

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В.Ф. Герман

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
ПО КУРСУ
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИН»
для студентов специальности 7.090209
«Гидравлические и пневматические машины»
заочной формы обучения

СУМЫ ИЗД-ВО СУМГУ 2005

ВВЕДЕНИЕ

Курс "Эксплуатация и обслуживание машин" является одним из обязательных курсов при подготовке студентов по специальности "Гидравлические и пневматические машины". Информация по эксплуатации и обслуживанию машин в настоящее время разрознена и нет единого учебника по дисциплине.

Цель данного конспекта лекций – помочь студентам заочного отделения освоить необходимый объем знаний по указанной дисциплине и уменьшить время на самостоятельную подготовку. Конспект лекций написан в предельно сжатой форме и охватывает основные темы курса. В нем рассмотрены принципы рациональной эксплуатации промышленного оборудования, износ машин и причины их отказа, основы надежности машин, техническая эксплуатация и обслуживание машин, ремонт и восстановление их работоспособности. После изучения данного конспекта дополнительные знания студент может получить по рекомендуемой в списке литературе.

1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Промышленное оборудование. Характеристика основных видов промышленного оборудования

Основные термины, принятые для характеристики объектов техники, стандартизированы.

Оборудование – агрегаты, машины, механизмы и транспортные средства, которые используются в процессе превращения сырья в полуфабрикаты и готовую продукцию.

Агрегат – ряд конструктивно объединенных между собой машин.

Машина – комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы, связанной с процессом производства или транспортирования, либо с преобразованием энергии.

Механизм – система кинематических, взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенных для совершения определенных целесообразных движений.

Узел – разъемное или неразъемное соединение нескольких деталей, представляющее собой сборочную единицу, входящую в машину.

Деталь – элемент машины, представляющий собой одно целое, которое не разрушается и которое нельзя разобрать на более простые составные части.

1.2 Основные виды промышленного оборудования

- Основными видами промышленного оборудования являются:
- технологические машины (станки, кузнечное и пресловое оборудование, машины для литья и др.);
 - гидравлические машины (насосы, гидродвигатели, гидравлические турбины);
 - транспортные машины (автомобили, тепловозы);

– электрические машины (электрокары, краны) и др.

Эти машины могут объединяться в специальные комплексы или системы – автоматические линии.

Каждый вид оборудования делится на группы:

- *металлорежущие станки* – на токарные, сверлильные, фрезерные и т.д.;
- *гидродвигатели* – на гидроцилиндры, гидромоторы, поворотные гидродвигатели и т.д.

Группы подразделяются на типы и типоразмеры, например, насосы на динамические и объемные.

Оборудование, предназначенное для выполнения определенного технологического процесса, относится к технологическому. Это может быть оборудование для переработки сырья (руды), выплавки металла, обработки металла, а также выпуска готовых изделий. На машиностроительных предприятиях технологическое оборудование концентрируется в цехах: литейных, заготовительных, механических, сборочных и т.п. Кроме того, используют разнообразное оборудование общего межотраслевого назначения: компрессоры, вентиляторы, насосы и гидроприводы, краны и грузоподъемные машины, средства и устройства автоматики, электрические машины и многие другие виды машин.

Технологическое оборудование заводов можно классифицировать по функциональным признакам:

- 1 Машины-двигатели** – служат для преобразования тепловой, электрической, гидравлической и других видов энергии в механическую работу (паровые машины, электродвигатели, гидравлические турбины, двигатели внутреннего сгорания и др.).
- 2 Машины-генераторы** – преобразуют механическую энергию в другие виды энергии (компрессоры, динамо-машины, насосы и др.).
- 3 Машины-орудия** – машины, использующие механическую работу машин-двигателей для выполнения технологических операций: обработка металлов, изготовление изделий, деталей

машин и др. Это станки, прессы, автоматические линии и т.п.

- 4 **Транспортные машины** – мостовые краны, конвейеры, автомобили, служащие для перемещения различных грузов.
- 5 **Управляемые машины** – автоматизированные комплексы для управления агрегатами, системами, имеющие в своем составе ЭВМ.

Рассмотрим структурную схему машины (рис.1.1).

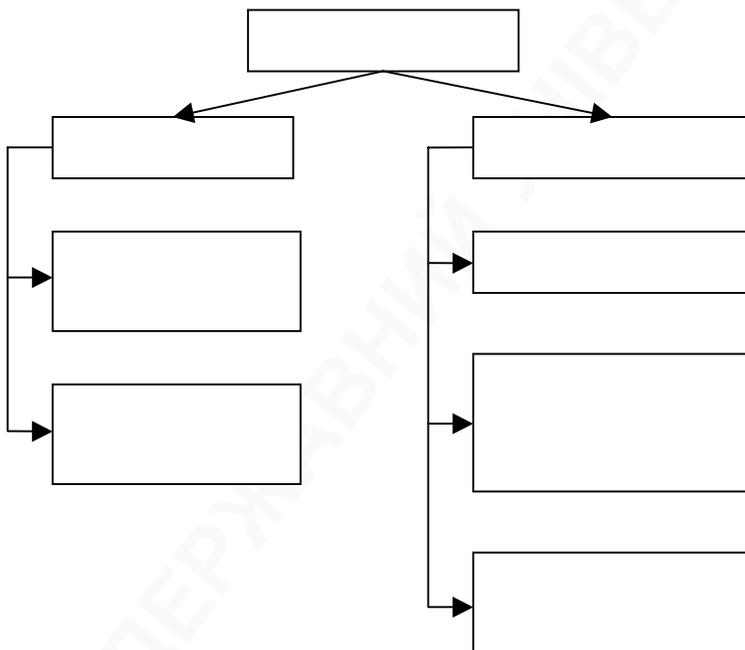


Рисунок 1.1 – Структурная схема машины

Все машины состоят из деталей, которые объединены в механизмы и сборочные единицы.

Деталь – часть машины, которая изготавливается без сборочных операций. Детали могут быть простыми (гайка, болт, шпонка и др.) или сложными (коленчатый вал, рабочее колесо, корпус насоса и др.). Детали объединяют в узлы.

Все детали и узлы делятся на:

- **соединительные** (заклёпки, шпонки, резьбовые соединения и др.)
- **передающие вращательное движение** (зубчатые колеса, шкивы и др.)
- **обслуживающие передачи** (валы, подшипники, муфты и др.)

Детали, составляющие машину, связаны между собой тем или иным способом. Связи в технике называются соединениями. К основным видам соединения деталей машин относятся: резьбовые, заклепочные, сварные, клеммовые, шпоночные, шлицевые и др.

