

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

Краткий курс лекций
по дисциплине

"

"

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1

Машина как объект эксплуатации и обслуживания.

Промышленное оборудование, его структура и классификация 4

Лекция 2

Силы, действующие на машину. Основные свойства машин:

надежность, безотказность, долговечность и др. 11

Лекция 3

Износостойкость деталей и сборочных единиц 16

Лекция 4

Смазывание машин 27

Лекция 5

Основные виды работ ТО 32

Лекция 6

Понятия о надежности машин 39

Лекция 7

Технологический процесс и основные операции ремонта машин ... 49

Лекция 8

Технологические методы ремонта (восстановления) деталей машин, упрочнения и повышения их износостойкости при ремонте 52

Литература 55

Лекция 1

Машина как объект эксплуатации и обслуживания. Промышленное оборудование, его структура и классификация

Эффективность создания любых видов машин зависит от уровня технологической среды производителя, под которой понимается оптимальная совокупность высоких технологий, прогрессивного технологического оборудования, инструмента, оснастки, систем автоматического проектирования и управления, организации производства. Состояние технологической среды определяет уровень развития машиностроения в целом. Технологическая среда занимает центральное место в методологии процесса создания машин, основанной на систематическом подходе и позволяющей анализировать в единстве все аспекты, связанные с разборкой и использованием машины. Представим следующую схему: возникает потребность в какой-либо машине (например, автомобиле). Вначале осуществляется разработка концепции и технологического задания на автомобиль. Затем следующие этапы: конструирование и технологическая подготовка производства машины. Для реализации техпроцессов изготовления деталей и сборки машин необходимы средства технологического оснащения, оборудование, инструмент, оснастка. Может оказаться, что существующие средства технологического оснащения либо недостаточно эффективны, либо не могут обеспечить изготовление деталей и сборку узлов требуемого качества. В этом случае необходимо создать новые станки, этапы разработки которых связаны с созданием самой машины: с разработкой техзадания, конструированием, проектированием техпроцессов. Последующие этапы: изготовление, контроль качества, испытание станков, окраска, упаковка и поставка потребителю.

После поставки станков потребителю организуется производственный процесс изготовления машины, затем машина поступает на рынок.

На схеме (рис. 1) отображены крупнейшие этапы процесса проектирования и изготовления машины и показаны только прямые потоки информации. В действительности процесс создания машины идет в итерационном режиме с возможностью возвращения на предыдущие этапы, корректировкой результатов с целью выбора оптимального решения.

Анализируя схему создания машины, можно отметить, что главной физической сущностью технологической среды является реализация технологического процесса, основу которого составляет станок как технологическая машина.



Любая технологическая среда реализуется теми или иными методами процесса изготовления деталей и сборки узлов по попадающей на вход системы информации о требуемых параметрах качества и востребованного количества посредством использования основных элементов: технологии, станков, инструментов, приспособлений.

Технологическая среда, исходя из системных позиций, есть производная от рынка востребованных конкурентоспособных машин, а станок является основой машинной технологической среды.

Производственным процессом в машиностроении называется совокупность всех этапов, которые проходят полуфабрикаты на пути их превращения в готовую машину. Производственный процесс машиностроительного завода включает в себя: получение заготовок, различные виды их обработки (металлургическую, химическую, термическую и др.), контроль качества, транспортирование, хранение на

складах, сборку машины, испытание, регулировку, окраску, отделку и упаковку [4].

Под жизненным циклом станка понимают интервал времени от момента осознания потребности в станке вследствие произведенных маркетинговых исследований до момента окончания его эксплуатации у потребителя [5].

Жизненный цикл разбивается на ряд этапов, на каждом из которых решаются свои специфические задачи в общем процессе создания станка. Этапы могут частично перекрываться во времени, что позволяет сократить сроки создания станка. 1) маркетинг, 2) формулирование служебного назначения, 3) разработка концепции и технического задания, 4) конструирование, 5) технологическая подготовка производства, 6) изготовление, 7) контроль качества и испытание, 8) подготовка к транспортировке, упаковка и транспортировка к потребителю, 9) эксплуатация, 10) утилизация.

