенок аппаратуры, сделанной из цветных металлов, допускаются следующие: алюминия – 200; меди и ее сплавов – 250; никеля – 500; свинца – 140; тантала – 1200; аппаратуры, паянной мягкими припоями – 120 °С.

*Алюминий* выпускается согласно ГОСТ 3549-55 семи марок в зависимости от чистоты. Для изготовления химической аппаратуры применяются марки АОО и АЭ с содержанием алюминия соответственно не менее 99,7 и 99,6 %.

Для изготовления химической аппаратуры, работающей под давлением, применяется мягкий алюминий, отожженный при 380 ... 400 °С, имеющий предел прочности на растяжение не менее 750 кг/см<sup>2</sup>, при удлинении не менее 25 %. Отжиг алюминия (и других цветных металлов) необходим для увеличения относительного удлинения и повышения коррозионной стойкости.

Алюминий весьма стоек к агрессивному действию многих сред, в том числе концентрированной азотной кислоты, фосфорной и уксусной кислот, многих органических соединений, сухих хлора и хлористого водорода, сернистых соединений, паров серы. Его химическая стойкость объясняется способностью образовывать плотную защитную пленку из окислов.

Быстрое образование оксидной пленки затрудняет пайку и сварку алюминия. Паяные соединения алюминия чрезвычайно подвержены коррозии и поэтому не рекомендуются.

Основным видом неразъемного соединения частей алюминиевой аппаратуры является сварка газовым пламенем с подчеканкой шва. В последнее время освоена электродуговая сварка толстых алюминиевых листов с подогревом. Температура литья алюминия 700 °С, горячей обработки и отжига 350 ... 400 °С.

К отрицательным характеристикам алюминия относятся его плохие литейные свойства, плохая обрабатываемость резанием, малая прочность. Положительными свойствами алюминия являются его большая теплопроводность, в 4,5 раза превышающая теплопроводность стали, малый удельный вес и высокая пластичность, обеспечивающая хорошую прокатываемость и способность штамповаться как в горячем, так и в холодном состоянии.

*Медь* является ценным конструкционным материалом и согласно ГОСТ 859-81 выпускается в технически чистом виде пяти марок, из которых для конструирования

химической аппаратуры применяются две марки М2 и М3 с содержанием соответственно 99,7 и 99,5 % чистой меди.

Подобно алюминию медь хорошо тянется, плющится, штампуется, вальцуется, бортуется как в горячем, так и холодном состоянии и так же, как и алюминий, из-за своей высокой вязкости плохо обрабатывается резанием. Литейные свойства меди посредственны. Основными способами неразъемного соединения частей медной аппаратуры служат клепка в холодном состоянии, сварка, пайка крепкими и слабыми припоями.

Для изготовления аппаратуры применяется отожженная медь, имеющая предел прочности не ниже  $2100 \text{ кг/см}^2$  и относительное удлинение не менее 30 %. Медь не образует защитных оксидных пленок и поэтому не обладает химической стойкостью против большинства кислот и солей. Многие газы – галогены, сернистый ангидрид, пары серы, сероводород, уголекислота, аммиак – разрушают медь. Зато в растворах щелочей медь весьма устойчива. Медь идет на изготовление аппаратуры пищевой промышленности, спиртовых ректификационных колонн, кубов-испарителей и т.д. Высокая электропроводность меди делает ее основным материалом для токопроводящих деталей.

Особо ценно свойство меди повышать свою прочность при низких температурах, включая область глубокого охлаждения, сохраняя при этом высокую ударную вязкость. При охлаждении меди марки М2, предварительно отожженной и закаленной в воде при температуре  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , до минус  $196 \text{ }^\circ\text{C}$  ее предел прочности возрастает с 20 до  $38 \text{ кг/мм}^2$  (при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а относительное удлинение до 41 % и при охлаждении до минус  $253 \text{ }^\circ\text{C}$  эти цифры становятся соответственно равными  $46 \text{ кг/мм}^2$  и 46 %.

*Свинец* в свое время играл важную роль в аппаратостроении. Его высокая стойкость по отношению к серной кислоте и ее солям, объясняемая образованием защитной пленки из сернокислого свинца, обеспечили ему применение в аппаратуре сернокислотных заводов. Однако исключительная мягкость свинца, его легкоплавкость, большой удельный вес и дороговизна заставляют отказываться от его употребления и применять вместо него сплавы на железной основе. Согласно ГОСТу 3778-86 выпускаются шесть марок свинца СВ, СО, С1, С2, С3 и С4, из которых первые три марки представляют свинец особой чистоты для аккумуляторов, марки С2, С3 и С4 с содержанием свинца 99,95; 99,90 и 99,5 % применяются для химической аппаратуры. Из свинца изготавливаются листы, трубы. Литейные свойства свинца хорошие.

*Никель* выпускается пяти марок (ГОСТ 8259-86). Для химического машиностроения применяется никель наивысшей чистоты марки НО с общим содержанием примесей не более 0,01 %. В силу своей прочности, теплостойкости, коррозионной стойкости, хороших технологических свойств никель представляет собой удобный материал для машиностроителя. Никель лется и подвергается горячей и холодной обработке. Он совершенно химически стоек к растворам и расплавам щелочей, органическим кислотам и многим органическим соединениям. Никель применяется в аппаратуре органического синтеза в тех случаях, когда применение нержавеющей сталей невозможно из-за их влияния как катализатора на ход побочных или нежелательных реакций, а также для изготовления аппаратуры фармацевтической и пищевой промышленности, где требуется максимальная чистота продукта.

Для изготовления сосудов и аппаратуры идет отожженный никелевый лист с пределом прочности не менее  $4000 \text{ кг/см}^2$  при относительном удлинении не менее 25 %. Никелевые листы применяются также для плакировки и обкладывания стальной аппаратуры.

*Титан* в последнее время начали применять для изготовления химического оборудования. Весьма обещающими для этой цели являются ниобий и цирконий. Химическая стойкость этих металлов против многих агрессивных сред является уникальной. Титан хорошо куется, штампуется. Сварка титана производится вольфрамовым электродом в защитной атмосфере аргона.

Титан химически стоек против кипящих азотной кислоты и царской водки всех концентраций, нитритов, нитратов, хлоридов, сульфидов, фосфорной кислоты, хромовой кислоты, органических кислот, в том числе уксусной, мочевины.

В изделии титан обходится примерно в 8 ... 10 раз дороже, чем аустенитная хромоникелевая сталь, поэтому желательнее применять его в качестве обкладочного материала. Листы и трубы из титана делаются толщиной 0,5 ... 3 мм. Из титана изготавливаются испарители для уксусной кислоты, теплообменники для влажного хлора, реакторы для получения аммиачной селитры по способу Штенгеля, роторные аппараты для выпаривания растворов мочевины и другая разнообразная аппаратура. Значительное количество листового титана расходуется на обкладку хранилищ для разъедающих жидкостей.

*Сплавы на основе цветных металлов* издавна применялись в машиностроении. В настоящее время они главным образом используются как конструкционный материал для машин, особенно частей, подверженных истиранию (подшипники, цапфы, винтовые шестерни, червячные шестерни), а также для изготовления арматуры и в кислородном машиностроении. Сплавы цветных металлов, за исключением некоторых латуней и монель-металла, как коррозионностойкие материалы в значительной мере уступили свое место сплавам на железной основе и другим материалам. Сплавы на медной основе делятся на две группы:

1) сплавы с цинком, называемые при содержании цинка до 20 % *томпаками* и при содержании цинка от 20 до 55 % – *латунями*. В состав многокомпонентных латуней могут входить, кроме меди и цинка, алюминий, кремний, свинец, олово, никель, железо, марганец;

2) сплавы меди с оловом, кремнием, марганцем, алюминием, бериллием и другими добавками, называемые *бронзами*. Число сортов латуней и бронз, выпускаемых нашей промышленностью, очень велико. Применяя те или иные легирующие добавки и меняя их содержание в сплаве, легко в широких пределах изменять свойства латуней и бронз. Марки сплавов цветных металлов расшифровываются следующим образом. Первые буквы обозначают: Л – латуни или томпаки, Бр. – бронзы; следующие за ними буквы характеризуют содержащиеся в сплаве компоненты, причем в отличие от марок сталей все компоненты обозначаются соответствующими начальными русскими буквами, например: алюминий А, марганец Мц, медь – М, олово – О и т. д. Следующие за буквами цифры показывают среднее процентное содержание соответствующего металла в сплаве. Например, ЛН65-5 означает никелевую латунь, содержащую 65 % меди, 5 % никеля и остальные 30 % – цинка; Бр. ОЦ 8-4 означает оловянистую бронзу, содержащую 8 % олова и 4 % цинка, остальное – медь.

*Латуни.* Для аппаратуры, работающей под давлением, применяют отоженную латунь марок Л68 и Л62 (ГОСТ 1019-78), содержащих соответственно 68 и 62 % меди (остальные цинк). Высокая электропроводность латуни делает ее хорошим материалом для проводящих деталей, подверженных одновременно и механической нагрузке, например, клемм, зажимов и т.п. Пластичность и обрабатываемость латуней высокая. Латунь Л62, имеющая температуру плавления 910 °С и обладающая жидкотекучестью, используется также в качестве твердого припоя. Коррозионная стойкость латуней более высока, чем у меди. Латуни необходимо отжигать, чтобы избежать коррозионного растрескивания. Латунь улучшает свои механические свойства при низких температурах и так же, как медь, применяется для изготовления кислородной и другой аппаратуры, работающей в области низких температур. Кроме упомянутых, применяются никелевая латунь ЛН65-5 с добавкой 5 – 6 % Ni и оловянистый томпак ЛО90-1, обладающие повышенными антикоррозионными свойствами и не склонные к растрескиванию, и др.

*Бронзы.* Из многочисленных бронз для химического аппарата-строения и машиностроения применяются оловянистые и специальные безоловянистые бронзы. Оловянистые бронзы имеют устойчивость к атмосферной коррозии и обладают хорошими прочностными, антифрикционными и технологическими свойствами. Они хорошо льются и



паяются. Бронзы Бр010, БрОЦ10-2 и БрОЦ8-4 идут для отливки в кокиль или землю. Из них делаются детали ответственного назначения, механически сильно нагруженные и работающие в условиях сильного эрозионного износа, как, например, венцы червячных колес, шестерни, арматура и аппаратура, работающая до давления 15 атм и температур 250 °С, корпуса и роторы центробежных насосов. Добавление свинца улучшает антифрикционные свойства бронз. Бронзы БрОЦС6-6-3 и БрОСЦ5-5-5 применяются для менее ответственных и антифрикционных деталей. Для изготовления подшипников, работающих в тяжелых условиях, применяются также свинцовистая бронза БрОС8-12 и фосфоритная бронза БрОФ10-1, допускающие удельные нагрузки до 400 кг/см<sup>2</sup> при окружных скоростях до 7 м/с. Свинцовистые бронзы до сих пор являются одним из лучших материалов для изготовления тяжело нагруженных подшипников.

Позднее были разработаны безоловянистые бронзы, обладающие хорошими механическими и коррозионными и удовлетворительными технологическими свойствами. Из них для оборудования химических производств наибольший интерес представляют алюминиевые, алюминий-железо-никелевые и кремнистые бронзы.