1.3 Понятие работоспособности машин

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять свои функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Работоспособность оценивается параметрами технического состояния (износ, зазор, размер детали), выходными параметрами (подача, напор, к.п.д.) или диагностическими параметрами (шум, вибрация и др.).

Кроме того, оценку можно произвести и по качественным признакам технического состояния, которые проявляются в виде наличия течи масла, определенного цвета отработавших газов, скрежета, специфического запаха и др. Эти признаки не измеряют, их качественно оценивают.

Наиболее полную и достаточно достоверную оценку работоспособности машины можно получить, используя количественные показатели работоспособности.

К количественным показателям работоспособности относятся годность и ресурс.

Годность – относительная способность машины выполнять свои функции.

Ресурс – наработка машины до предельного состояния. Предельное состояние определяется технической

невозможностью или экономической нецелесообразностью дальнейшего использования машины из-за резкого ухудшения показателей работы: невыполнения заданной функции; снижения производительности; высокой интенсивности отказов и т.д. Параметры технического состояния изменяются от времени работы машины. При этом каждый параметр изменяется от номинального до предельного значения.

Номинальное значение параметра определяется его функциональным назначением и служит началом отсчета отклонений.

Предельное значение параметра – наибольшее или наименьшее значение, которое может иметь работоспособная машина.

1.4 Изменение работоспособности машин. Основные факторы, влияющие на работоспособность

При эксплуатации, хранении и транспортировании машина подвергается различным внутренним и внешним воздействиям, в результате которых нарушается ее работоспособность.

Основные факторы, влияющие на работоспособность:

- 1 Механические нагрузки (растяжение, изгиб, кручение). Под действием нагрузок возникают деформации, трещины и поломки деталей.
- 2 Изнашивание – это процесс постепенного изменения детали при трении. Характер этого процесса зависит от вида трения, свойств материала, скорости перемещения поверхностей, вида и качества смазки.
- 3 Коррозия – изменение свойств материала под воздействием окружающей среды (температуры, влажности, кислотности).
- 4 Кавитация – образование в потоке жидкости пузырьков пара или воздуха при давлении $p < p_{\text{нп}}$ ($p_{\text{нп}}$ – давление насыщенного пара). При попадании в зону повышенного давления происходит захлопывание пузырьков и разрушение материала.

- 5 Перегрев (прогорание) – нагрев детали до температуры выше критической. Это вызывает изменение в структуре материала (например, в поршнях двигателей внутреннего сгорания).
- 6 Биологические повреждения: плесень (образование в плесневом слое ферментов, которые разрушают материал); присутствие муравьев, моллюсков, грызунов, которые уничтожают разнообразные материалы, пластмассовые трубы, изоляцию и др.
- 7 Отрицательное воздействие человека:
 - а) система «человек – машина» может влиять на изменение технического состояния машины. Вредное воздействие человека проявляется при недостатке знаний, халатности, усталости и т.п.;
 - б) моральный износ машины – использование несовершенных, малопродуктивных, металлоемких и неэкономичных машин при отсутствии материальных средств.

2 ИЗНОС МАШИНЫ

2.1 Изнашивание. Виды износа

Изнашивание – процесс постепенного изменения детали при трении. Характер этого процесса определяется видом трения, физико-химическими свойствами материала, скоростью относительного перемещения, величиной и характером давления, видом и качеством смазки, условиями эксплуатации.

В зависимости от кинематики относительного перемещения тел в машинах и механизмах наблюдается два вида трения: трение скольжения и трение качения.

В зависимости от наличия или отсутствия смазки, а также характера трения поверхностей, различают следующие виды трения:

- а) сухое – возникает между трущимися поверхностями при отсутствии жидкостной прослойки;
- б) жидкостное – в случае полного разделения поверхностей слоем жидкости;
- в) полужидкостное – при наличии смазывающего слоя, при котором отдельные выступы поверхностей непосредственно соприкасаются (имеется контакт);
- г) граничное – трущиеся поверхности разделены слоем смазки не более 0,1 мм.

Виды трения в машинах по характеру смазки представлены на рис.2.1.

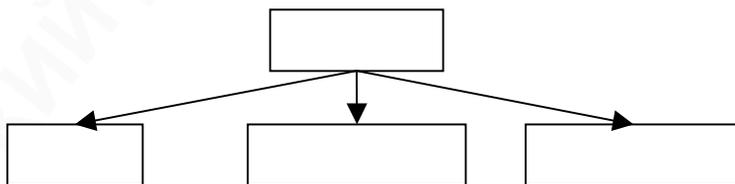


Рисунок 2.1 – Виды трения в машинах

2.2 Законы трения

2.2.1 Закон трения скольжения

Зависимость силы сухого трения скольжения от нормального давления установил Амонтон. По закону Амонтона сила трения F_c прямо пропорциональна весу груза G (силе давления N) и не зависит от величины площади касания:

$$F_c = fN, \quad (2.1)$$

где f – коэффициент трения скольжения;
 N – сила давления.

Основные положения закона трения скольжения:

- а) сила трения прямо пропорциональна нормальному давлению;
- б) направление силы трения противоположно относительной скорости трущихся поверхностей;
- в) трение зависит от состояния трущихся поверхностей.

2.2.2 Закон трения качения

Сила трения качения прямо пропорциональна нормальному давлению и обратно пропорциональна радиусу катка и направлена в противоположную сторону относительно скорости основного движения:

$$F_K = f_k \frac{N}{R}, \quad (2.2)$$

где f_k – коэффициент трения качения;
 N – нормальная сила;
 R – радиус катка.

Трение качения зависит от материала и состояния трущихся поверхностей.

2.2.3 Закон жидкостного трения

При жидкостном трении отсутствует непосредственное сопротивление поверхностями, так как между ними находится

слой жидкости. При относительном движении в этом случае происходит сдвиг отдельных слоев жидкости относительно друг друга. Основные законы жидкостного трения разработаны Н. Петровым (гидродинамическая теория смазки).

Сила жидкостного трения $F_{ж}$ прямо пропорциональна коэффициенту жидкостного трения $f_{ж}$ и нагрузке P :

$$F_{ж.тр} = f_{ж} P. \quad (2.3)$$

2.2.4 Виды износа

Износы разделяют на несколько видов.

- 1 Механический – абразивный, гидроабразивный, эрозионный (это результат взаимодействия трущихся поверхностей).
- 2 Молекулярно-механический.
- 3 Коррозионно-механический или окислительный.

Наиболее распространенным является износ вследствие трения скольжения (это поверхности шеек вала, подшипники скольжения, поршневые кольца, клапаны и т.д.).