Важным условием для успешной работы предприятия на рынке является длительность цикла создания станка, т.е. период времени от этапа уточнения служебного назначения до выпуска готового станка.

Цикл создания любого станка, как правило, не должен превышать 1...1,5 года, в противном случае все затраты на создание нового станка могут не окупить себя по причине быстрого морального старения и возможного изменения конъюнктуры рынка (следует внедрять САПР, АСТПП, автоматизированный контроль качества, совмещение во времени этапов создания станка):

- а) маркетинг, от которого зависит коммерческий успех всего предприятия;
- б) формулировка служебного назначения станка должна содержать:
 - исчерпывающие данные о назначении – вид, размеры, вес, точность, материал изготавливаемых на станке деталей;
 - требования к производительности, надежности и мощности;
 - условия, при которых станок будет работать (влажность, температура);
 - эргономические, экологические и др. характеристики;
- в) на этапе разработки концепции и ТЗ на станок устанавливаются технологические требования и нормы точности, а также основные экологические характеристики, прежде всего цена реализации. Разработка ТЗ ответственный этап – наибольшие трудности возникают при переходе параметров служебного назначения к технологическим требованиям, нормам точности и экологическим характеристикам;
- г) конструирование станка должно обеспечить
 - передовой уровень разработки;
 - короткие сроки разработки и освоения в производстве за счет совмещения во времени конструирования и техноло-

- гической подготовки, опережающего запуска в производство базовых деталей и деталей с длительным циклом изготовления, передачи в производство, не дожидаясь окончания проекта;
- высокие качества проекта на основе заинтересованности и ответственности разработки (а не подписей и согласований);
 - технологичность деталей – основное требование к конструкции: минимум размеров, видов и форм обрабатываемых поверхностей (их стандартизация и унификация); сведение к минимуму ручных нагрузок на основе расчета конструкторских и технологических размерных цепей;
 - взаимообусловленность технологии изготовления деталей и сборки станка под конкретное производство.
- д) проектирование технологических процессов и организация изготовления должны обеспечивать:
- все обусловленные требования конструктора по показателям качества;
 - высокую производительность, гибкость, короткие сроки изготовления с ориентацией обработки резанием на станке с ЧПУ и ОЦ;
 - применение переналаживающих нормализованных количеств режущего, вспомогательного инструмента, оснастки (по возможности);
 - минимальный бумажный объем технологической документации, включающий маршрутный техпроцесс, управляющие программы для средств с ЧПУ, шифры специальной оснастки и специнструмента;
- з) контроль качества и испытания станка во многом зависят от метрологического оснащения рабочих мест и измерительных лабораторий, а также от методов и средств контроля и испытания станков в соответствии с международными стандартами;
- и) окраска и установка являются завершающими этапами производственного процесса, качество выполнения которых оказывает определяющее влияние на внешнюю привлекательность станка. Упаковка выполняется в зависимости от способа транспортировки. Наиболее высокие требования к упаковке предъявляются в случае морской транспортировки;
- л) привлекательность приобретения станка заказчиком будет выше, если организовать его сервис в процессе эксплуатации, причем, как правило, в первый год работы станка обслуживание производится бесплатно по гарантийным обязательствам (О утилизации).

Классифицируются объекты на основе норм "Типовой системы технологического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования". На другие виды оборудования, эксплуа-

тируемого машиностроительными предприятиями, положения "Типовой системы..." могут быть распространены только после тщательного анализа.

Металло- и деревообрабатывающее оборудование по *технологическому назначению* разделяют на следующие виды:

- 1) металлургические станки;
- 2) кузнечно-прессовое оборудование;
- 3) деревообрабатывающее оборудование;
- 4) литейное оборудование.

Для каждого из видов установлены свои параметры типовой системы (продолжительность и структура ремонтных циклов и т.п.), соответствующие специфике их эксплуатации.

Каждый из видов оборудования по тому же признаку (технологическому назначению) разделяют на группы, а группы, в соответствии с конструктивным исполнением, – на типы и типоразмеры.

Например: металлорежущие станки токарные (группа) разделяют на токарно-револьверные, токарно-карусельные и т.д.