Алюминий-железные бронзы с марганцем БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5 и БрАМц9-2 могут обрабатываться давлением или отливаться, являясь прекрасными заменителями оловянистых бронз БрОЦ10-2, БрОЦ8-4 и БрОЦС 6-6-3. Все эти алюминиевые бронзы пригодны для изготовления ответственных и сильно нагруженных деталей, работающих в условиях интенсивной эрозии (сальники, зубчатые и червячные колеса, детали насосов высокого давления, центробежных насосов и т.п.). Очень хорош сплав БрАЖ9-4, обладающий высокой прочностью, хорошими литейными свойствами и хорошо обрабатываемый давлением.

Алюминий-железо-никелевые бронзы БрАЖН10-4-4 и БрАЖН 11-6-6 во многих случаях вполне заменяют высокооловянистые бронзы типа БрОЦ10-2. Они отличаются очень высокой прочностью, стойкостью против истирания и жароупорностью. Из них изготавливают детали, работающие при температурах до 500 °С, при больших скоростях и удельных давлениях (мощные шестерни, червяки, работающие по стальному колесу, и т.д.). БрАЖН10-4-4 применяется для литья и обработки давлением, БрАЖН11-6-6 только для литья. К недостаткам алюминиевых бронз относится то, что они плохо поддаются пайке и не прилуживаются к телу подшипников.

Кремнистые бронзы, содержащие до 3 % кремния, характеризуются высокими механическими, антифрикционными и технологическими свойствами. Они хорошо лются, переносят горячую и холодную обработку давлением (прокатку, ковку, штамповку и т.п.) и хорошо свариваются. Представителем этого рода бронз может служить БрКМц3-1 (эвердур), применяющийся для изготовления аппаратуры под давлением, сосудов, пружин, а также токонесущих деталей. Эта бронза не дает искр при ударе и поэтому пригодна для изготовления взрывобезопасного оборудования. По сравнению с оловянистыми бронзами латуни и безоловянистые бронзы обладают большей усадкой (от 1,7 до 2,5 % против 1,3 ... 1,5 для оловянистых бронз) и ощутимо меньшей жидкотекучестью, что необходимо учитывать при проектировании.

Из сплавов цветных металлов применяются еще антифрикционные сплавы на основе олова, к которому добавляется от 8 до 16 % сурьмы, до 6 % меди и иногда до 1 % натрия или калия, так называемые *баббиты*. В свинцовистых баббитах содержание олова уменьшается до 10 ... 15 %, остальная часть этих сплавов – свинец. Баббиты успешно заменяются цинковым сплавом ЦАМ10-5 с добавкой 10 % алюминия и 5 % меди. Этот сплав заменяет оловянисто-свинцовый баббит Б-16, бронзы БрОСЦ6-6-3 и БрОСЦ5-5-5.

К сплавам цветных металлов относятся еще и припои. Припои служат для соединения металлических изделий и разделяются на три типа: мягкие припои с температурой плавления от 183 до 280 °С, серебряные припои с температурой плавления от 740 до 830 °С и твердые припои с температурой плавления от 850 до 885 °С. Мягкие представляют собой сплавы олова со свинцом. Из мягких припоев для соединения частей химической аппаратуры

основным является припой ПОС-40, что означает припой оловянно-свинцовый с содержанием олова 40 %. Применяют также более дешевый ПОС-30. Твердые, медноцинковые припои ПМЦ48 и ПМЦ54, содержащие 48 и 54 % меди (остальное – цинк), а также латунь Л62 применяются для соединения механически нагруженных деталей. Припой ПМЦ48 применяется для пайки Л62, а ПМЦ54 – для пайки стали, меди и сплавов с более высокой температурой плавления, чем латунь Л62. Для ответственных паяк, в которых важна чистота шва, а также возможно прожигание тонкостенного изделия или температура плавления конструкционного материала сравнима с температурой плавления твердого припоя, применяют серебряные припои ПСр-12, ПСр-25, содержащие соответственно 12 и 25 % серебра, около 40 % меди, остальное – цинк. Они плавятся при температуре ПСр-12-785° С и ПСр-25-765 °С. Для пайки хромистых сталей применяется ПСр-45, обладающий температурой плавления 720 °С.

## 2.4 ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И БОРЬБА С НИМ

В процессе эксплуатации оборудования могут изнашиваться как отдельные детали его валы, втулки, шестерни, и т.п. так и повреждаться аппараты в целом (загрязнение, разгерметизация, эрозионный и коррозионный износ поверхностей). Износ деталей может происходить под механическим, тепловым и химическим воздействием.

*Механический износ* деталей – неизбежный естественный процесс. Борьба с ним заключается в обеспечении условий, уменьшающих скорость износа. Так, механический износ вследствие трения уменьшают за счет своевременной смазки. Механический износ проявляется и в пластической деформации деталей. Например, валы подвергаются кручению и изгибу. Шпонки под нагрузкой пластически деформируются. Механический износ может происходить за счет эрозионного воздействия сыпучего материала или жидкости при транспортировке.

*Коррозионный износ* происходит при химическом взаимодействии материала детали с окружающей средой. Следствия этого: уменьшение размера детали, коррозионное растрескивание сварных соединений. Для уменьшения коррозии используют методы нанесения защитных покрытий, внесение в перерабатываемую среду ингибиторов коррозии.

*Температурное разрушение* деталей и их деформация является следствием ползучести металлов. Так, для углеродистых сталей ползучесть проявляется при температуре выше 375 °С, для легированных выше 420 °С. Чтобы избежать ползучести, наиболее ответственные детали оборудования охлаждают.

### 2.4.1 Способы восстановления деталей

Изношенные детали восстанавливают следующими способами:

а) *сварка* дуговая ручная и автоматическая под флюсом и в углекислом газе; сваркой восстанавливают станины и корпусные детали;

б) *наплавка* – процесс увеличения размеров изношенных деталей электродуговым способом с последующей обработкой детали на заданные размеры; наплавку используют для восстановления валов, червячных роторов, втулок и т.п.;

в) *металлизация* – процесс нанесения расплавленного металла с помощью сжатого воздуха; такое напыление осуществляется послойно до 10 мм;

г) *электрохимическое покрытие* – это процессы хромирования, никелирования, цинкования до 3 мм;

д) *пластические деформации* – правка, раздача, обжатие и т.п.

Правка применяется для устранения изгиба, коробления и т.п. Обжатие и раздача применяются для изменения размеров деталей (втулок, пальцев).

## 2.5 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Работоспособность технологического оборудования во время эксплуатации постепенно падает вследствие ряда изменений:

- а) загрязнение рабочих поверхностей, что ведет к уменьшению полезной емкости, снижению теплопроводности;
- б) потеря герметичности соединений отдельных частей аппаратов, которая ведет к снижению производительности или исключает дальнейшую эксплуатацию;
- в) поверхностный износ снижает толщину стенки аппарата и выводит его из строя;
- г) местные изменения формы аппарата ведут к снижению надежности;
- д) местные нарушения целостности стенок аппарата в виде трещин и течей также исключают дальнейшую эксплуатацию его.

Загрязнения рабочих поверхностей происходят из-за механических примесей в исходном сырье, отложения накипи или кристаллов и т.п. Устраняется это чисткой.

Потеря герметичности возникает вследствие агрессивного воздействия среды, снижения упругих свойств прокладки и болтов, а также повреждения целостности неразъемных соединений: сварки, клепки, пайки. Устраняются эти неполадки подтяжкой болтов, сменой прокладок, переваркой швов. На все аппараты, работающие под давлением, должны составляться браковочные нормы и правила эксплуатации. Для сохранения запаса прочности вводится добавка на коррозию. Для того, чтобы избежать повреждения или изменения формы аппарата, необходимо предусматривать распорки, ребра жесткости.

Трещины и свищи чаще всего появляются в местах концентрации напряжений (сварные швы, изгибы и т.п.). Поэтому аппараты в соответствии с ППР должны подвергаться переосвидетельствованию и текущему ремонту.

## 2.6 ПОДГОТОВКА ОБОРУДОВАНИЯ К РЕМОНТУ

*Первичная подготовка* (проведение мероприятий по технике безопасности):

- а) аппарат отключают от действующих агрегатов, ставят заглушки на трубопроводы;
- б) предварительно продувают паром или инертным газом и выпускают отработанную смесь из аппарата через "свечу";
- в) среду в аппарате проверяют на вспышку и токсичность (берут пробу).

*Предварительная очистка аппарата:*

- а) кислотную аппаратуру промывают слабым раствором щелочи, а потом водой;
- б) щелочную – горячей водой или паром;
- в) аппараты с горючим газом или воспламеняющимися жидкостями – горячей водой, паром или инертным газом.

*Окончательная очистка аппарата* производится а) химическим; б) термическим; в) механическим способами.

Легированные стали чистят химическим путем чаще всего. При этом используют пасту состоящую из соляной кислоты – 30 %, глины – 60 %, воды – 9,9 % и ингибитора – 0,1 %. Паста наносится на поверхность слоем в 8 ... 10 мм и снимается через 8...20 часов в зависимости от слоя окислов. Затем поверхность промывают 10 ... 15 % раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или 2 ... 3 % раствором  $\text{NaOH}$ . В качестве примера рассмотрим химический способ очистки трубчатки (рис. 2.3). Для этой очистки применяют 8 ... 10 % раствор  $\text{HCl}$  с ингибитором при температуре 60 °С. Раствор циркулирует по прямому и обратному ходу.

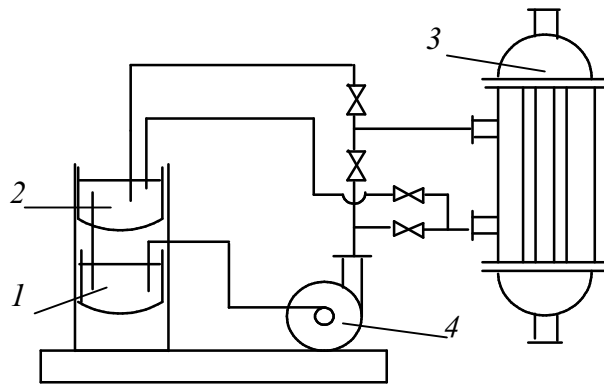


Рис. 2.3 Схема химического способа очистки:  
1 – бак; 2 – отстойник; 3 – теплообменник; 4 – насос

*Термическая очистка поверхности* – основана на использовании различия коэффициентов линейного теплового расширения металла и загрязняющей его накипи. При изменении температуры поверхности загрязнения отслаиваются и уносятся струей воздуха или воды. На практике эту очистку осуществляют прогревом поверхности специальными кислородными горелками или резкими изменениями температуры теплоносителя.

*Механический способ очистки* – широко распространен, так как исключает коррозию металла и обеспечивает наиболее полное удаление всех загрязнений, в том числе химически нерастворимых кокса, пеков, силикатных отложений и т.п. Недостатки этого способа – малая производительность и трудоемкость. Он может проводиться с помощью гидромонитора (рис. 2.4).

*Ручная очистка* поверхности производится щетками, копьями, ершами. Для механизации этого процесса используют гидроструйный аппарат для проталкивания ершей, а также специальные устройства, работающие на принципе вращательного бурения.