Абразивный износ развивается при трении скольжения, когда на поверхности трения накапливаются абразивные частицы.

Интенсивность износа зависит от размеров, формы и свойств абразивов и деталей, относительных скоростей, смазки и др.

2.3 Допустимые и предельные износы деталей. Расчет ресурса деталей при изнашивании

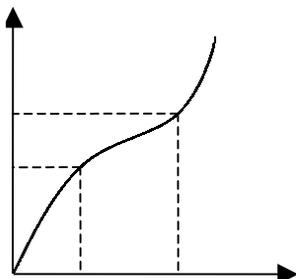
Износ деталей машин может быть допустимым и предельным.

Допустимым износом называется такой износ, при котором данная деталь может работать еще целый межремонтный период.

Предельным называется износ, при котором дальнейшая нормальная работа детали невозможна.

Допустимые и предельные износы оцениваются кривой естественного механического износа $U_{мех}$.

Рассмотрим кривую механического износа (рис.2.2)



Кривая имеет три участка:
I – участок приработки нового сопряжения;
II – участок нормальной работы сопряжения;
III – участок, характеризующий процесс разрушения вследствие предельного износа.

Рисунок 2.2 – Характер износа деталей

Критерии предельного износа рекомендуется устанавливать в зависимости от того, какое влияние он оказывает на работу машины. При этом предельные износы бывают 3 видов:

- а) в результате износа деталь неработоспособна (поломка вала, съедание зубьев шестерни и т.д.);
- б) износ приводит к интенсивному выходу машины из строя (пример – износ поршневых колец);
- в) износ приводит к снижению характеристик машины (уменьшается точность, снижаются напор, производительность, к.п.д. и т.д.).

Предельные износы деталей устанавливают на основании данных эксплуатации и ремонта машин.

Рассмотрим подвижное сопряжение вал-втулка.

Определим наработку (ресурс) $T_{сп}$ и значение предельного износа $U_{пр}$ сопряжения. Для определения времени наработки $T_{сп}$ необходимо иметь кривую износа деталей и значения их предельного износа $U_{пр}$ (рис.2.3).

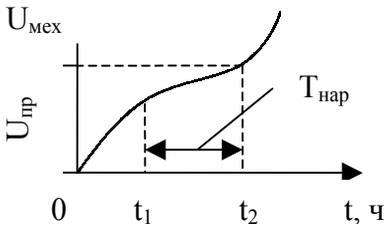


Рисунок 2.3 – Предельные износы деталей

В сопряжении между валом и втулкой имеется зазор, который определяется классом точности и посадкой деталей.

Построим характеристику износа (рис. 2.4).

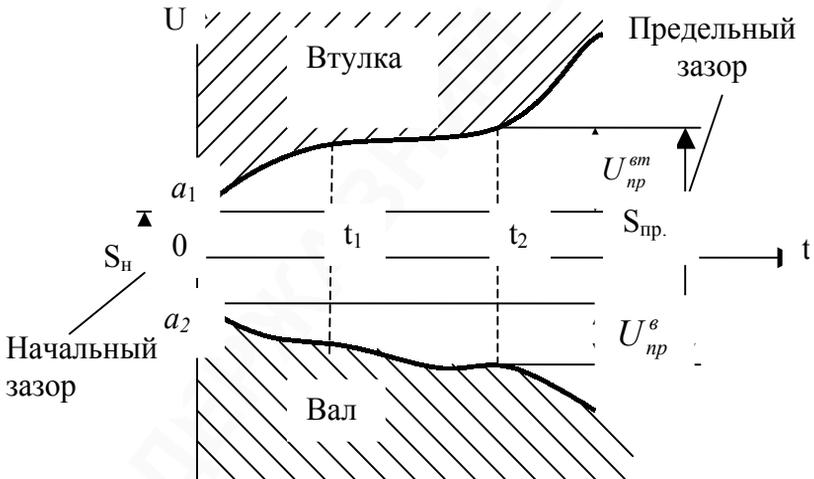


Рисунок 2.4 – Характеристика износа: $0a_1$ – среднее отклонение диаметра отверстия; $0a_2$ – отклонение диаметра вала; a_1a_2 – первоначальный зазор

На участке $0t_1$ (рис.2.4) происходит приработка сопряжения; на участке t_1t_2 – работа его в нормальных условиях; на участке $t > t_2$ – величина износа сопряжения резко возрастает.

Деталь станет непригодной, если износ ее достигнет значения, изображенного отрезками $U_{пр}^{em}$ (для втулки) и $U_{пр}^e$ (для вала).

Отрезок $0-t_2$ выражает предел времени работы данного

сопряжения, а $U_{np}^{вт}$ и U_{np}^e – предельные износы.

Время работы детали до предельного состояния $T_{сп}$ (списания) определяют по формуле

$$T_{сп} = \frac{U}{v_c}, \quad (2.4)$$

где $U_{пр}$ – предельный износ; v_c – скорость изнашивания сопряжения, $v_c = v_{свт} + v_{св}$.

Определим допустимый износ

$$U_{доп} = U_{пред} - vT_1, \quad (2.5)$$

где T_1 – время межремонтной наработки

Рассмотрим рис.2.5.

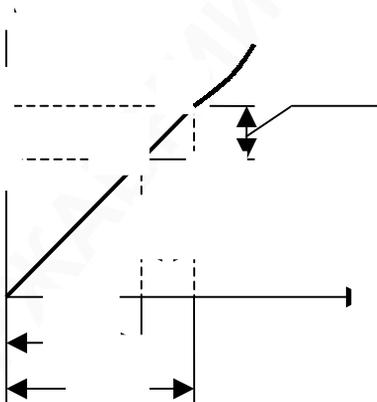


Рисунок 2.5 – Допустимый износ детали: $T_1 = T_{мр}$ – межремонтная наработка; T_p – наработка детали до ремонта

Предельный износ

$$U_{пред} = U_{доп} + vT_1. \quad (2.6)$$

Из рисунка 2.5 определяем

$$v = \frac{U_{доп}}{T_p}, \quad (2.7)$$

$$U_{np} = U_{\text{дон}} \left(1 + \frac{T_1}{T_p} \right), \quad U_{\text{дон}} = \frac{U_{\text{пред}}}{1 + \frac{T_1}{T_p}}, \quad (2.8)$$

где $T_p = KT_1$; K – количество периодических ремонтов от последнего капитального ремонта.