Кузнечно-прессовое оборудование разделяют на следующие группы: а) молоты; б) прессы; в) ножницы; г) термопластавтоматы; д) автоматы кузнечно-прессовые; е) ротационно-ковочные машины; ж) гибочные машины; з) правильные машины.

Такая классификация необходима, поскольку каждой группе и типу оборудования присущи свои ремонтные особенности, определить которые можно только на основе выявления их конструктивных особенностей.

Масса оборудования – один из существенных параметров, влияющих на трудоемкость его ремонта.

При измерении массы оборудования существенно соотношение затрат в труде и материалов на ремонт.

В зависимости от массы оборудования все виды делят на категории:

- 1) легкая – до 1 тонны;
- 2) средняя – до 10 тонны;
- 3) крупная – до 30 тонны;
- 4) тяжелая – до 100 тонны;
- 5) уникальная – св. 100 тонн.

Кроме того, оборудование массой до 5 т относится к транспортабельному, а оборудование свыше 5 т – к нетранспортабельному. Эти данные необходимы для организации систематизированного ремонта. Транспортабельное оборудование целесообразно доставлять на специализированные ремонтные заводы (СРЗ); в противном случае – ремонт экономически целесообразно производить выездными бригадами.

По степени автоматизации все виды оборудования делят на разновидности:

- 1) станок (машина) с ручным управлением – так называют оборудование, которое для выполнения каждого отдельного (рабочего или холостого) движения, из которых складывается рабочий цикл, нуждается хотя бы в команде рабочего;
- 2) полуавтомат – это станок (машина), выполняющий рабочий цикл автоматически и требующий вмешательства рабочего для первоначальной наладки, установки и закрепления заготовок, снятия обработанных деталей и команд на повторение рабочего цикла обработки;
- 3) автомат – это станок (машина), выполняющий все рабочие и холостые движения рабочего цикла (включая снятие обработанных деталей, установку и закрепление новых заготовок) и нуждающийся лишь в наладке;
- 4) станок (машина) с программным управлением (ЧПУ, ЦПУ) – это полуавтомат или автомат, управление которым производится по заранее составленной или легко заменяющейся программе.

Полуавтомат может быть превращен в автомат с помощью разных средств автоматизации, например: ПР или манипулятора с ПУ, предназначенного для установки и закрепления заготовок, снятия обработанных деталей и подачи команд на повторение цикла обработки.

Автоматы могут быть соединены в автоматические линии. Автоматическая линия – это комплекс станков (машин), соединенных транспортной системой и системами электро-, гидро- и пневматики.

Классификация по степени автоматизации имеет большое значение для рациональной организации технологического обслуживания и ремонта оборудования.

В зависимости от точностной характеристики оборудование подразделяют на пять классов точности:

- 1 Нормальной точности – Н.
- 2 Повышенной точности – П.
- 3 Высокой точности – В.
- 4 Особо высокой точности – А.
- 5 Особой точности – С.

подавляющая часть кузнечно-прессового, деревообрабатывающего и литейного оборудования относится к классу Н и очень небольшая часть – к классу П.

Большая часть металлургических станков также относится к классу Н.

Оборудование классов П, В, А, С носит общее название – прецизионного.

Станки повышенной точности изготавливаются на базе станков нормальной точности и отличаются от них, в основном, более точным выполнением или подбором отдельных деталей, а также монтажа и эксплуатации у потребителя. Они обеспечивают точность обработки в среднем в пределах 0,6 отклонений, получаемых на станках нормальной точности. Станки высокой и особо высокой точности предназначены для более точной обработки, по сравнению со станками классов Н и П, что достигается специальными конструктивными особенностями отдельных элементов и высокой точностью их изготовления.

Станки класса В обеспечивают точность обработки в пределах 0,4, а класса А в пределах 0,25 отклонений, получаемых на станках нормальной точности.

Станки особой точности (С) предназначены для достижения повышенной точности и применяются для окончательной обработки деталей типа делительных колес и дисков, эталонных колес, измерительных винтов и т.д. Допускаемые отклонения на этих станках не превышают 0,16 от регламентированных для Н. Классификация по точности необходима для ужесточения требований к точности изготовления заменяемых деталей и сборки при ремонте станков классов В, А, и С, а также для правильной оценки трудоемкости их ремонта (при определении категории ремонтосложности).