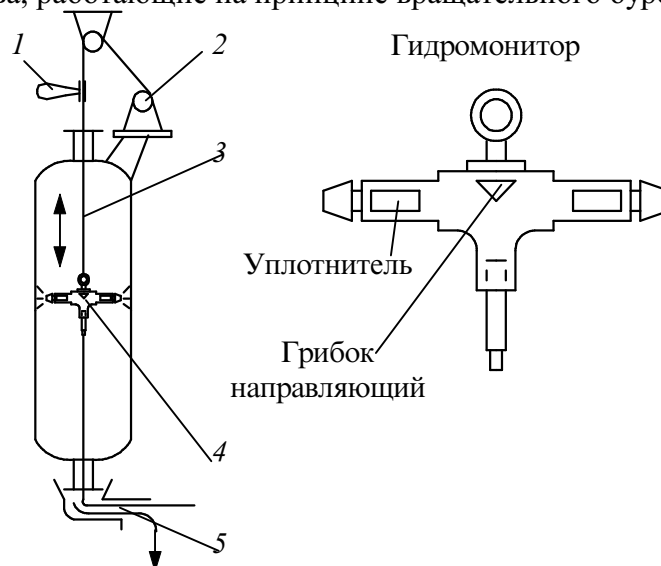


Рис. 2.4 Схема гидромонитора для механической очистки оборудования:  
1 – ключ для поворота гидромонитора; 2 – лебедка; 3 – цепь;  
4 – гидромонитор; 5 – шланг

## 2.7 ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Диагностика – процесс определения технического состояния объекта с заданной точностью. Различают диагностирование периодическое и непрерывное, прямое и косвенное, бесприборное и приборное, нерегистрируемое и регистрируемое. При проведении

технического обслуживания осуществляют прямое бесприборное диагностирование: визуальным наблюдением оценивают целостность деталей; на слух фиксируют уровень шумов; касанием руки определяют нагрев, амплитуду и частоту вибрации. Используют также дистанционное диагностирование, например с применением тензодатчиков.

Показания таких датчиков поступают на пульт управления, а также они могут вводиться в ЭВМ для обработки. Для диагностики повреждений технологического оборудования часто используют следующие методы:

- магнитная диагностика, основанная на свойстве ферромагнитного порошка располагаться по магнитным силовым линиям;
- цветная диагностика, при которой краситель или другое вещество наносится на обезжиренную поверхность дефектного участка и под действием капиллярных сил это вещество проникает в трещины, а затем участок протирается и на него наносится проявитель, который втягивает в себя краситель или вещество из трещины, фиксируя ее;
- ультразвуковая дефектоскопия, основанная на пропускании через проверяемую деталь ультразвуковых колебаний и отражении их от границ раздела сред;
- виброакустический метод, основанный на анализе вибрации и шумов, источником которых является работающее оборудование;

Некоторые из перечисленных методов диагностики будут рассмотрены ниже.

После очистки аппаратуры производят гидравлическое или пневматическое испытание, а также наружный и внутренний осмотры. Цель этих операций – выявление трещин, местных изменений толщины стенки, формы и т.п. Толщина стенки проверяется засверлением отверстий диаметром 3 ... 4 мм в местах наибольшего износа и измерением толщины с помощью штангенциркуля. Затем в отверстиях нарезают резьбу, вворачивают пробки и расчеканивают их снаружи. Иногда отверстия заваривают. Все засверловки отмечаются в эскизах, которые прилагаются к паспортам аппаратов, при этом указывается дата засверловки.

После замера толщины стенки ведут осмотр для выявления трещин, пористости швов и т.д. Выявляются эти дефекты пробой керосином. При этом участок смачивают 2 ... 3 раза керосином, через 42 ч протирают насухо и покрывают меловой краской: 9 частей мела, 1 часть канцелярского клея и воды. Через 2 ... 4 ч стенку обстукивают с обратной стороны. Контуры трещин при этом выступают в виде темных жилок или пятен. Концы трещин фиксируются засверливанием отверстий 15 ... 20 мм для того, чтобы длина трещины не увеличилась при заварке.

### 2.7.1 Магнитный метод выявления трещин

Магнитный метод выявления трещин применяется для обнаружения мельчайших волосковых трещин. Магнитный поток создается электрическим током. Ток пропускают либо через металл непосредственно, либо через специальный проводник. В местах трещин магнитная проницаемость падает и магнитный поток огибает нарушения сплошности, уплотняясь по периферии трещин. Дефект обнаруживается визуально с помощью ферромагнитного порошка, и будет наиболее заметным, если трещина перпендикулярна вектору магнитного потока. Поэтому проверка проницаемости проводится при двух взаимно перпендикулярных направлениях. Различные схемы магнитной дефектоскопии представлены на рис. 2.5.

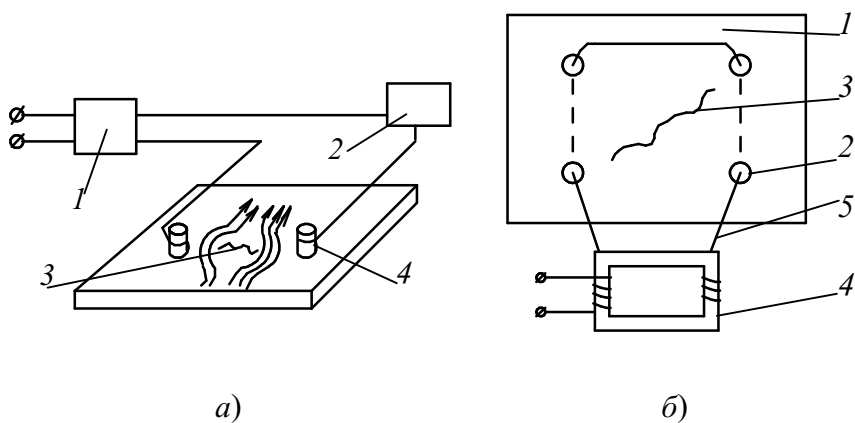


Рис. 2.5 Схемы магнитной дефектоскопии:

*a* – с пропусканием тока через стенку:

1 – трансформатор; 2 – дроссель; 3 – трещина; 4 – контакт

*б* - с применением проводника:

1 – трубная решетка; 2 – отверстие под трубу; 3 – трещина;

4 – трансформатор; 5 – проводник

## 2.8 РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ЕМКОСТНОГО ТИПА

Обычно оборудование емкостного типа – это аппараты периодического действия с рубашками, змеевиками и перемешивающими устройствами. По конструкции они весьма разнообразны. Их можно классифицировать:

– по материалу: литье из чугуна, стали; сварные стальные; из цветных металлов;

– по конструкции: с рубашками и змеевиками; с мешалками без теплопередающих устройств; с мешалками и теплопередающими устройствами.

Ремонт таких аппаратов сводится к ремонту корпуса (трещины, вмятины), а также к ремонту змеевиков, рубашек, мешалок.

### 2.8.1 Ремонт корпуса аппарата

Описанные выше схемы дефектоскопии часто применяют для емкостного оборудования. При этом различают 3 типа обнаруженных трещин:

– несквозные, неглубокие (глубина не более  $1/4$  толщины сечения);

– сквозные узкие трещины;

– сквозные широкие трещины с расхождением кромок более чем на 15 мм.

Все трещины, поры и свищи устраняют сваркой или пайкой в зависимости от металла.

*Сварка трещин первого типа.* Трещины подготавливают под заварку односторонней вырубкой на максимальную глубину со снятием кромок под углом  $50 \dots 60$ . Длинные трещины заваривают для снижения термического эффекта участками.

*Сварка трещин второго типа.* Трещины разделявают с одной или с двух сторон на всю толщину вырубкой зубилом, либо прорезкой газом. Соответственно, сварные швы имеют вид, представленный на рис. 2.6.

*Устранение трещин третьего типа.* Участок поверхности с трещиной вырезают газом, затем вваривают заплату. Длина вырезаемого участка на  $50 \dots 100$  мм больше длины трещины. Заплата заваривается "заподлицо" с основным участком и она должна иметь ту же

форму, что и ремонтируемая поверхность. Площадь одной заплаты не должна превышать 1/3 поверхности листа аппарата в месте ремонта.

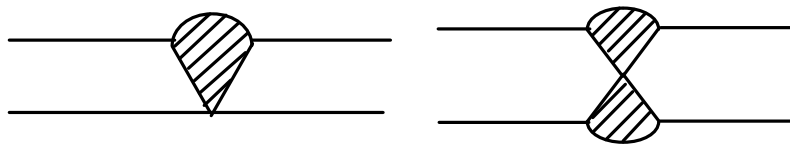


Рис. 2.6 Сварка трещин второго типа

*Ремонт вмятин и выпучин.* Вмятины на поверхности аппарата появляются под воздействием внешнего давления, выпучины – от внутреннего. Прежде всего эти дефекты проверяют на отсутствие трещин, а затем правят в горячем состоянии с местным прогревом до 850 ... 900 С. Правка прекращается при температуре 60 С во избежание синеломкости. Правка производится с помощью домкрата, струбцин и болтов.

### 2.8.2 Ремонт змеевиков

Змеевики, если они находятся внутри аппарата, подвержены коррозионному, тепловому и абразивному воздействию продукта и теплоносителя, а также вибрации и гидравлическим ударам. Наиболее часто бывают прогары и разрывы труб. Они ремонтируются следующим образом.

*Текущий ремонт:* дефектные участки вырезаются и на их место ввариваются новые элементы. *Капитальный ремонт:* змеевики, как правило, заменяются полностью.

Качество и долговечность змеевиков зависит от совершенства операции гибки и сварки змеевиков, так как при этом могут быть утончение стенок, овализация и складкообразование.

### 2.8.3 Ремонт мешалок

В промышленности применяют различные типы мешалок: якорные, рамные, пропеллерные, турбинные и другие. Часто мешалки работают в коррозионной среде, поэтому их делают съемными и крепят к валу с помощью безболтовых соединений. Износ мешалок допускается в больших пределах, поэтому замена их производится лишь при капитальном ремонте. Исключение – якорные мешалки, у которых зазор между якорем и корпусом должен быть в пределах 5 ... 20 мм, поэтому приходится делать наплавку якоря.

## 2.9 СБОРКА ПОДШИПНИКОВ

Часто ремонт мешалок связан с заменой и сборкой подшипниковых узлов.

Сборка простейшего неразъемного подшипника скольжения сводится к запрессовке втулки в корпус, застопорению этой втулки от поворачивания и пригонке отверстия вкладыша по валу. Запрессовку втулки в зависимости от размеров и величины натяга осуществляют вручную или под прессом либо нагревом корпуса или охлаждением втулки. После запрессовки внутренний диаметр втулки может уменьшиться, поэтому его необходимо проверить по валу или калибру. В том случае, если зазоры, предусмотренные чертежом, не выдержаны, втулку необходимо пришабрить. В качестве инструмента для шабровки применяют трехгранные, плоские и другие шаберы.

Сборку и пригонку разъемных подшипников начинают с проверки сопряжений и промывки корпусов и вкладышей. Отсутствие повреждений корпусов устанавливают внешним осмотром. Одновременно с промывкой вкладышей в керосине проверяют качество заливки антифрикционным сплавом. Следят за тем, чтобы не было трещин, раковин и отслоения баббитовой заливки. Неплотности прилегания заливки обнаруживают

погружением вкладыша в керосин. Если затем границы прилегания баббита к телу вкладыша протереть насухо и покрыть тонким слоем краски, то через некоторое время выявятся все неплотности, так как попавший в трещину или неплотность керосин растворяет краску и образует пятна на покрашенных поверхностях. Пригонка наружной поверхности вкладыша к корпусу подшипника должна быть тщательной; шуп толщиной 0,03 ... 0,05 мм не должен проходить между поверхностями. Поверхность проверяют на краску и при необходимости пришабривают с точностью 3 ... 5 пятен касания на квадрате 25 × 25 мм. Чистота поверхности должна быть  $\nabla 6 \dots \nabla 8$ .