Допустимый износ

$$U_{\text{дон}} = \frac{U_{\text{пред}}}{1 + \frac{T_1}{KT_1}} \quad (2.9)$$

или

$$U_{\text{дон}} = \frac{K}{K+1} U_{\text{пред}}. \quad (2.10)$$

Пример. Предельный износ детали $U_{\text{пр}} = 0,1$ мм. Определить необходимость восстановления детали, если при 3-м периодическом ремонте ее износ оказался 0,08 мм.

Решение. Определяем допустимый износ

$$U_{\text{дон}} = \frac{K}{K+1} U_{\text{пред}},$$

$$U_{\text{дон}} = \frac{3}{3+1} \cdot 0,1 = 0,075 \text{ мм.}$$

Следовательно, деталь необходимо восстанавливать, так как $U_{\text{дон}} = 0,075$ мм меньше фактического износа $U = 0,08$ мм.

2.4 Методы измерения износа деталей. Основные факторы, влияющие на износ деталей

К основным методам измерения относятся:

- 1 **Метод микрометрического замера** – определение износа при помощи измерительных приборов перед началом и в процессе работы. Метод трудоемок, т.к. требует разборки и сборки узлов машины, и допускает некоторые погрешности.
- 2 **Метод взвешивания деталей** до испытаний и после. Определяет суммарный износ металла. Недостаток – косвенное определение износа.

- 3 **Метод обнаружения металла в отработанном масле.** Дает возможность установить суммарный износ деталей, узлов при отборе масла. Недостаток – невозможность установления линейного износа отдельных деталей.
- 4 **Метод меченых атомов.** Используется для определения суммарного износа. На поверхность детали вводят радиоактивное вещество, которое удаляется вместе с продуктами износа основного металла. Метод чувствительный, но более опасен.
- 5 **Метод искусственных баз.** На изнашиваемой поверхности делают лунку, размеры которой измеряют до и после испытаний. Разность размеров характеризует величину линейного износа. Этот метод точнее микрометрического.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на износ:

- 1 **Качество обрабатываемых поверхностей.** Шлифовка, полировка, обкатка роликами, выглаживание шариками и другие механические операции значительно увеличивают усталостную прочность и износостойкость деталей машин.
- 2 **Качество металла.** Износостойкость углеродистых сталей зависит от содержания углерода и наличия присадок. Присадки хрома, никеля, молибдена и других элементов, вступающих в химическое соединение с углеродом, значительно повышают твердость стали. Износостойкость чугуна повышают включениями графита, кремния, марганца, никеля, хрома и других элементов. Кроме того, для повышения твердости и износостойкости деталей применяют цементацию, азотирование, хромирование, наварку и наплавку различных твердых сплавов.
- 3 **Качество смазочных материалов.** Наличие смазки и ее качество влияют на характер трения и, как следствие, на износ деталей.
- 4 **Относительная скорость движения и удельное давление.** При всех прочих равных условиях износ деталей зависит от относительной скорости перемещения трущихся

поверхностей и удельного давления. Чем больше скорость, тем больше путь, пройденный телом, а следовательно, и больший износ. Интенсивность износа возрастает и с увеличением давления.

3 ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

3.1 Проблема надежности машин. Понятия надежности

Повышение надежности – важная народнохозяйственная задача. Надежность необходима для повышения уровня автоматизации, уменьшения затрат на ремонт, обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Раньше эта проблема решалась путем проектирования оборудования с высоким запасом прочности. Это приводило к завышенной металлоемкости машин. В настоящее время используются несколько иные пути повышения надежности. Это анализ условий эксплуатации машин, их неисправностей, причин возникновения и разработка на основе этого анализа мероприятий по созданию надежных машин в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации.

Рассмотрим основные понятия надежности.

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах.

Надежность является комплексным свойством. В зависимости от назначения объекта (машины) и условий его эксплуатации она включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость (рис.3.1).



Рисунок 3.1 – Структура надежности

Безотказность – свойство машины сохранять работоспособность в течение установленной наработки.

Долговечность – свойство машины сохранять работоспособность до наступления предельного состояния.

Ремонтопригодность – свойство машины, заключающееся в приспособленности ее к предупреждению и обнаружению отказа, а также удобству ремонта.

Сохраняемость – свойство машины сохранять исправное состояние в процессе хранения и транспортирования.

В теории надежности применяются следующие обобщенные понятия:

- а) **объект** – предмет определенного целевого назначения;
- б) **изделие** – единица продукции, выпускаемая предприятием;
- в) **элемент** – простейшая составная часть изделия;
- г) **система** – совокупность совместно действующих объектов, предназначенных для самостоятельного выполнения заданных функций.

3.2 Отказы машин и их причины

Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной потере работоспособности машины.

По виду отказы бывают параметрические и функциональные.

- 1 *Параметрические* – отказы, обусловленные выходом какого-либо параметра за пределы допустимой величины.
- 2 *Функциональные* – отказы, вызванные нарушением функционирования машины или ее элемента (разрушение элементов конструкции, обрыв электрической цепи, заклинивание поршня и др.).

По характеру процесса отказы делят на постепенные и внезапные (рис.3.2).

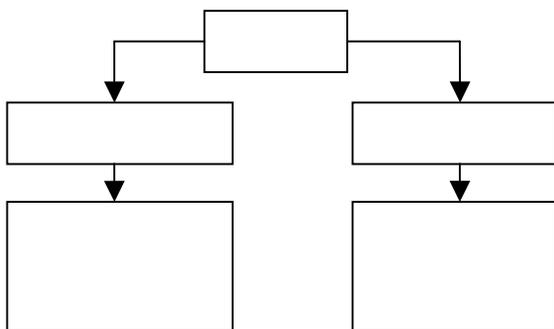


Рисунок 3.2 – Отказы машин

Отказ, которому предшествует постепенное изменение какого-либо параметра, называется постепенным. Отказ, возникновение которого зависит от случайных факторов, называется внезапным.

Причины отказов:

- а) пластическая деформация под действием силовых нагрузок;
- б) усталость материалов (вала, пружины и т.д.);
- в) коррозионное разрушение;
- г) изнашивание поверхностей трения.

3.3 Математические основы расчета надежности

Все характеристики надежности являются случайными величинами. При их расчете используется аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Одной из основных характеристик надежности является отказ – случайное событие.

Событие – качественный или количественный результат опыта.

Вероятность события A – численная мера степени возможности события - определяется по формуле

$$P(A) = \frac{n}{N}, \quad (3.1)$$

где n – число случаев, благоприятствующих наступлению события A ;

N – общее число случаев.

При определении вероятностей сложных событий пользуются правилами сложения и умножения вероятностей.