К эксплуатации станков высоких классов точности предъявляются специальные более жесткие требования.

Металлорежущие станки классифицируют также по уровню специализации на пять подвидов:

- 1) *универсальные* – станки, предназначенные для выполнения различных операций на деталях широкой номенклатуры (токарно-винторезные, карусельные и т.п.);
- 2) *широкого назначения* – станки, предназначенные для выполнения ограниченного числа операций на деталях широкой номенклатуры (токарно-абразивные, многорезцовые и т.п.);
- 3) *специализированные* – станки, предназначенные для обработки деталей одного наименования различных размеров (коленчатых валов, муфт, шурупов и т.п.);
- 4) *специальные* – станки, предназначенные для обработки деталей одного наименования и размера;
- 5) *агрегатные* – специальные станки, состоящие из нормализованных взаимозаменяемых узлов.

Классификация по уровню специализации необходима для организации ремонта и технического обслуживания, поскольку с понижением уровня специализации (т.е. с увеличением универсальности) возрастает конструктивная сложность станков, а следовательно, и трудоемкость их ремонта и технического обслуживания (т.е. ремонтосложность).

Лекция 2

Силы, действующие на машину. Основные свойства машин: надежность, безотказность, долговечность и др.

Нагрузки действующие на детали машин можно разделить на полезные и собственные (вредные).

Полезные нагрузки используются для совершения производственного процесса. Собственные нагрузки неизбежно сопутствуют работе машины и в основном складываются из вредных динамических нагрузок и из местных, или кромочных, нагрузок, связанных с концентрацией нагрузки (давления) по поверхности контакта. Концентрация нагрузки отличается от концентрации напряжения тем, что она возникает на поверхности контакта.

Не все динамические нагрузки вредные. В машинах ударного действия (например молотах) и машинах вибрационного действия (в резонансных испытательных машинах и др.) динамические нагрузки используют для осуществления полезного производственного процесса.

По характеру измерения во времени нагрузки в машинах делятся на постоянные и переменные. *Постоянные нагрузки* – это в основном силы тяжести, нагрузки от начальной затяжки, от постоянного давления жидкости или газа. К ним же относят нагрузки, постоянные в течение длительного цикла работы, так как они вызывают разрушения того же характера.

Весовые нагрузки имеют основные значения в транспортных и подъемно-транспортных машинах, в установках для глубокого бурения. Они существенны также в машинах, имеющих тяжелые роторы с уравновешенными поперечными внешними силами.

Нагрузки от начальной затяжки могут достигать значительных величин и служить самостоятельной причиной отказов. Так, наблюдаются случаи надрыва болтов, особенно малого диаметра, при затяжке; повреждение ступиц при напрессовке с максимальными катетами; выдавливание ямок на дорожках качения подшипников и т.д.

Причины переменности нагрузок в машинах – неравномерность рабочего процесса машины – двигателя (например, в поршневых машинах простого действия обратный ход поршня холостой; индикаторная диаграмма двигателя внутреннего сгорания, т.е. диаграмма изменения давления в цилиндре по ходу поршня, резко неравномерна):

- внутренняя динамика – пуск, торможение, реверсирование, ускорение звеньев механизма, неуравновешенность, ошибки изготовления;
- неравномерность и переменность рабочего процесса машины – орудия; существенна неравномерность во всех машинах с прерывистым прессом (строгальные, долбежные, про-

тяжные станки, пресса, экскаваторы); наибольшая неравномерность – у машин ударного и вибрационного действия.

- неравномерность режима работы сил сопротивления и динамические воздействия в транспортных машинах.