Наиболее ответственной частью монтажа подшипника является обеспечение прилегания рабочих поверхностей вала и вкладыша, а также проверка и регулировка зазоров.

Шейка вала должна прилегать к нижнему вкладышу по дуге окружности, равной 60 ... 80° (рис. 2.7). Подгонку выполняют шабрением по пятнам касания краски, полученным после затяжки подшипника болтами и проворачивания вала. Число пятен касания краски на квадрате со стороной 25 мм зависит от диаметра вала, числа его оборотов в минуту и материала вкладыша. В подшипниках с односторонним вращением вала пришабривают только нижний вкладыш, в машинах двустороннего вращения – нижний и верхний вкладыши. Шабровку подшипника можно производить после того, как пятна касания краски получены в результате провертывания шейки вала в стянутом болтами подшипнике.

Радиальные зазоры между шейкой вала и верхним вкладышем (рис. 2.7) устанавливают по чертежу, а при отсутствии таких указаний принимают: для вкладышей с цилиндрической расточкой  $a = (0,0015 \dots 0,002)D$ , для вкладышей с овальной расточкой –  $a = (0,001 \dots 0,0015)D$ , где  $D$  – диаметр шейки вала. Боковые зазоры принимают в 1,5 ... 2 раза меньше верхних.

Величину радиального зазора определяют при помощи свинцовой проволочки. Для этой цели в нескольких местах между вкладышем и шейкой вала, а также по разьему вкладышей закладывают отрезки мягкой свинцовой проволочки диаметром на 0,2 ... 0,3 мм больше возможного зазора и длиной 20 ... 25 мм. Проволочки слегка смазывают маслом. После этого крышку подшипника затягивают гайками, проволочки при этом расплющиваются; толщина их будет характеризовать величину зазоров.

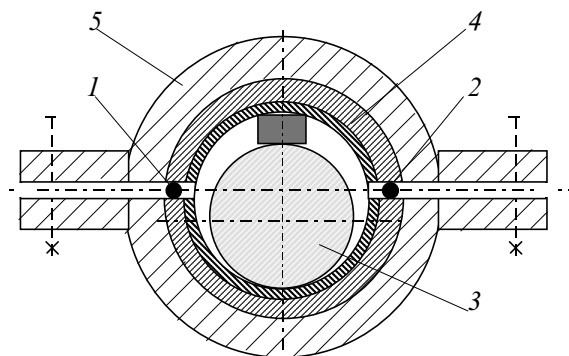


Рис. 2.7 Подшипник скольжения:

1, 2 – свинцовые проволочки; 3 – шейка вала; 4 – верхний вкладыш;  
5 – крышка корпуса подшипника

Регулировку радиальных зазоров обычно производят с помощью регулировочных прокладок, пакеты которых одинаковой толщины устанавливают с обеих сторон разьема вкладышей. Во избежание сдвига прокладок предусматривают установочные штифты. Толщина комплекта прокладок 0,5 ... 5 мм, количество прокладок в комплекте 5 ... 20, толщина каждой прокладки 0,1 ... 0,8 мм.

Большое влияние на работоспособность вала и подшипников оказывают также осевые зазоры, в пределах которых возможно перемещение вала вдоль его оси. Величина осевых



зазоров зависит от конструктивных особенностей узла и обычно лежит в пределах 0,1 ... 0,8 мм. Проверку осевого зазора производят щупом или индикатором при крайних смещениях вала.

Для распределения смазки вдоль оси подшипника разделяют в опорных вкладышах канавки-холодильники.

Заключительной операцией является установка вала и закрытие подшипников. Выполняют ее после тщательной промывки и удаления металла, оставшегося после шабрения.

При опробовании машин проверяют нагрев подшипников, который допускается до температуры 60 ... 65 °С, что соответствует нагреву корпуса 50 ... 55 °С.

Для обеспечения надежной работы подшипников с режимом жидкостного трения перед началом эксплуатации машины производят ее обкатку на пониженных режимах работы подшипников. Это приводит к улучшению прилегания за счет стирания неровностей и незначительного износа контактирующих поверхностей подшипника и вала.

Подшипники качения имеют систему условных обозначений, состоящую из семи цифр. Номера цифр считают справа налево. Число, составленное из двух первых цифр (начиная с 04 по 99) и умноженное на пять, дает внутренний диаметр подшипника или крепежной втулки. Числа менее 04, т.е. 03, 02, 01 и 00 обозначают внутренний диаметр колец соответственно 17, 15, 12 и 10 мм.

Внутренний диаметр 500 мм и выше обозначается через косую черточку после третьей цифры справа. Например, в условном обозначении 10029/710 цифра 710 обозначает внутренний диаметр подшипника. Третья цифра справа (от 1 до 9) обозначает серию подшипников по наружному диаметру; седьмая цифра (от 0 до 7) обозначает серию подшипника по высоте. Четвертая цифра (от 0 до 9) обозначает тип подшипника. Пятая и шестая цифры (от 0 до 9) характеризуют конструктивные особенности подшипника одного и того же типа и размера.

У разборных подшипников условное обозначение наносится на торцы обоих колец, у неразборных – на одном. Подшипники устанавливают в опоры таким образом, чтобы наклеиваемая сторона была обращена в сторону заплечиков вала.

Для сборки подшипников должна быть предусмотрена хорошо освещенная площадка, изолированная от строительных работ, обеспеченная подъемно-транспортными средствами и оборудованная противопожарным инвентарем. На полу устанавливают подкладки для размещения на них деталей подшипниковых узлов. Промывочные материалы – бензин, керосин, масло должны храниться в закрытой металлической посуде.

Промывают подшипниковые узлы в два приема. Предварительно-керосином или горячей водой, а окончательно-индустриальным маслом 12, 20 или 30, нагретым до 100 °С, или чистым бензином в смеси с 6 ... 8 % масла (по объему). Во избежание коррозии подшипников их не следует промывать керосином.

Промытые подшипники протирают салфетками и обследуют состояние рабочих поверхностей. Подшипники, на которых имеются раковины, коррозия, забоины, царапины, трещины или сколы, бракуют. Черноту и незначительную коррозию удаляют пастой ГОИ или порошком окиси хрома. Для этого пасту или порошок смешивают с минеральным маслом, наносят на войлок, фетр или замшу и обрабатывают поврежденную часть подшипника без сильного нажима. Легкость вращения подшипника проверяют от руки. Он должен вращаться без стука, заедания и торможения.

Двухрядные конические и сферические подшипники при промывке иногда разбирают. При последующей их сборке нельзя менять места роликов и шариков и переставлять их из одного ряда в другой, так как у одного внутреннего кольца беговые дорожки могут иметь разные диаметры.

Основными и наиболее характерными разновидностями монтажа подшипников качения являются: с натягом на валу; с натягом в корпусе; с натягом на валу и в корпусе.

Посадки для шарико- и роликоподшипников, а также отклонение от правильной геометрической формы посадочных поверхностей для вала и отверстия регламентированы ГОСТ 5327-75. При сборке подшипниковых узлов подшипник сначала насаживают на ту деталь, которая должна вращаться. Существует большое количество способов насадки и снятия подшипников с использованием различных приспособлений, съемников, прессов, монтажных труб, выколоток, ключей для гаек, молотков. На рис. 2.8 показан ряд таких приемов. В целях облегчения монтажа и во избежание порчи посадочных мест на валу все мелкие и средние подшипники качения при плотной и глухой посадках и все крупногабаритные подшипники при любых посадках необходимо перед установкой нагреть в масле. Температура масла не должна превышать 90 ... 100 °С, так как при более высокой температуре возможен отпуск металла подшипника.

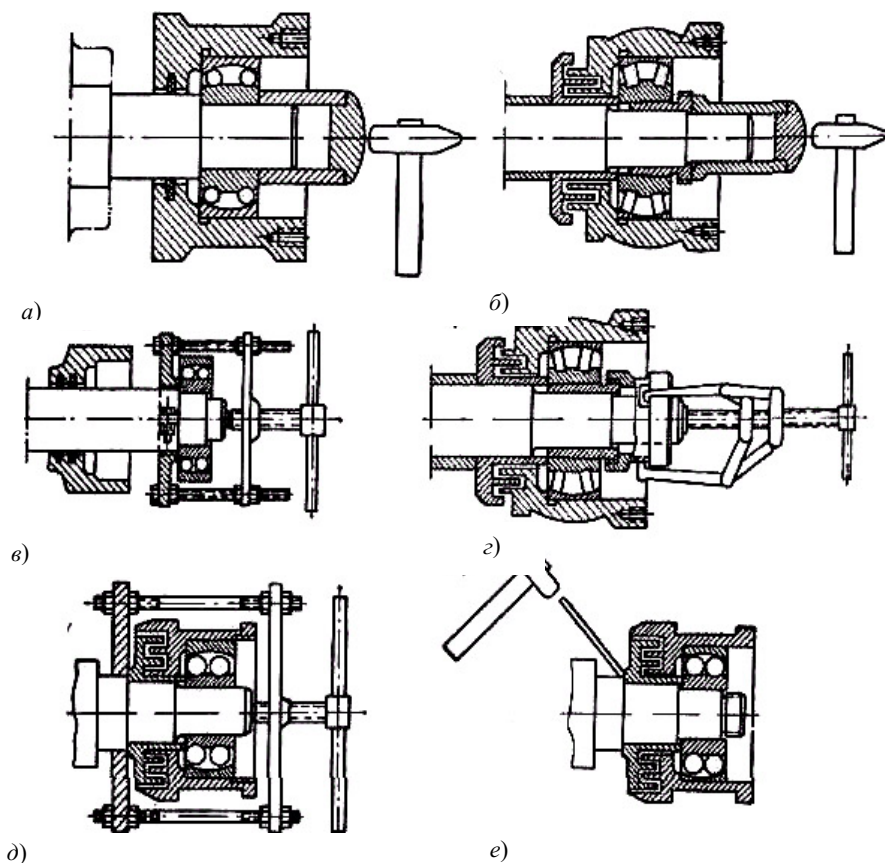


Рис 2.8 Способы насадки и снятия подшипников качения:  
*a, б* – монтажной втулкой; *в, г, д* – съемниками; *е* – выколоткой

Подшипники подвешивают в сосуде с маслом так, чтобы они не касались дна и стенок сосуда. Подшипники, посаженные с нагревом, надо плотно доводить до заплечика вала или корпуса до их остывания.

При сборке большого количества подшипников с диаметром внутреннего кольца, превышающем 140 ... 150 мм, устанавливаемых на конусных втулках или непосредственно на конусных цапфах, применяют гидравлические приспособления. Надежность посадки подшипника после освобождения от торцевого крепления проверяют умеренными ударами молота по торцу внутреннего кольца через прокладку из мягкого металла.

Крупногабаритные подшипники собирают на посадочных местах только после тщательного измерения размеров последних и сличения результатов с чертежами.

Посадочные места в корпусах проверяют только для ответственных узлов. За результат принимают среднеарифметическое трех измерений. Прилегание наружных колец проверяют краской: пятна касания должны располагаться симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось цапфы. Исправляют посадочные поверхности шабрением, а при необходимости припиловкой.