1 **Теорема сложения вероятностей.** Вероятность появления одного из 2 несовместимых событий:

$$P(A \text{ или } B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B). \quad (3.2)$$

2 **Теорема умножения вероятностей.** Вероятность совместного появления 2 независимых событий:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B). \quad (3.3)$$

Пример. Вероятность щелевого уплотнения $P_1 = 0,98$, сальникового $P_2 = 0,90$. Определить вероятность безотказной работы уплотнительной системы вала.

Решение. В этом случае вероятность безотказной работы уплотнительной системы вала согласно формуле умножения вероятностей

$$P_B = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,98 + 0,9 - 0,98 \cdot 0,9 = 0,998.$$

3.4 Основные показатели надежности

Показатели надежности используются для оценки состояния машины. Рассмотрим основные из них.

1 Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \frac{N_p}{N} = \frac{N - n}{N}, \quad (3.4)$$

где N – общее число машин;

N_p – число работоспособных машин;

n – число отказов.

2 Вероятность отказа

$$Q(t) = \frac{n}{N}. \quad (3.5)$$

$P(t) + Q(t) = 1$, т.к. безотказная работа и отказ взаимно противоположные события.

3 Плотность распределения наработки до отказа

$$f(t) = \frac{n}{N\Delta t}, \quad (3.6)$$

где n – число отказов в интервале Δt .

4 Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{n}{N_p \Delta t}, \quad (3.7)$$

$$\text{или } \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3.8)$$

5 Параметр потока отказов

$$\omega(t) = \frac{1}{t_{cp}} = \frac{n}{\sum t_i}. \quad (3.9)$$

3.5 Законы распределения случайных величин

Основной задачей теории надежности является математическое описание закона распределения показателей надежности, которые используются для прогнозирования надежности машин, в частности для оценки вероятности возникновения отказа.

Показатели надежности машин можно описать одним из следующих законов: экспоненциальным, нормальным и Вейбулла:

1 Экспоненциальный закон

Этому закону подчиняется наработка до отказа невосстанавливаемых изделий и машин в период после окончания приработки и до появления постоянных отказов. Для этого закона интенсивность отказа постоянна

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.}$$

Основные характеристики надежности для этого закона имеют вид:

а) вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (3.10)$$

б) интенсивность отказа

$$\lambda = \text{const}; \quad (3.11)$$

в) плотность вероятности отказа

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3.12)$$

Графическое изменение характеристик надежности показано на рис.3.3.

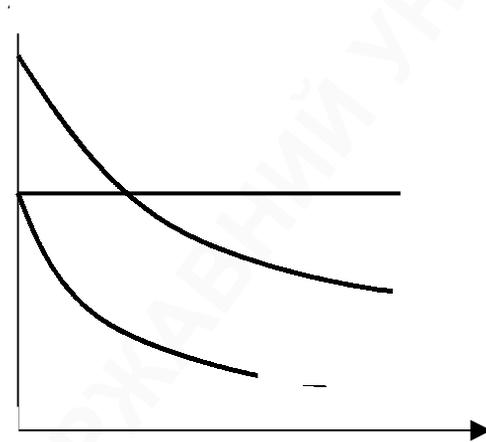


Рисунок 3.3 – Экспоненциальный закон распределения случайных величин

2 Нормальный закон

Характеризует показатели надежности в период появления постепенных отказов.

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (3.13)$$

Интеграл функции распределения $F(t)$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt. \quad (3.14)$$

Плотность распределения вероятности $f(t)$

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2S^2}}, \quad (3.15)$$

где S – среднеквадратическое отклонение;

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_i - t_{cp})^2}. \quad (3.16)$$

Для вычисления интеграла используют подстановку – квантиль нормального распределения:

$$U_p = \frac{t - t_{cp}}{S}. \quad (3.17)$$

Зависимости $P(t)$, $f(t)$ и $\lambda(t)$ показаны на рис.3.4.

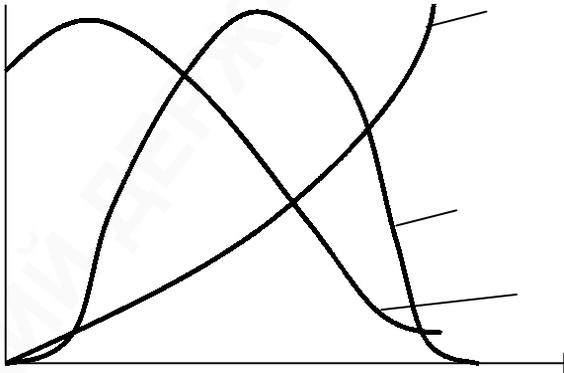


Рисунок 3.4 – Нормальный закон распределения случайных величин

3 Распределение Вейбулла

Это универсальный закон. Им описывают наработку на отказ подшипников, деталей гидромашин, автомобилей и других машин.

Характеристики надежности для этого закона:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (3.18)$$

где a и b – параметры Вейбулла;

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}; \quad (3.19)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}. \quad (3.20)$$

4 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ МАШИН

4.1 Понятия технической эксплуатации машин

Техническая эксплуатация – комплекс технических, экономических, организационных и других мероприятий, обеспечивающих поддержание машин в исправном состоянии.

Техническая эксплуатация включает: обкатку, техническое обслуживание, хранение, технический осмотр, диагностику машин и предупреждение или устранение неисправностей, то есть неплановый ремонт.

Машина в процессе эксплуатации должна обеспечивать непрерывный технологический процесс и соответствовать требованиям надежности и безопасности

Персонал, обслуживающий оборудование, должен иметь соответствующую квалификацию, удостоверение на право обслуживания, знать и точно выполнять правила технической эксплуатации и технической безопасности.

Эксплуатация оборудования должна проводиться в соответствии с инструкцией или паспортом машины.

Основные правила технической эксплуатации оборудования изложены в документе: «Единая система планово-предупредительных ремонтов и рациональной эксплуатации оборудования машиностроительных предприятий». В нем указываются требования по транспортированию, хранению, монтажу оборудования, фундаментам, а также требования к устройству производственных помещений (закрытое или открытое помещение, его вентиляция, отопление, освещение и т.п.)

Особые требования при эксплуатации машин предъявляются к устройству помещений. Длительное сохранение первоначальных технических показателей оборудования (станки, насосы, турбины и др.) возможно только при установке его в закрытых отапливаемых помещениях, обеспечивающих защиту от атмосферных осадков, запыления воздуха, при поддержании температуры в установленных пределах.

4.2 Общие принципы монтажа

В зависимости от сложности оборудования монтаж может выполнять специализированная монтажная организация или ремонтно-механическая служба предприятия.