Указанные возмущающие нагрузки вызывают колебания в системе. Возможно возникновение автоколебаний и динамической неустойчивости. Напряжения в подавляющем большинстве машин – переменные. Постоянные напряжения, так же как и постоянные нагрузки, преимущественно вызываются силой тяжести и начальной затяжкой. На постоянные напряжения рассчитывают большинство заклепок, болты с большой начальной затяжкой, котлы и резервуары, детали с длительным циклом нагружения. Постоянные нагрузки могут вызывать переменные напряжения вследствие: а) вращения деталей типа валов, осей относительно нагрузки, в результате чего растянутые волокна через пол-оборота становятся сжатыми и наоборот; б) входа в зацепление зубьев, подвергая, таким образом, напряжениям по пульсирующему циклу.

Переменные нагрузки бывают постоянного и изменяющихся уровней или стационарные и нестационарные. Нестационарные нагрузки – это переменные нагрузки с меняющимися параметрами, в первую очередь, с меняющейся амплитудой. Подавляющее большинство машин работает при нестационарных режимах.

Рассмотрим нагрузки станков.

Универсальные станки, составляющие подавляющее большинство станочного парка страны, могут работать как на обдирке, так и на отделочных операциях, условиях индивидуального, серийного и крупносерийного производств, обрабатывать то крупные, то мелкие детали из различных материалов, использовать разные инструменты и т.д. Моменты на шпинделе при этом могут меняться в сотни раз.

Машин, работающих с постоянными режимами, очень мало, например, машины центральных силовых и насосных станций, транспортные машины для работы на длинных линиях.

Динамические нагрузки.

В металлорежущих станках динамические нагрузки возникают при врезании инструмента и работе с переменной площадью сечения среза. При врезании процесс имеет характер удара; но так как масса стружки мала, то он близок к случаю внезапного приложения нагрузки, при котором коэффициент динамичности нагрузки близок к двум.

Вследствие широкого диапазона частот возмущающих нагрузок и сложности системы со многими частотами собственных колебаний универсальные станки типа фрезерных часть времени работают на

резонансных режимах с небольшими коэффициентами нарастания колебаний.

В связи с природой процесса резания и трения существенную опасность для станков представляют автоколебания. Они недопустимы из-за требований, предъявляемых к чистоте поверхности. Поэтому соответствующие динамические нагрузки в расчеты деталей станков не входят.

Большинство машин работают в условиях прерывистого рабочего процесса. При этом неизбежны динамические нагрузки, связанные с разгоном, торможением, реверсированием (в высокомоментных двигателях, расчет редукторов производят с учетом динамики привода).

При пуске станков включением асинхронных электродвигателей моменты на первом валу могут превышать номинальные до 8 раз. При реверсировании двигателей противотоком динамические нагрузки еще больше.

Динамические моменты на первом валу механизма подъема электроталей при включении двигателя до 3,5-4,5 раз превышают номинальный, а на первом валу механизма перемещения – до 4,5-7 раз.

По рекомендациям фирм-изготовителей упругих муфт коэффициент динамичности нагрузки для расчета муфт в приводе: металло-режущих станков 1,25-2,5, компрессоров 2-3,5; кранов, подъемников, экскаваторов 3-5, прокатных станов 2,5-6.

Работа всех механизмов возвратно-поступательного движения неизбежно связана с возникновением динамических нагрузок. Для беззазорных механизмов эти нагрузки легко рассчитать по известным формулам.

Большие динамические нагрузки возникают из-за недостаточной уравновешенности быстровращающихся деталей. Смещение на 0,1 мм главной оси инерции (центра тяжести) от оси вращения ротора, вращающегося с частотой 3000 об/мин, приводит к возникновению центробежной вращающей силы, равной силе тяжести ротора, действие которой многократно опаснее действия статической силы:

$$m \cdot \omega^2 \cdot R = 100000 \cdot 314^2 \cdot 0.0001.$$

Если центробежная сила равна полезной радиальной, то ухудшается работа подшипников. В частности, в подшипниках скольжения возможна нестабильная работа, в подшипниках качения без натяга возникают проскальзывание и износ.

В прямозубых передачах основные динамические нагрузки вызываются ошибками основного шага и упругими деформациями зубьев.

Основные вынужденные колебания в прямозубых передачах возникают с частотой, равной частоте входа зубьев в зацепление ($K_d \approx 1,25$).

В косозубых и шевронных передачах основные динамические нагрузки вызываются циклическими ошибками в окружном шаге и профиле.