Необходимо контролировать высоту заплечиков вала и корпуса. Они должны быть меньше высоты (толщины) сопрягаемых с ним колец. Кольцо подшипника должно прилегать к заплечикам на дуге не менее  $180^\circ$ .

Все измерения выполняют микрометрическими инструментами и щупами в трех сечениях. За результат принимают среднеарифметическое всех измерений. Температура измеряемых деталей и измерительного инструмента должна быть одинаковой.

При посадке подшипников на вал и в корпус с большими натягами возможно уменьшение зазоров между кольцами и телами качения или даже защемление последних.

Различают два основных вида зазоров между рабочими элементами в подшипниках качения:

радиальный зазор, равный сумме зазоров между телами качения и дорожками качения;

осевой зазор, равный величине полного осевого перемещения одного из колец подшипника (из одного крайнего положения в другое) при неподвижном другом кольце.

В подшипнике радиальный зазор может быть: *начальный* до установки подшипника на вал и в корпус, т.е. в свободном состоянии; *посадочный* после установки подшипника на вал или в корпус; *рабочий*, который имеет подшипник при эксплуатации машины под нагрузкой.

При посадке подшипников на вал и запрессовке в корпус вследствие деформации колец наблюдается уменьшение начальных зазоров. Это уменьшение зазора происходит в пределах 0,55 ... 0,6 величины натяга при запрессовке внутреннего кольца на вал и в пределах 0,65 ... 0,7 величины натяга при запрессовке наружного кольца в корпус. Рабочий зазор отличается от посадочного. Он увеличивается вследствие перепада температур между внутренним и наружным кольцами. Проверка радиального и осевого зазоров необходима для определения эксплуатационных качеств шарикоподшипников. С этой целью в справочной литературе приводятся допускаемые при монтаже подшипников величины уменьшения начальных радиальных зазоров и конечные минимальные посадочные зазоры.

В конических роликоподшипниках контролируют один осевой зазор, который обеспечивает работу подшипника. Зазоры в конических подшипниках не зависят от их посадки на валу или в корпусе. Величину зазоров устанавливают при сборке подшипниковых узлов путем регулирования прокладками или регулировочной гайки. Неправильно установленный зазор в таких подшипниках часто может быть основной причиной его преждевременного износа.

Контролем качества монтажа подшипниковых узлов является пробный пуск машины. При этом проверяют температуру подшипников, шум при вращении, количество смазки и работу уплотняющих устройств.

## 2.10 РЕМОНТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

*Текущий ремонт* теплообменника производится в следующей последовательности: а) разборка аппарата; б) чистка трубных поверхностей; в) испытание на герметичность; г) отключение дефектных труб пробками; д) смена уплотнений разборных соединений; е) сборка и испытание аппарата.

*Капитальный ремонт* включает в себя смену большинства труб, а также ремонт корпуса и трубных решеток.

Забивка дефектных труб пробками или заварка их применяется в том случае, когда число дефектных труб не более 10 %. Если же их больше 10 %, то проводят смену труб, чтобы не уменьшать поверхность теплообмена. Дефектную трубу на сварке удаляют

вырубкой кольцевого шва вручную или срезанием торца трубы и валикового шва специальной фрезой с приводом от гибкого вала или переносной дрели.

Если трубы развальцованы, то для их смены места развальцовки вырезают специальным труборезом. Затем концы труб отжимают от трубной доски и легко вынимаются. После удаления труб отверстия в решетках зачищают.

Если трубчатый аппарат работает под давлением, то для использования сварных труб необходимо выполнить два условия:

- число стыков должно быть не более одного на каждые два погонных метра трубы;
- расстояние шва до внутреннего торца решетки должно быть более 50 мм.

### 2.10.1 Ремонт креплений труб

Трубы в трубных решетках крепят следующими способами: а) развальцовкой; б) сваркой; в) пайкой (медные трубы); г) манжетное и сальниковое крепление (чугунные трубы).

Развальцовка – процесс пластической деформации стенок трубы, приводящий к увеличению диаметра трубы и отверстия в трубной решетке. Так как зазор между отверстием (очком) и трубой равен 0,02 ... 0,08 от наружного диаметра трубы, то относительная деформация металла лежит в границах площадки текучести, поэтому развальцовку можно проводить без нагрева, но не при минусовых температурах. Перед развальцовкой концы труб отжигают при температуре 700 ... 800 С, зачищают до блеска и зашлифовывают с торца для снятия заусенцев.

Принцип действия самой вальцовки основан на раскатке конца трубы веретеном конической формы с роликами. Веретено продвигается постепенно вглубь трубы, раздвигая ролики, которые при этом расширяют трубу. Одновременно с продольной подачей веретена ему сообщается вращательное движение. Развальцовка каждой трубы должна заканчиваться при достижении так называемой степени развальцовки  $\Delta$  :

$$\Delta = \frac{d' - d - 1,25S}{D} 100 \% = 1 \dots 2 \%,$$

где  $d'$  – внутренний диаметр трубы после развальцовки;  $d$  – внутренний диаметр трубы до развальцовки;  $S$  – исходный зазор, равный 2 % наружного диаметра трубы, т.е.  $S = 0,02d_{\text{нар}}$ ;  $D$  – диаметр отверстия.

*Недовальцовка* считается, если  $\Delta < 1 \%$ , *перевальцовка* –  $\Delta > 2 \%$ . После развальцовки выступающие края труб срезают до размера 10 мм.

### 2.10.2 Повреждения и ремонт трубной доски

Повреждения трубной доски – это чаще всего трещины от термических напряжений или от остаточных напряжений технологического происхождения. Обычно трещины бывают между смежными очками. Заварка их производится также, как и емкостных аппаратов, однако учитывают следующее:

- расстояние от завариваемой трещины до центра ближайшего отверстия должно удовлетворять значению  $l > (0,75t - 0,5D)$ , где  $t$  – шаг отверстий;  $D$  – диаметр отверстий;

– если трещина доходит до края очка или  $l < (0,75t - 0,5D)$ , применяется сварка усиливающей втулки в предварительно расточенное очко. Высота этой втулки равна  $3\sigma$ , где  $\sigma$  – толщина трубной решетки.

## 2.11 РЕМОНТ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

В процессе работы колонна загрязняется, корродирует, теряет герметичность.

*Текущий ремонт колонны* заключается в проведении следующих мероприятий: очистка, ремонт уплотнений разъемных соединений.

*Капитальный ремонт* включает замену прокорродированных царг, тарелок. Капитальный ремонт тарельчатых колонн состоит из следующих операций: а) пропарка и продувка; б) отсоединение коммуникаций; в) демонтаж царг вместе с тарелками; г) дефектация царг, тарелок и колпачков; д) ремонт тарелок; е) сборка тарелок и царг; ж) монтаж колонны; з) испытание колонны.

Применительно к насадочным колоннам операции г), д), е), где речь идет о тарелках, заменяются разгрузкой насадки, ее промывкой, пополнением и загрузкой насадки в колонну.

При ремонте тарелок основными требованиями являются проверка и подгонка установочных размеров. Необходимо, чтобы верхние торцы паровых патрубков находились в одной плоскости, а колпачки на одном расстоянии от плоскости тарелки. Собранные и проверенные царги собирают на месте установки колонны, часто монтаж царг осуществляется по принципу сверху вниз. Метод монтажа сверху вниз полезен при установке колонн внутри здания и небольшого веса. Вначале поднимают на высоту одной царги верхнюю царгу, подводят под нее следующую, соединяют их, и поднимают вместе на ту же высоту и т.д. Вертикальность колонны проверяют по отвесу. Замерив фактические диаметры  $D$  фланцев царг, промеряют линейками расстояния от фланцев до отвеса  $b$ .

Колонна установлена вертикально, если

$$\frac{D_1}{2} + b_1 = \frac{D_2}{2} + b_2 + \dots + \frac{D_i}{2} + b_i.$$

После установки колонну испытывают в целом.

## 2.12 РЕМОНТ КОМПРЕССОРОВ

В процессе работы поршневых компрессоров систематически изнашивается ряд основных деталей. По сроку службы эти детали могут быть разбиты на следующие три основные группы:

- а) быстроизнашивающиеся детали: клапанные пружины, поршневые кольца;
- б) детали, изнашивающиеся в течение более продолжительного срока: шатунные болты, вкладыши шатунов и коренных подшипников;
- в) детали с длительным сроком службы: коленчатые валы, шатуны, цилиндры и поршни.

### 2.12.1 Виды ремонта компрессоров

Текущий ремонт производится через 700 ... 1500 ч непрерывной работы в зависимости от отношения давлений, свойств сжимаемого газа, его агрессивности, загрязненности и т.д. Для этой категории ремонта специфична замена деталей первой группы и небольшой объем обработки с регулировкой деталей второй группы. Капитальный ремонт производится через 18 000 ... 30 000 ч работы и заключается в полной разборке машины с заменой и восстановлением деталей всех трех групп с обеспечением номинальных зазоров. Простой на ремонт при этом составляет 8 ... 15 суток, а трудовые затраты 300 ... 600 чел./ч.

### 2.12.2 Основные методы ремонта важнейших деталей компрессорных машин

*Коленчатый вал.* Износ шеек и искажения их формы определяются микрометром в двух перпендикулярных положениях и трех сечениях по длине шеек вала. Абсолютная величина искажения формы, при которой вал должен быть подвергнут ремонту, составляет 0,06 ... 0,07 мм при  $D = 80 \dots 120$  мм. Уменьшение диаметра вала на 3 % от нормального значения требует ремонта.

Повреждения *коренных подшипников.* Это износ нагруженной поверхности вкладыша: трещины, отслаивание заливки и т.д. При ремонте вкладыши заливают баббитом марок Б10, Б16, Б83. Если глубина износа менее 1/2 толщины заливки, то зазор уменьшают, убирая подкладку в разъем вкладыша. При большой глубине износа производят перезаливку и расточку вкладышей.

*Поршни.* У них износ больше всего происходит по торцевым поверхностям пазов для колец и по наружной цилиндрической поверхности. При износе пазов их растачивают и ставят более толстые кольца. Браковка поршня производится по величине зазора цилиндр-поршень. Номинальный зазор равен  $0,001 \dots 0,002D$  цилиндра; брак в случае, если величина зазора больше двух номинальных зазоров.

Иногда поршни ремонтируют так: поверхность поршня растачивают, делают канавки между поршневыми кольцами, заливают баббитом и обтачивают на номинальный диаметр.

*Цилиндры.* При износе цилиндра меняется его форма (эллиптичность, конусность и т.д.). Это обнаруживается измерением диаметра цилиндра в трех сечениях по длине цилиндра, во взаимно перпендикулярных направлениях в каждом сечении.

Ремонт поршня заключается в расточке его и запрессовке чугунной гильзы. Затем гильзу растачивают на номинальный размер.

*Клапаны.* Текущий ремонт клапанов (пластин и седел) заключается в их притирке и очистке от нагара. Иногда пластины шлифуют, но не более чем на 1/3 толщины. При обнаружении трещин или глубинных рисок пластины заменяют. Пластины малых размеров изготавливают из углеродистой или инструментальной стали, крупные пластины – из легированных сталей. Обработка новых пластин заключается в шлифовке и закаливании.