Для выполнения монтажных работ разрабатываются:

- а) техническая схема монтажа;
- б) проект производства монтажных работ (ППР).

К монтажным работам относятся: приемка и распаковка оборудования, транспортировка к месту установки, такелажные работы.

Перед монтажом необходимо:

- а) получить от заказчика техническую документацию;
- б) соорудить фундаменты под оборудование;
- в) организовать подсобные помещения для хранения инструмента и монтажного оборудования;
- г) обеспечить участок электроэнергией, водой, сжатым воздухом, инструментом, материалами и др.

Проект производства монтажных работ (ППР) включает:

- а) график выполнения монтажных работ (время и последовательность отдельных операций);
- б) технологический процесс (схему) монтажных работ;
- в) перечень средств механизации и монтажных механизмов;
- г) ведомость готовых изделий, деталей, материалов;
- д) пояснительную записку с указанием мероприятий по обеспечению безопасности при монтаже;
- е) калькуляцию стоимости выполнения работ.

4.3 Установка оборудования на фундаменты

Фундамент служит опорой для машин и передает нагрузки от них на грунт. Размер его определяется габаритами, формой и массой машины.

Кроме фундамента, оборудование может устанавливаться на специальных *виброизолирующих опорах*.

Фундаменты выполняются по строительным чертежам, в которых указывают присоединительные размеры машин.

Фундаментные болты могут непосредственно заливаться в бетон или устанавливаться в колодцы (фундаментные скважины).

4.4 Такелажные работы

Разгрузочно-погрузочные работы при монтаже проводятся с помощью подъемно-транспортного оборудования и специальной оснастки.

Грузоподъемные устройства: мостовые краны, передвижные автомобильные краны, лебедки, тали, домкраты.

Такелажная оснастка: стальные канаты, цепи, стропы, траверсы.

Стропы – отрезки канатов или цепей длиной от 5 до 15 м.

На рис.4.1 показаны образцы такелажной оснастки.

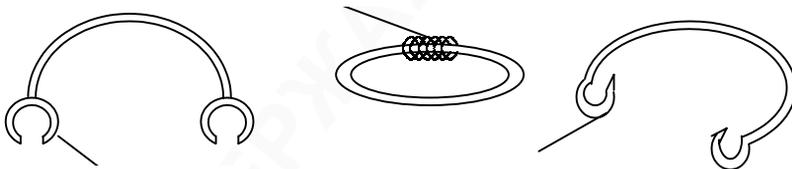


Рисунок 4.1 – Такелажная оснастка

Канатные и цепные стропы изготавливают в мастерских монтажных организаций или на ремонтных заводах.

Грузозахватные приспособления подлежат обязательному испытанию нагрузкой, которая должна в два раза превышать их номинальную грузоподъемность. На них должна быть закреплена металлическая бирка с указанием порядкового номера, грузоподъемности и даты испытания.

Способ подъема оборудования выбирают в зависимости от его массы и габаритов. Усилие в стропах при подъеме распределяется неравномерно и зависит от угла наклона их ветвей к горизонту (рис.4.2).

Канаты и цепи следует подбирать такой длины, чтобы угол между ветвями был $\leq 90^\circ$.

Тяжелые грузы следует поднимать в два приема: сначала на высоту 25-30 см, а затем, проверив правильность строповки, на нужную высоту.

Схему строповки машины указывают на монтажном чертеже. Пример строповки насосного агрегата показан на рис.4.3.

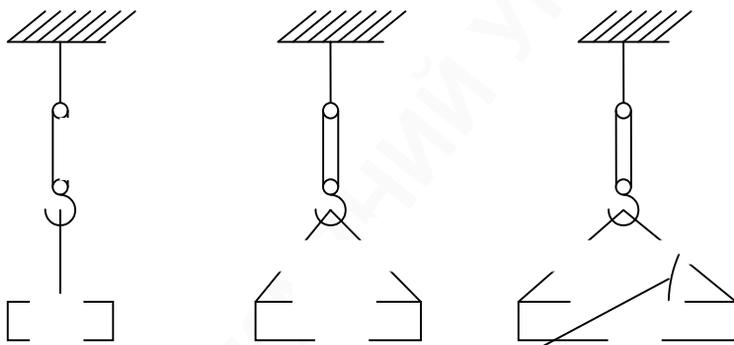


Рисунок 4.2 – Способы строповки груза

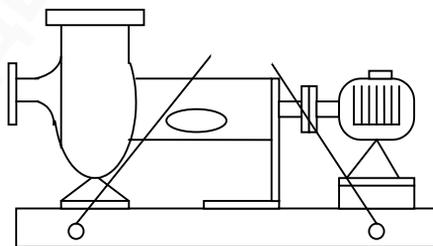


Рисунок 4.3 – Стropовка насосного агрегата

4.5 Эксплуатационная обкатка машин

Поступающие в эксплуатацию машины должны пройти *эксплуатационную обкатку* с целью приработки трущихся поверхностей и создания условий минимальной скорости изнашивания.

Обкатка выявляет скрытые дефекты изготовления и монтажа машин, оценивает качество монтажных работ в целом. При этом создаются наиболее благоприятные условия для эксплуатации.

При **обкатке** необходимо придерживаться следующего правила: обеспечить постепенное возрастание нагрузки (X–X, 25%, 50%, 75%, 100% номинальной нагрузки). После обкатки проводится технический осмотр. При этом проверяют затяжку болтовых соединений, правильность регулировок рабочих узлов машин и др.

Обязательным документом, прилагаемым к изготовленной машине, является **инструкция (паспорт)** по ее эксплуатации.

Паспорт содержит:

- 1 Описание машины и ее технических характеристик (указываются предназначение машины, ее климатическое исполнение, категория размещения, дается расшифровка условного обозначения).
- 2 Устройство и принцип работы.
- 3 Указание мер безопасности.
- 4 Рекомендации по подготовке к работе (монтаж, пуск, опробование, регулирование, время обкатки).
- 5 Порядок работы.
- 6 Рекомендации по техническому обслуживанию.
- 7 Свидетельство о приеме (оформляется после проведения приемочных испытаний, подписывается ОТК, ставится дата).
- 8 Сведения о рекламациях, консервации, упаковке, транспортировке и хранении.

4.6 Влияние условий эксплуатации на техническое состояние машины

На условия эксплуатации машин оказывают влияние ряд внешних и внутренних факторов.