Основные причины ошибок в окружном шаге – это погрешности делительной передачи зуборезного станка.

Динамические нагрузки в косозубых передачах в среднем в 2-2,5 раза меньше, чем в прямозубых. Ременная передача может служить причиной возникновения колебаний из-за биения шкивов и неоднородности ремней с частотами вращения шкивов и пробегов ремня. Эти колебания проявляются в быстроходных передачах.

В цепных передачах при набегании звеньев цепи на звездочки возникают ударные нагрузки, быстро затухающие по звеньям цепи, но вызывающие существенное ускорение износа и усталости. При небольших и средних скоростях преобладают колебания и, соответственно, динамические нагрузки, вызываемые конечностью чисел зубьев звездочек и разноразмерностью шагов цепи. При больших скоростях основное значение имеют колебания, вызываемые эксцентриситетом звездочек и накопленной погрешностью шага цепей.

В валах с подшипниками качения могут возникать вынужденные колебания из-за биения и колебания в связи с переменной жесткостью подшипников из-за разного расположения тел качения по отношению к плоскости нагрузки.

Неустойчивость валов на подшипниках скольжения наблюдается при работе с большими скоростями и малыми нагрузками, когда малы эксцентриситет шейки в опоре и жесткость масляного слоя.

Первопричиной является то, что вал в подшипнике в связи с формой эпюры гидродинамического давления смещается не по направлению радиальной силы, а под некоторым углом к ней. Поэтому, когда встречаются неизбежно некруглости на рабочих поверхностях шейки и подшипника и вал выводится из равновесного положения, то появляется окружная составляющая от гидродинамического давления, которая вызывает вихревое движение вала.

Нагрузки с большой скоростью нарастания называются ударными. Ударные нагрузки в машинах вызываются:

- рабочим процессом ряда машин: молотов, копров, строгальных и долбежных станков, транспортных машин при переезде стыков рельс и неровностей дороги;
- работой механизмов: переключением зубчатых колес и кулачковых муфт на ходу, использованием упоров для ограничения движения, набеганием звеньев цепи на звездочки;
- погрешностями изготовления и износов: ошибками основного шага и износом зубьев зубчатых колес, увеличенными зазорами в сопряжениях;
- аварийными явлениями: наездом транспортных машин или подвижных узлов машин (суппортов, столов) на твердые

препятствия, попаданием в механизмы твердых предметов, поломкой отдельных деталей или применением не предусмотренных технологическим процессом ударов при разборке и сборке.

Классификация процессов, действующих на машину, по скорости их протекания.

Внешние и внутренние воздействия на узлы и детали вызывают в них протекание процессов, ухудшающих эксплуатационные показатели станка.

В зависимости от скорости протекания все процессы можно разделить на три группы:

- 1 Быстро протекающие процессы имеют периодичность изменения, измеряемую обычно долями секунды (это вибрации узлов, изменение сил трения в подвижных соединениях, колебания рабочей нагрузки и др.).
- 2 Процессы средней скорости, связанные с периодом непрерывной работы машины. Их длительность измеряется обычно в минутах или часах. Они приводят к монотонному изменению начальных параметров машины. К этой категории относятся как обратимые процессы (изменение температуры самой машины и окружающей среды, изменения влажности среды), так и необратимые (износ режущего инструмента, который протекает во много раз интенсивнее, чем изнашивание деталей и узлов машины).

Процессы средней скорости (например, тепловые деформации), как правило, характеризуются случайными величинами и функциями, что связано с многообразием параметров, определяющих протекание данного процесса. Например, на тепловые поля машины влияют колебания температуры окружающей среды, колебания коэффициента трения в приводных механизмах.

- 3 Медленные процессы протекают во время работы машины между периодическими осмотрами или ремонтами. Они длятся дни, месяцы, года. К таким процессам относятся: износ основных механизмов машин, перераспределение внутренних напряжений в деталях, ползучесть металлов, загрязнение поверхностей трения, коррозия, сезонные изменения температуры.

Эти процессы также влияют на мощность, точность, КПД и другие параметры машины, но изменение их происходит очень медленно.