## 2.13 РЕМОНТ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В процессе эксплуатации происходят не только изменения узлов и деталей насоса, но также его фундамента и станины. При составлении дефектной ведомости проводится замер осадки фундамента, наличия трещин в нем, зазоров между основанием фундамента и полом цеха. При наличии трещин и проникновении масла в массив фундамента он подвергается ремонту. При этом дефектная часть удаляется до прочного монолитного слоя и закладывается новый бетон.

Станина насоса может изменить свою форму в результате осадки фундамента. На ней могут появиться трещины из-за неравномерной затяжки ее. Также могут ослабнуть крепления станины к фундаменту и появятся зазоры между ее основанием и бетоном. Если имеются большие изменения формы станины, трещины в ней и периметр ее не прилегает к фундаменту на 50 % длины, то рама снимается с фундамента, отсоединяется от насоса, форма ее исправляется, трещины завариваются. Затем переходят к дефектации и ремонту самого насоса.

При работе насоса чаще всего выходят из строя и ремонтируются следующие его узлы: ротор, подшипники, уплотнения, полумуфты, корпус. Во время *техосмотра* проводят следующие мероприятия: а) проверяют осевой и радиальный разбеги ротора; б) очистка и промывка подшипников; в) ревизия сальникового уплотнения; г) проверка муфт.

При *текущем ремонте*: а) разборка насоса и проверка зазоров; б) ревизия и замена деталей уплотнения.

При *капитальном ремонте*: а) ревизия всех сборочных единиц и деталей; б) замена рабочих колес, валов, уплотнений.

Перед ремонтом насос отключают, промывают и делают следующие замеры: а) смещение ротора в радиальном направлении; б) осевой разбег ротора; в) несовпадение осей насоса и привода.

После таких замеров насос разбирают, детали промывают при 100 С в 10 % растворе  $\text{NaOH}$  в течение 30 мин, промывают водой и сушат. Затем проводят дефектацию на специальном месте, оснащенном необходимыми приборами и инструментами. Результаты дефектации заносят в дефектную ведомость. Необходимо отметить, что существуют нормы на износ деталей, разработанные соответствующим НИИ или заводом-изготовителем. После дефектации детали сортируют на три группы: а) годные к работе в сопряжении с новыми деталями; б) подлежащие ремонту; в) непригодные для дальнейшего использования.

Ремонтируют узлы и детали насоса, обычно, следующим образом.

*Корпус насоса*: коррозионный и эрозионный износ устраняется наплавкой металла, электросваркой с последующей расточкой. Привалочные поверхности протачиваются или фрезеруются.

*Ротор*: вал ротора может искривляться, диаметр его уменьшается, изменяет форму. При ремонте вал исправляют: изношенные части его подвергаются электролитическому восстановлению или наплавке с последующей расточкой под требуемый размер. Колесо ротора как и корпус насоса подвергается коррозионному и эрозионному износу и ремонтируется аналогично. Затем проводят балансировку ротора.

*Уплотнения*: сальниковую набивку меняют, а при необходимости ремонтируют или заменяют детали уплотнения. Если применяют торцевое уплотнение, то чаще всего при ремонте меняют пары трения.

*Подшипники*: осевое и радиальное смещение ротора чаще всего происходит из-за неисправности подшипников. В подшипниках не должно быть: а) трещин и выкрашивания металла на кольцах и телах качения; б) выбоин на беговых дорожках колец; в) шелушения металла. При обнаружении этих и других дефектов подшипник меняют.

После ремонта насос собирают, выверяют при установке на рабочем месте и испытывают. Испытание сводится к следующему: а) кратковременный пуск для определения направления вращения; б) при необходимости прогрев насоса, если перекачивают горячие жидкости; в) испытание на рабочем режиме в течение двух часов.

## 2.14 РЕМОНТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

### 2.14.1 Общие положения

В процессе эксплуатации конструкции здания испытывают технологические и климатические воздействия, вызывающие износ их элементов. Технологические воздействия проявляются при утечке перерабатываемых жидкостей и газов из аппаратов и трубопроводов. Поэтому необходима антикоррозионная и противопожарная защита строительных элементов здания, а также ремонт этих элементов.

К крупным строительным элементам следует отнести: фундаменты, колонны, ригели, плиты перекрытия, стены, перегородки, несущие детали покрытия, кровлю, полы, лестницы, световые проемы.

Исходным документом при организации ремонта и эксплуатации здания цеха и его элементов является паспорт этого здания, который содержит характеристики и данные о состоянии зданий и сооружений цеха. В паспорте делаются отметки о сроках

проведения ремонтов и всех конструктивных изменениях. Кроме того, для учета работ по текущему ремонту зданий ведется технический журнал.

#### 2.14.2 Организация осмотра зданий и сооружений

Состояние строительных конструкций цехов контролируется через плановые технические осмотры, которые подразделяются на текущие и периодические.

*Текущие осмотры* проводятся персоналом цеха через 10 ... 30 дней в зависимости от условий эксплуатации. Результат осмотра – запись в журнале.

*Периодические осмотры* проводятся в соответствии с годовым графиком. По результатам периодических осмотров составляются акты, в которых указываются дефекты, а также меры и сроки по их устранению. Мелкие дефекты устраняются силами этих же цехов, а крупные специальными ремонтно-строительными подразделениями.

Кроме перечисленных осмотров здания цехов могут подвергаться освидетельствованию силами проектного отдела предприятия или специальными научно-исследовательскими институтами. Это делается с целью установления причин дефектов и назначения мероприятий по ремонту. Кроме документов, составляемых по результатам осмотров, журнала технического осмотра, актов и дефектных ведомостей на предприятии разрабатываются технические условия эксплуатации зданий и сооружений. В соответствии с этими условиями необходимо выполнять следующее:

а) территория цеха должна быть спланирована с уклоном от здания, а стены иметь отмоктки;

б) ливнестоки, отводящие атмосферную воду, должны регулярно очищаться;

в) регулярно ремонтироваться отмоктки при просадке грунта под ними;

г) не допускать скопления воды у стен и фундаментов зданий при повреждении кровли;

д) не допускать хранения кислот вблизи фундаментов.

Выполнение перечисленных выше мероприятий позволит избежать размывание грунта из-под фундаментов и разрушение их. Для сохранения в рабочем состоянии несущих конструкций зданий нельзя подвергать их ударным воздействиям, подвешивать к ним тяжелые грузы, вырезать части из стальных конструкций, не допускать контакта стальных колонн с грунтом. Кровли необходимо регулярно очищать от пыли, мусора, снега. При необходимости стены должны иметь пароизоляцию в виде штукатурки и облицовочной плитки.

Несмотря на перечисленные мероприятия по эксплуатации зданий, несущие элементы их, кровля, полы подвергаются разрушению, и после осмотров эти элементы необходимо ремонтировать.

Рассмотрим типовые дефекты строительных элементов и способы их ремонта.

1 *Сколы колонны*: при ремонте на колонну устанавливаются стальные обоймы.

2 *Сколы ребра плиты перекрытия*: с целью наращивания ребра при ремонте используют корытообразный элемент с бетонным раствором.

3 *Нарушение антикоррозионного покрытия* металлоконструкций – окраска с учетом агрессивности среды.

4 *Кровля*: в настоящее время используется так называемая совмещенная кровля перекрытие-крыша. Она состоит как правило из плит, асфальтовой стяжки их и четырех слоев рубероида на битумной мастике. Рубероидное покрытие меняется через три года, так как происходит естественное старение рубероида. При ремонте особое внимание уделяют герметизации стыков кровли со стенами и вентиляционными трубами.

5 *Полы*: они должны иметь ровную поверхность без выбоин и углублений от просадки грунта. Полы в цехах, где возможен разлив жидкостей должны быть из непроницаемых материалов и иметь уклон к сливному трапу. При ремонте заделывают выбоины, устанавливают выпавшие плитки.



Необходимо отметить, что текущий ремонт кровли, фасада, пола, когда повреждена их поверхность до 10 % осуществляется персоналом цеха. При большем повреждении эти элементы зданий восстанавливаются специализированными подразделениями во время капитального ремонта.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение раздела "Монтаж оборудования" необходимо начать с вопросов организационно-технической подготовки поставки оборудования и приема строительной готовности. Затем ознакомиться с такелажными приспособлениями и механизмами. Следует обратить внимание на общие приемы установки оборудования на фундаменте, методы испытания его. Необходимо знать методы монтажа основного технологического оборудования: колонных аппаратов и их внутренних устройств, центробежных насосов и вентиляторов, центрифуг, теплообменников, сушилок, резервуаров, а также трубопроводов. Кроме того, необходимо изучить основы пуско-наладочных работ.

Изучение раздела "Ремонт оборудования" следует начинать с вопросов организации ремонтной службы на предприятии. Следует обратить внимание на виды обслуживания и ремонтов, на основы составления графиков ППР. Необходимо знать: методы восстановления деталей оборудования, методы диагностики оборудования; ремонт основного технологического оборудования (емкостные аппараты, теплообменники, колонные аппараты, насосы и компрессоры). Следует также изучить методы ремонта основных строительных элементов промышленных зданий.

Для проверки своих знаний необходимо выполнить контрольные задания, целью которых является развитие у студента навыков в решении практических задач, возникающих при проведении монтажных и ремонтных работ.

Выполненное контрольное задание должно содержать:

- титульный лист с указанием наименования университета и кафедры; названия работы; фамилии, имени, отчества студента и номера учебной группы;
- ответы на контрольные вопросы;
- полное изложение задачи;
- расчетные схемы;
- расчеты и их результаты;
- выводы по работе;
- список использованной литературы.

### **КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 1**

Рассчитать размеры фундамента ( $a$ ,  $b$ ,  $h$ ) под оборудование, установленное в неотапливаемом помещении при известных габаритных размерах в плане  $a_1$  и  $b_1$ , известной высоты надземной части фундамента  $h_1$ , а также массе оборудования  $M$ , плотности материала фундамента  $\rho$ , диаметра фундаментного болта  $d$ , характера нагрузка и места (города) установки оборудования, (рис. 1П, табл. 1П)

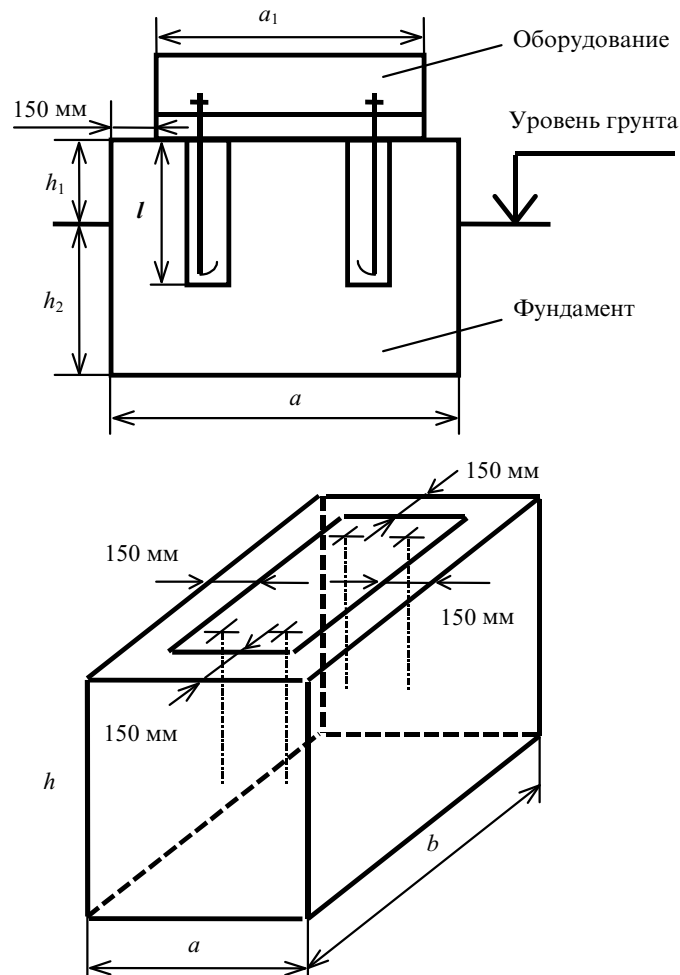


Рис. 1П Расчетная схема к заданию 1

ТАБЛИЦА 1П – ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ВАРИАНТАМ

№	$a_1$ , м	$b_1$ , м	$h_1$ , м	$M$ , т	Тип нагрузки	$\rho$ , тм <sup>3</sup>	Город	$d$ , мм
1	0,5	1	0,1	0,2	динамическая	1,8	Архангельск	30
2	0,5	1,5	0,15	0,3	динамическая	1,9	Казань	35
3	0,5	2	0,2	0,4	динамическая	2	С-Петербург	40
4	0,5	2,5	0,25	0,5	динамическая	2,1	Петрозаводск	45
5	0,5	3	0,3	0,6	динамическая	2,2	Москва	50