Внешние факторы:

1 Климатические условия:

а) **запыленность воздуха** - наблюдается в пределах от $0,05 \text{ г/м}^3$ (легкие условия) до 1 г/м^3 (тяжелые условия); при этом частицы пыли проникают в смазку, увеличивается трение и происходит износ деталей машин;

б) **понижение температуры** - при минусовой температуре возникают механическое сопротивление, трение и износ деталей. При повышении температуры свыше 40°C происходит перегрев охлаждающей жидкости, уменьшение вязкости смазывающих материалов и толщины смазывающего слоя, возникают задиры;

в) **повышенная влажность** - приводит к увеличению коррозии деталей;

г) **солнечная радиация** - вызывает химическое разложение материалов (резины, пластмассы, краски и др.);

д) **физико-химические свойства** почвы - повышенная кислотность влияет на износ ходовых частей транспортных машин.

2 Уровень технического обслуживания и ремонта

Несвоевременное регулирование, замена смазывающих материалов, изношенных деталей, некачественный ремонт повышают *износ*, вибрацию и в конечном итоге *уменьшают ресурс машины*.

Внутренние факторы:

а) уровень проектирования машины влияет на ее надежность и эффективность работы;

б) качество изготовления влияет аналогично.

5 СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИН

5.1 Основные положения планово-предупредительной системы обслуживания машин

Типовой (единой) системой технического обслуживания и ремонта называется совокупность взаимосвязанных положений и норм, определяющих организацию и выполнение работ по обслуживанию и ремонту оборудования с целью сохранения заданных параметров машины.

Работы, которые регламентированы системой, разделяются на несколько видов.

- 1 **Техническое обслуживание** – поддержание работоспособности оборудования.
- 2 **Ремонт** – поддержание и восстановление работоспособности (ремонт – это принудительная замена деталей машины).
- 3 **Ежесменное поддержание чистоты** оборудования.
- 4 **Смазка.** Производится по карте смазки через время, установленное техдокументацией.
- 5 **Промывка** механизмов и смазочной системы с заменой смазывающих материалов.
- 6 **Периодическая очистка от пыли** – операция технического обслуживания электрических частей машин.
- 7 **Регулирование механизмов, устройств,** обтяжка крепежных деталей и т. п.
- 8 **Проверка геометрической и технологической точности** (предотвращение брака изделий).
- 9 **Профилактическое испытание** электрического оборудования и электрических устройств.
- 10 **Консервация бездействующего оборудования** (защита его от коррозии).

Плановость системы обуславливается тем, что машину ставят на ремонт и техническое обслуживание в плановом порядке.

Предупредительность заключается в том, что все операции выполняют предупредительно (до появления отказа).

5.2 Виды технического обслуживания

Длительное сохранение оборудованием работоспособности и сведение к минимуму затрат на ее поддержание и восстановление требует рациональной организации его эксплуатации и обязательного выполнения комплекса работ по его техническому обслуживанию. Обслуживание машин осуществляет служба главного механика.

К основным видам работ, входящим в состав планового и непланового технического обслуживания, относятся:

- 1 **Плановый осмотр** – проверка всех узлов машин и накопление информации об их износе. Проводится визуально или при помощи средств технического контроля без разборки узлов машин. При осмотре может производиться устранение мелких неисправностей (зачистка забоин, заварка трещин, регулирование и т.п.).
- 2 **Ежесменный и периодический осмотр** – выявление изменений состояния отдельных узлов и деталей машин. Выполняется каждую рабочую смену или через определенное число часов наработки в объеме, предусмотренном картой планового технического обслуживания, без остановки машины. По результатам осмотра может производиться устранение неисправностей.
- 3 **Ежесменное поддержание чистоты оборудования.** Выполняется с целью предотвращения ускоренного изнашивания открытых поверхностей оборудования и защиты обслуживающего персонала от травмирования.

Примечание. Более полное содержание по каждому виду технического обслуживания приведено в Единой системе технического обслуживания

5.3 Смазка машин

Смазка трущихся поверхностей – одна из основных мер борьбы с износом.

Смазка хорошо отводит тепло, уносит абразивные частицы и предохраняет детали от коррозии.

Современные смазочные материалы по своему составу и виду исходного сырья подразделяются на минеральные, растительные, животные и синтетические.

Наиболее широко применяют *минеральные смазочные материалы*. По физическому состоянию их разделяют на:

- смазочные масла;
- пластичные смазки;
- твердые смазки.

Смазочные масла – жидкости, характеризующиеся значительной вязкостью.

Пластические смазки – мазеподобные вещества.

Твердые смазки – твердые вещества.

5.3.1 Минеральные масла

Минеральные масла – это продукты перегонки мазута. Масла подразделяются на индустриальные, трансмиссионные, компрессорные, турбинные и др.

Основное их отличие состоит в различии вязкости масел, которая изменяется в пределах $\nu = (10-60) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

В насосах наиболее широко применяются индустриальные масла У–40А, У–50А, а также турбинное масло.

5.3.2 Пластичные смазки

Пластичные смазки изготовляют из очищенных масел, загущая их мылом и синтетическими веществами. Видов смазок очень много. Наиболее широко применяется солидол (синтетический или животный) УС–1, УС–2 (У – универсальный, С – средней плавкости).

В насосах применяются смазки ЦИАТИМ – 221, Литол – 24 и др.

Пластичные смазки применяются также в открытых зубчатых передачах, подшипниках качения, тяжело нагруженных узлах.

5.3.3 Твердые смазки

Твердые смазки – это органические соединения: графит, сульфид, мыла, воски, жиры.

Кроме них, используются металлические твердые смазки.

Металлические твердые смазки – медь, свинец, олово. Используют их в виде покрытий и порошков.

В состав конструкторской документации, разрабатываемой заводом-изготовителем машин, входят и карты смазки.

Карта смазки – схема смазки в виде чертежа машины. Цифрами на ней обозначают места (точки) смазки, указывают вид смазочных материалов, способ и периодичность нанесения смазки.

При выборе смазки необходимо руководствоваться следующими **правилами**:

- а) для тихоходных и тяжело нагруженных машин необходимо применять более вязкие смазки;
- б) для малонагруженных и высокоскоростных узлов – смазки невысокой вязкости;
- в) узлы, работающие при повышенной температуре, должны смазываться более вязкими маслами.

5.3.4 Способы подачи смазки

Смазочные вещества подаются при помощи *ручных масленок* или *механических нагнетателей*.

Для ручной смазки применяют *масленки*.

Циркуляционная система смазки характеризуется тем, что масло подается из емкости насосом и циркулирует многократно. Применяется она для смазки подшипников, муфт, зубчатых колес, коробки скоростей токарного станка и др.