Следует подчеркнуть, что медленные процессы, как и процессы средней скорости, являются случайными функциями.

Лекция 3

Износостойкость деталей и сборочных единиц

Процессы внешнего трения и изнашивания существенно влияют на надежность машин. С потерями на трение связано значительное ухудшение энергетических характеристик скребковых и винтовых конвейеров, пневмотранспортных установок и др., а преждевременное изнашивание небольшого числа деталей вызывает необходимость ремонта, стоимость которого иногда в десятки и сотни раз превышает стоимость деталей.

При эксплуатации машин явления изнашивания деталей более часты, чем поломки. В немалой степени это связано с тем, что ответственные детали машин обязательно рассчитывают на прочность, тогда как практически ни одно подвижное сопряжение не проверяют на износостойкость. Кроме того, при проектировании и эксплуатации машин часто не используют эффективные средства снижения их износа. С этим связаны огромные материальные затраты на ремонт машин и убытки от их простоев. Во многих отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, каждый пятый рабочий – ремонтник, нужды ремонта обслуживает большой парк технологического оборудования.

Виды и характеристики внешнего трения (рис. 2). По наличию и характеру движения различают трение покоя и трение движения. *Трением покоя* называют трение двух тел при предварительном их смещении, т. е. при малом относительном перемещении до перехода от покоя к скольжению. Сила трения покоя, соответствующая началу относительного движения, превышает по значению силу трения движения. С этим и связаны повышенные потери на трение в период пуска машин. *Трение движения* бывает трех видов: трение скольжения, трение качения и трение качения с проскальзыванием.

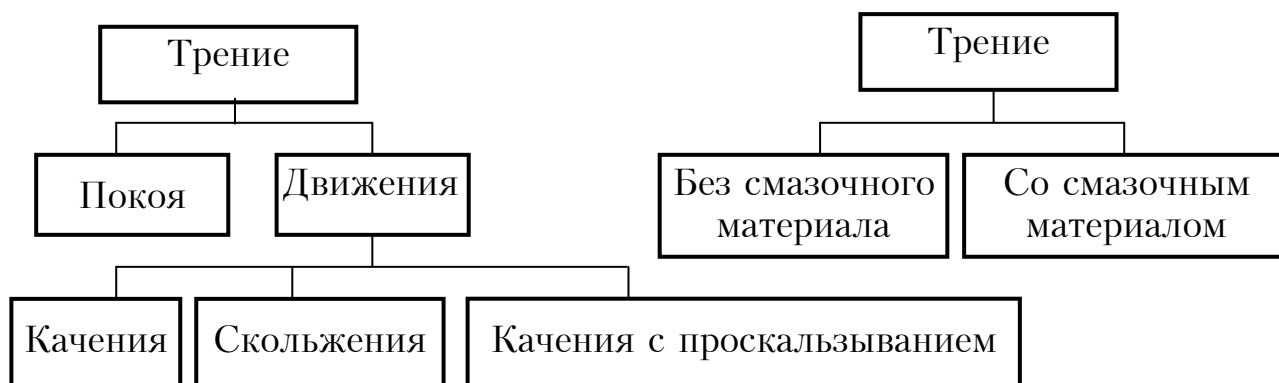


Рисунок 2 – Виды трения

При *трении скольжения* скорости соприкасающихся тел в точках касания различны по значению и направлению или только по значению или направлению; при *трении качения* скорости одинако-

вы по значению и направлению; при *трении качения с проскальзыванием* движение происходит одновременно с качением и скольжением.

Основными характеристиками внешнего трения являются *коэффициент трения* и *скорость скольжения* — разность скоростей тел в точках их касания. Характеристики внешнего трения и изнашивания типичных узлов трения машин приведены в табл. 1.

С трением скольжения, как правило, связаны максимальные энергетические потери и наибольший износ.