6	1	1	0,4	1	статическая	2,3	Тамбов	30
7	1	1,5	0,5	1,5	статическая	2,4	Саратов	35
8	1	2	0,1	2	динамическая	2,5	Орел	40
9	1	2,5	0,15	2,5	динамическая	2,6	Брянск	45
10	1	3	0,2	2,8	статическая	2,7	Астрахань	50
11	1,5	1	0,25	3	статическая	2,8	Волгоград	30
12	1,5	1,5	0,3	3,2	статическая	1,8	Новоросси йск	35
13	1,5	2	0,35	3,5	динамическая	1,9	Архангельс к	40
14	1,5	2,5	0,4	3,8	динамическая	2	Казань	45
15	1,5	3	0,45	4	динамическая	2,1	С- Петербург	50
16	2	2	0,5	1	статическая	2,2	Петрозавод ск	30
17	2	2,5	0,1	2	статическая	2,3	Москва	35
18	2	3	0,15	3	статическая	2,4	Тамбов	40
19	2	3,5	0,2	4	динамическая	2,5	Саратов	45
20	1,8	1	0,25	1	динамическая	2,6	Орел	50
21	1,8	1,5	0,3	1,5	динамическая	2,7	Брянск	30
22	1,8	2	0,35	2	статическая	2,8	Астрахань	35
23	1,8	2,5	0,4	2,5	статическая	1,8	Волгоград	40
24	1,8	3	0,45	3	статическая	1,9	Новоросси йск	45
25	3	1	0,5	3,5	динамическая	2	С- Петербург	50
26	3	2	0,1	4	динамическая	2,2	Москва	30
27	3	3	0,15	1,5	динамическая	2,4	Тамбов	35
28	3	3,5	0,2	2	статическая	2,5	Казань	40
2	1	4	0,3	2,5	статическая	2,6	Москва	45

9								
3	1,5	4	0,4	3	статическая	2,8	Тамбов	50
0								

### Методические указания

Перед выполнением задания необходимо ответить на вопросы:

- 1 Какие такелажные приспособления и механизмы применяются при монтаже оборудования ?
- 2 Фундаменты и их назначение.
- 3 Испытание оборудования на прочность и плотность.

Перед расчетом определяют контуры фундамента в плане, т.е. размеры  $a$  и  $b$ . Эти размеры находят по чертежу общего вида оборудования. Ориентировочно ширина и длина фундамента больше соответствующих размеров оборудования  $a_1$  и  $b_1$  на 300 мм (см. рис. 1 – 150 мм  $2 = 300$  мм).

Высота фундамента  $h$  складывается из высот надземной  $h_1$  и подземной  $h_2$  частей его. Высота надземной части  $h_1$  задается, исходя из положения оборудования в технологической схеме, например, чтобы соединить соседние аппараты в схеме горизонтальным трубопроводом.

Размер подземной части фундамента  $h_2$  рассчитывается в первом приближении для отапливаемых помещений, исходя из массы фундамента:

$$M_{\text{тм}} = kM,$$

где  $M_{\text{ф}}$  – масса фундамента;  $M$  – масса оборудования с перерабатываемым материалом;  $k$  – коэффициент, зависящий от типа нагрузки на фундамент (для статической  $k = 0,6 \dots 1,5$ , для динамической  $k = 0,8 \dots 1,9$ ).

Зная массу фундамента, размеры его в плане  $a$  и  $b$ , а также плотность материала, можно вычислить размер подземной части  $h_2$ :

$$h_2 = \frac{M_{\text{тм}}}{ab\rho}.$$

Рассчитанное значение  $h_2$  окончательно выбирается после проверок. Так, для отапливаемых помещений минимальная глубина подземной части фундамента составляет 0,5 м.

Для неотапливаемых помещений и открытых площадок размер подземной части фундамента  $h_2$  должен соответствовать выражению

$$h_2 \geq H_{\text{пр}} + 0,2, \text{ м},$$

где  $H_{\text{пр}}$  – глубина промерзания грунта в данной зоне Российской Федерации:

I зона – Архангельск, Казань, Екатеринбург – 2 м;

II зона – Санкт – Петербург, Петрозаводск – 1,6 м;

III зона – Москва, Тамбов, Саратов – 1,5 м;

IV зона – Орел, Брянск – 1,3 м;

V зона – Астрахань, Волгоград, Новороссийск – 1,1 м.

Общая высота фундамента должна быть больше длины фундаментных болтов  $l$ . Обычно эта величина определяется в соответствии с выражением  $l = 15d$ , где  $d$  – диаметр фундаментного болта. Таким образом, окончательная проверка расчета:  $h > l$ .

## Контрольное задание 2

Определить: 1) возможный срок службы сборочной единицы; 2) возможное количество ремонтов при замене одной детали; 3) допустимый зазор сочленения при ремонте, который обеспечил бы продолжительность работы до следующего текущего ремонта; 4) скорость износа в начале и в конце ремонтного периода (рис. 2П, табл. 2П).

Для сочленения двух деталей установлены следующие параметры: максимально допустимый зазор  $\delta_{\text{д}}$ , мкм; начальный зазор в соединении  $\delta_0$ , мкм; скорость износа первой  $v_1$ ; второй  $v_2$ , деталей мкм/мес.

При ремонте заменяется только первая деталь, имеются в запасе две детали, также задано уравнение износа в виде  $\frac{d\delta}{d\tau} = f(\delta)$ .

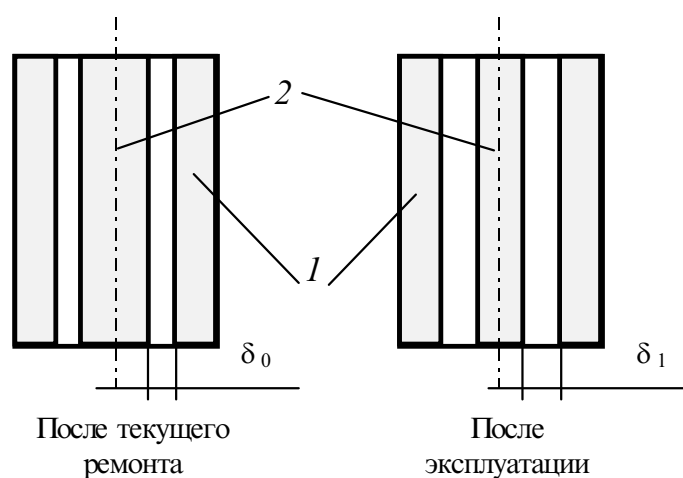


Рис. 2 Расчетная схема к заданию 2:  
1, 2 – детали соединения

**Таблица 2П – Исходные данные по вариантам**

№	Максимально допустимый зазор $\delta_{\text{д}}$ , мкм	$\delta_0$ , мкм	$v_1$	$v_2$	Вид уравнения износа $\frac{d\delta}{d\tau} = f(\delta)$
1	250	15	17	7	$0,04 + 10^{-52}$
2	200	20	10	5	$0,25 + 10^{-4}$
3	170	18	15	6	$0,17 + 310^{-52}$
4	220	22	12	5	$2,1210^{-3} + 410^{-5}$
5	235	17	11	4	$5 + 10^{-2}$
6	190	21	18	10	$0,12 + 10^{-42}$
7	185	20	19	9	$0,2 + 10^{-5}$
8	172	13	20	12	$0,27+210^{-5}$
9	193	25	12	4	$0,175 + 10^{-3 \cdot 2}$

10	197	21	14	7	$0,012 - 10^{-2}$
11	225	17	16	9	$-0,175 + 10^{-12}$
12	253	15	12	4	$0,3 - 210^{-4}$
13	210	24	17	8	$0,25 + 10^{-52}$
14	215	23	19	5	$0,71 - 10^{-22}$
15	250	15	17	7	$0,04 + 10^{-52}$
16	160	20	13	2	$0,5 + 10^{-3}$
17	172	11	12	5	$0,1 + 3,210^{-52}$
18	221	22,5	12,3	5,1	$2,210^{-2} + 4,2310^{-5}$
19	259	21,7	13	4	$12,5 + 10^{-2}$
20	253	23	19	10	$0,132 + 10^{-42}$
21	125	26	13	5	$0,14 + 10^{-5}$
22	178,4	13	20	13	$12,2 + 210^{-5}$
23	192	25	12	6	$0,5 + 10^{-22}$
24	190	21	14	8	$0,12 - 10^{-3}$
25	175	17	16	10	$-0,17 + 10^{-42}$
26	253	15	12	5	$0,34 - 210^{-2}$
27	210	24	17	5	$0,225 + 10^{-42}$
28	215	23	19	3	$0,271 - 10^{-52}$
29	267	29	15	4	$0,125 + 10^{-12}$
30	289	29	19	8	$210^{-3} + 410^{-4}$

### Методические указания

Перед выполнением задачи необходимо ответить на следующие вопросы:

- 1 Как готовится оборудование к ремонту?
- 2 Как определяется норма запаса деталей для ремонта?
- 3 Какие факторы влияют на износ деталей оборудования?

1 Определить возможный срок службы сборочной единицы.

Продолжительность работы деталей соединения до первой замены определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{(\delta - \delta_0)}{(v_1 + v_2)}. \quad (1.1)$$

За этот период износ второй детали составит

$$\delta_2 = v_2 \tau. \quad (1.2)$$

После смены детали зазор в сочленении будет равен

$$\delta_{10} = \delta_0 + \delta_2. \quad (1.3)$$

Продолжительность работы до второй замены детали

$$\tau_2 = \frac{(\delta - \delta_{10})}{(v_1 + v_2)}. \quad (1.4)$$

Продолжительность работы до третьей замены детали  $\tau_3$  определяется аналогично по формулам (1.2) ... (1.4).

Затем определяется общий срок службы сборочной единицы

$$\tau = \sum_{i=1}^3 \tau_i. \quad (1.5)$$

2 Для расчета допустимого количества ремонтов путем замены одной детали необходимо знать ремонтный период,  $\tau_p$  который принимается равным (с учетом результатов, полученных в п.1)  $\tau_p \leq \tau_1$ .