Кольцевая смазка осуществляется при помощи свободно сидящих на валу колец (рис.5.1).

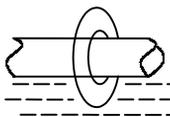


Рисунок 5.1 – Схема кольцевой смазки

Смазка масляным туманом применяется для высокооборотных сборочных единиц с подшипниками качения, пневматического инструмента и др. Капли масла при этом впрыскиваются в поток воздуха и распыляются, образуя туман с мельчайшими частицами масла.

Картерная смазка – осуществляется путем частичного погружения трущихся деталей в масло, которое находится в картере. При этом одна из деталей (шестерня) разбрызгивает его на остальные детали.

6 РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИН

6.1 Ремонт машин. Виды ремонтов

Рациональное техническое обслуживание замедляет процесс износа и сокращает количество отказов. Однако со временем наступает необходимость в ремонте машин.

По способу организации предусматривается два ремонта: *плановый и неплановый*.

Плановый – это ремонт, предусмотренный Единой системой технического обслуживания и ремонта и выполняемый через установленные нормами число часов.

Неплановый – это ремонт, который осуществляется в неплановом порядке.

Плановые ремонты:

- 1 **Текущий ремонт** – это ремонт, который выполняется для восстановления работоспособности машины (замена или восстановление отдельных ее частей).
- 2 **Средний ремонт** – это восстановление исправности машины и частичное восстановление ресурса (замена и восстановление деталей и отдельных узлов).
- 3 **Капитальный ремонт** – это восстановление исправности и полное восстановление ресурса машины.
- 4 **Аварийный ремонт** – это неплановый ремонт, вызванный дефектами конструкции или изготовления машины, а также нарушением правил технической эксплуатации.

При *текущем* ремонте машину частично разбирают, заменяют отдельные детали и узлы, собирают, регулируют и вновь испытывают.

При *капитальном ремонте* производят полную разборку машины с ревизией и заменой ее базовых элементов.

6.2 Структура ремонтного цикла

Ремонтный цикл – это повторяющаяся совокупность различных видов планового ремонта, которые выполняются в определенной последовательности.

Ремонтный цикл завершается капитальным ремонтом.

Структура ремонтного цикла – это перечень ремонтов, входящих в его состав, и расположенных в последовательности их выполнения.

Например (рис. 6.1):

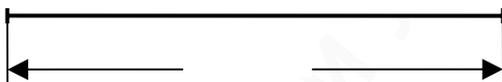


Рисунок 6.1 – Схема ремонтного цикла: ТР – текущий; СР – средний; КР – капитальный ремонт.

Продолжительность ремонтного цикла – это количество часов работы оборудования, на протяжении которых выполняются все ремонты, входящие в состав цикла. Простои оборудования, связанные с выполнением плановых и неплановых ремонтов и технического обслуживания, в продолжительность ремонтного цикла не входят.

Продолжительность ремонтного цикла изображают размерной линией между капитальными ремонтами с указанием продолжительности цикла в часах (см. рис.6.1).

Межремонтный период – это период между двумя последовательно выполняемыми плановыми ремонтами. Продолжительность периода равна продолжительности цикла, деленной на число внутрицикловых ремонтов плюс 1: в нашем случае внутренних ремонтов 5.

$$T_{\text{мр}} = 20000 : (5+1) = 3333 \text{ ч.}$$

6.3 Организация ремонтной службы на предприятии

Организация работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования возложена на отдел главного механика (ОГМ). Основная задача отдела – это обеспечение работоспособного состояния оборудования.

Отдел разрабатывает *месячные, квартальные и годовые планы* технического обслуживания и ремонта оборудования.

В ОГМ поступают *заявки на запасные части машин*.

В ОГМ входят технический аппарат отдела, ремонтно-механический цех и центральные складские помещения. Отдел руководит работой механиков цехов и ремонтными подразделениями завода.

Ремонт оборудования осуществляют специализированные ремонтные бригады.

6.4 Технологический процесс ремонта машин

Технологический процесс ремонта машин представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление работоспособности машин.

Технологический процесс подразделяется на ряд операций: разборка, контроль, восстановление деталей, сборка, регулировка, испытания. Передача оборудования в капитальный ремонт оформляется специальным актом.

Общая структура процесса ремонта машин:

- 1 Приемка в ремонт, наружная очистка, мойка машины.
- 2 Разборка машины на агрегаты, узлы, детали.
- 3 Мойка узлов и деталей.
- 4 Контроль и дефектация деталей.
- 5 Восстановление деталей.
- 6 Сборка, регулировка, обкатка и испытания узлов и машины в целом.
- 7 Окраска и сдача отремонтированной машины.

6.5 Способы восстановления деталей машин

Технология ремонта располагает различными способами восстановления деталей.

Способ восстановления детали зависит от ее дефекта.

Изношенные детали восстанавливаются *следующими способами*:

1 **Механическим способом.** Существуют два вида восстановления:

- методом ремонтных размеров;
- методом номинальных размеров.

Деталь восстанавливают давлением (обжатие, вытяжка, правка, накатка, наклеп и др.).

2 Восстановление **сваркой и наплавкой.** При этом применяются электродуговая, газовая, автоматическая сварка, наплавка под слоем флюса и др. Сваркой устраняют трещины, пробоины, разрывы, наплавляют изношенные поверхности деталей и пр.

3 Восстановление **деталей металлизацией.** Это распыление металла сжатым воздухом на заранее подготовленную поверхность детали (при этом наносится металлическое покрытие). На детали из стали и чугуна возможно нанести практически любой металл.

4 **Электролитический способ** – это гальванические покрытия. Сюда относят хромирование, железнение, оцинкование, омеднение. Проводятся они с целью упрочнения поверхности деталей. Покрытие проводится в специальных ваннах с электролитом. Гальванические покрытия широко применяют при восстановлении деталей, имеющих малый износ.

5 **Ремонт полимерными материалами.** Применяется для заделки раковин, трещин, вмятин, восстановления изношенных деталей и т.п. Использование полимерных материалов объясняется их высокой механической прочностью, износостойкостью, низким коэффициентом трения, маслостойкостью и другими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельберг Б.Т., Пекелис Г.Д. Ремонт промышленного оборудования. – М.: Высшая школа, 1981. – 256с.
2. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надёжность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение, 1990. – 248с.
3. Решетов Д.Н. Надёжность машин: Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 238с.
4. Колев К.С., Ягупов А.В., Вискребенец А.С. Надёжность, ремонт и монтаж технологического оборудования заводов цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1984. – 224с.