Следовательно, зазор в сочленении через  $\tau_p$  месяцев работы составит

$$\delta'_1 = \delta_0 + (v_1 + v_2)\tau_p. \quad (2.1)$$

Остаточный зазор в сочленении после первой замены

$$\delta'_{01} = \delta_0 + v_2 \tau_p. \quad (2.2)$$

Зазор в сочленении после  $2\tau_p$  месяцев работы сочленения

$$\delta'_2 = \delta'_{01} + 2(v_1 + v_2)\tau_p. \quad (2.3)$$

Остаточный зазор в сочленении после второй замены

$$\delta'_{02} = \delta'_{01} + v_2 \tau_p. \quad (2.4)$$

Далее определяется зазор в сочленении после  $3\tau_p$  месяцев работы по формуле, аналогичной формуле (2.3).

Полученные величины зазоров сравниваются с величиной допустимого зазора  $\delta$ . По результатам сравнения делается вывод о количестве возможных замен детали.

3 Исходными данными для расчета допустимого зазора  $\delta_{\max}$  сочленения служат продолжительность работы сочленения между капитальными ремонтами (по данным п. 2), а также величина максимально допустимого зазора в сочленении (по данным п. 1).

Зная вид уравнения износа  $\frac{d\delta}{d\tau} = f(\delta)$ , путем разделения переменных и интегрирования, будем иметь

$$\frac{d\delta}{f(\delta)} = d\tau; \quad \int_{\delta_{\max}}^{\delta} \frac{d\delta}{d\tau} = \int_0^{\tau} d\tau. \quad (3.1)$$

Из уравнения (3.1) определяем величину допустимого зазора при ремонте  $\delta_{\max}$ .

Подставляя в уравнение износа величины  $\delta_{\max}$  и  $\delta$ , можно определить скорости износа в начале и в конце ремонтного периода.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие этапы включает в себя монтаж оборудования?
- 2 От каких параметров зависит размер площадки складирования?
- 3 Каковы максимально допустимые размеры при транспортировке оборудования по железной дороге и по рекам?

- 4 Что относится к средствам малой механизации монтажных работ?
- 5 С какой целью производится балансировка вращающихся частей оборудования?
- 6 Каким испытаниям оборудования отдается предпочтение гидравлическим или пневматическим?
- 7 В каких случаях проводят пневматические испытания на прочность и плотность?
- 8 Каков порядок гидравлических испытаний оборудования?
- 9 Какие способы используют при подъеме колонных аппаратов?
- 10 Как испытывают на барботаж колпачковые тарелки колонных аппаратов?
- 11 Как проверяется параллельность установки барабанов ленточной сушилки?
- 12 В чем заключается специфика монтажа барабанной сушилки?
- 13 В чем заключается преимущество канатного кантователя перед роликовым?
- 14 Какие Вы знаете способы соединения труб?
- 15 Какие мероприятия предусматривают для компенсации температурных удлинений?
- 16 В чем заключается суть совмещенного способа монтажа объектов?
- 17 Какие типичные директивы выявляются при проведении пуско-наладочных работ?
- 18 Какие этапы включают в себя технические ремонты?
- 19 Чем характеризуется организация смешанной ремонтной службы предприятия?
- 20 Что включает в себя годовой график ППР?
- 21 Какие основные работы выполняются при техническом обслуживании оборудования?
- 22 Какие параметры влияют на величину нормы запаса деталей для ремонта?
- 23 Какие способы восстановления изношенных деталей Вы знаете?
- 24 В чем заключается подготовка оборудования к ремонту?
- 25 Каким способом можно выявить наличие трещин в корпусе аппарата?
- 26 Как можно ликвидировать вмятины и выпучины корпуса емкостного аппарата?
- 27 Каково оптимальное значение степени развальцовки труб теплообменника?
- 28 Как производится ремонт подшипников скольжения компрессорных машин?
- 29 Какие мероприятия проводят при дефектации центробежных насосов?
- 30 Каковы дефекты основных строительных элементов зданий и способы их ремонта?

### **Тестовые вопросы по монтажу технологического оборудования**

- 1 Какое из перечисленных ниже мероприятий относится к организационно-технической подготовке монтажа?
  - а) *составление смет;*
  - б) *получение монтажниками от заказчика технической документации;*
  - в) *монтаж основного оборудования.*
- 2 От каких факторов зависят размеры площадки строительства?
  - а) *от вида оборудования и материалов;*
  - б) *от климатических условий;*
  - в) *от сроков монтажа.*
- 3 От чего зависит высота надземной части фундамента?
  - а) *от глубины промерзания грунта;*
  - б) *от динамической нагрузки;*
  - в) *от места расположения оборудования и требований технологии.*
- 4 С какой целью делается выверка соосности машин и агрегатов?
  - а) *с целью предотвращения опрокидывания оборудования;*
  - б) *с целью предотвращения разрушения подшипников и других узлов машины;*



- в) чтобы избежать горизонтального смещения машины.
- 5 Каким испытаниям емкостного оборудования отдается предпочтение и почему?
- пневматическим из-за простоты;
  - гидравлическим по причине безопасности.
- 6 Почему при монтаже камерной сушилки особое внимание уделяют размерам по диагоналям между опорами подшипников барабанов ленты?
- для увеличения коэффициента мощности;
  - чтобы обеспечить параллельность барабанов лент;
  - чтобы обеспечить нормальные условия теплопередачи.
- 7 В чем заключаются преимущества канатного кантователя перед роликовым?
- в возможности изготовить на нем обечайки большого диаметра;
  - в возможности изготовить на нем обечайки из цветных металлов;
  - в возможности легкого перестраивания при переходе диаметр обечайки.
- 8 Какой способ соединения труб обеспечивает минимальные течи и экономичность?
- сварка;
  - на муфтах;
  - на фланцах.
- 9 Как компенсируют тепловые удлинения трубопроводов?
- охлаждением труб;
  - вводом в конструкцию трубопроводов компенсаторов;
  - нагревом труб.
- 10 Каковы преимущества совмещенного способа монтажа перед последовательным способом возведения объекта?
- уменьшается себестоимость промышленной продукции;
  - сокращается стоимость технологического оборудования;
  - сокращаются сроки строительства и рационально используется подъемно-транспортное оборудование.

Вывод. Если Вы правильно ответили менее чем на семь вопросов, то Вам необходимо еще раз изучить первую часть данного пособия.

### **Тестовые вопросы по ремонту технологического оборудования**

Для каждого вопроса выберите правильный, на Ваш взгляд, вариант ответа и сравните его с текстом пособия

- 1 Какие работы включает в себя ремонт оборудования?
- установка оборудования в проектное положение, транспортировка оборудования;
  - получение от заказчика рабочих чертежей на оборудование, выверка оборудования на горизонтальность и вертикальность;
  - разборка машины и дефектация, ремонтная обработка деталей, сборка оборудования и испытания.
- 2 Где восстанавливают работоспособность оборудования при организации, децентрализованной ремонтной службы?
- на ремонтных участках технологических цехов;
  - на заводе-изготовителе;
  - силами ремонтно-механического цеха предприятия.
- 3 На основании каких документов составляется месячный график ППР?
- на основе проектной документации;
  - на основе годового графика ППР;
  - на основе плана производства монтажных работ.
- 4 Какие работы производятся при техническом обслуживании оборудования?
- промывка оборудования, ремонт футеровки, регулировка узлов и замена деталей;
  - внешний осмотр, подтяжка креплений, смазка, проверка заземлений;

в) замена сборочных единиц и комплектов.

5 Что является причиной механического износа деталей?

а) термическая деформация;

б) трение, пластические деформации, эрозионное воздействие;

в) коррозионное растрескивание сварных соединений.

6 Какими способами производится окончательная очистка оборудования?

а) химическим, термическим, механическим способами;

б) промывка растворами кислот и щелочей;

в) продувка паром или инертным газом.

7 С помощью каких приемов можно обнаружить мельчайшие трещины в корпусе аппарата?

а) засверловкой корпуса аппарата;

б) с помощью магнитной дефектоскопии;

в) гидравлическим испытанием аппарата.

8 На каком принципе основано действие вальцовки?

а) на раскатке конца трубы веретеном конической формы;

б) на приварке трубы вальцовкой;

в) на раскатке трубы вальцами.

9 Как производится ремонт трубной доски теплообменника, если трещина доходит до отверстия под трубку?

а) заварка трещины;

б) заглушка трубы пробками;

в) сварка усиливающей втулки в предварительно расточенное отверстие.

10 Какой оптимальный срок службы рубероидного покрытия крыши промышленного здания? а) 3 года; б) 10 лет; в) 15 лет.

В ы в о д. Если Вы ответили правильно менее чем на семь вопросов, то Вам необходимо еще раз изучить вторую часть данного пособия.

## ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ "ОСНОВЫ МОНТАЖА И РЕМОНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ"

**АППАРАТ** – УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАТЕРИАЛА, ПРИ ЭТОМ МАТЕРИАЛ МЕНЯЕТ СВОИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

**Баббит** – антифрикционный сплав на основе олова или свинца с добавками сурьмы, меди и других металлов.

**Вальцовка** – инструмент для развальцовки труб.

**Коррозия** – разрушение металлов в следствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней средой.

**Лебедка** – грузоподъемная машина для перемещения грузов.

**Мачта** – сооружение, состоящее из ствола опирающегося на фундамент и поддерживаемого канатными оттяжками.

**Металлизация** – процесс нанесения расплавленного металла на ремонтируемую деталь.

**Монтаж** – подъем, перемещение и установка оборудования в проектное положение.

**Наладка** – совокупность операций по подготовке оборудования к эксплуатации.

**Оборудование** – общее название аппаратов, машин и устройств для проведения технологического процесса.

**Полиспаст** – грузоподъемное устройство из блоков, огибаемых канатов.

**Портал** – П-образная металлическая конструкция, предназначенная для подъемов грузов.

**Ремонт** – процесс восстановления работоспособности оборудования.

**Стропы** – устройство из канатов для подвешивания грузов.

**Фундамент** – основание, которое обеспечивает, оборудованию заданную ориентацию и поглощает вибрацию.

#### Список рекомендуемой литературы

- 1 *Ермаков В. И., Шеин В. С.* Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
- 2 *Гельперин Д. М., Миловидов Г. В.* Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.
- 3 *Ермаков В. И., Шеин В. С.* Технология ремонта химического оборудования. Л.: Химия, 1977. 278 с.
- 4 *Иванов К. А.* Организация ремонта технологического оборудования мясокомбинатов. М.: Агропромиздат, 1991. 223 с.
- 5 *Иноземцев Д. П.* Ремонт и монтаж оборудования предприятий химических волокон. М.: Химия, 1974. 298 с.
- 6 *Амалицкий В. В., Комаров Г. А.* Монтаж и эксплуатация деревообрабатывающего оборудования. М.: Лесная промышленность, 1989. 400 с.
- 7 *Гельберг Б. Т., Пекелис Г. Д.* Ремонт промышленного оборудования. М.: Высшая школа, 1977. 292 с.
- 8 *Борисов Ю. С.* Организация ремонта и технического обслуживания оборудования. М.: Машиностроение, 1978. 359 с.
- 9 *Корчанов И. Я.* Технология и организация ремонта строительных машин и оборудования. М.: Стройиздат, 1989. 350 с.
- 10 *Зубова А. Ф.* Надежность машин и аппаратов химических производств. Л.: Машиностроение, 1978. 215 с.