Трение качения с проскальзыванием постоянно реализуется во многих парах трения, применяемых в машинах (см. табл. 1). Оно более благоприятно по сравнению с чистым трением скольжения, так как при нем существенно уменьшаются путь скольжения и износ. Благодаря трению качения с проскальзыванием обеспечивается достаточно высокая износостойкость круглозвенных цепей, хотя удельные нагрузки в их шарнирах из-за точечного контакта звеньев во много раз выше, чем в шарнирах втулочно-роликовых цепей, где обеспечен более благоприятный линейный контакт, чем при трении скольжения. А трение качения с проскальзыванием в цилиндрических и конических зубчатых передачах существенно улучшает один из главных энергетических показателей — КПД — по сравнению с червячными передачами, у которых он низок вследствие трения скольжения.

Наибольшее распространение в металлорежущих станках имеет самый благоприятный вид трения — трение качения, которому соответствуют наименьшая сила трения и минимальный износ.

При загрязнении подшипников качения чистое трение качения их промежуточных тел (шариков, роликов) переходит в трение скольжения по поверхности одного из колец или в трение скольжения подшипника о поверхность гнезда, при этом подшипник быстро теряет работоспособность. Аналогичные последствия вызывает попадание посторонних частиц на поверхность качения приводных колес (катков, роликов, бегунков) или стопорение их по другой причине. На цилиндрической поверхности качения при этом образуется лыска, после чего качение неприводного колеса становится невозможным даже после устранения причины, вызвавшей стопорение.

В связи с переходом одного вида трения в другие (вместо предусмотренного конструкцией одного — благоприятного вида трения, например трения качения) могут существовать одновременно все виды трения.

По наличию смазочного материала (см. рис. 2) различают виды трения: со смазочным материалом и без него.

Таблица 1–Характеристики трения и изнашивания типичных узлов трения машин

Узел трения		Вид трения	Вид изнашивания
Наименование	Схема		
Качение			
Подшипники качения		Со смазочным материалом, при загрязнении – скольжение	Усталостное
Качение с проскальзыванием			
Зубчатые передачи (зацепление)		Со смазочным материалом	Усталостное, заедание, абразивное
Скольжение			
Подшипники скольжения		Со смазочным материалом	Заедание, абразивное
Червячные передачи		Со смазочным материалом	
Плунжерные пары, штоки, поршни гидроцилиндров		Со смазочным материалом	Окислительное
Микросмещение			
Шлицевые и шпоночные соединения		Без смазочного материала	Изнашивание при фреттинг-коррозии, заедание
Гнезда подшипников			
Зацепление зубчатых муфт			

При жидкостном (идеальном) трении со смазочным материалом непосредственный контакт между трущимися поверхностями исключен. Смазочный материал образует между ними промежуточный слой, при котором процесс трения двух твердых тел заменяется процессом внутреннего трения в смазочном веществе. Существование такого вида трения, возникающего при так называемой гидродинамической смазке, возможно при идеальных условиях: малые удельные нагрузки, большие скорости перемещения, непрерывный подвод смазочного материала. Обеспечение таких условий в реальных машинах связано с большими трудностями и поэтому между смазываемыми деталями чаще всего имеет место так называемая граничная смазка, основные характеристики которой определяются наличием на поверхности трения тонкой масляной пленки. Устойчивость таких пленок смазочного материала при трении зависит от свойства, называемого *маслянистостью*.

Граничные пленки обладают особой способностью расклинивающего действия. В них развивается давление, не только препятствующее сближению смазанных поверхностей, но и стремящееся их раздвинуть. Это давление растет с уменьшением зазора. Расклинивающее действие увеличивается с увеличением скорости скольжения, т. е. имеет не только статический, но и динамический характер. Молекулы смазочных веществ в граничных пленках обеспечивают большую прочность на сжатие и легкость сдвигов в тангенциальном направлении. Этим и объясняются небольшие коэффициенты трения при скольжении смазываемых поверхностей. Тонкие смазочные слои не только снижают силу трения, но и существенно влияют на износ. Это влияние, как правило, положительное вследствие эффекта расклинивающего действия, но может быть и отрицательным из-за проникновения смазочного материала в микро- и ультрамикрощели между кристаллами металла. Однако при повышении качества смазочного материала специальными присадками всегда удастся обеспечить преобладание положительного эффекта и достичь уменьшения износа.

Трение без смазочного материала характеризуется отсутствием каких-либо введенных смазочных материалов. Это, однако, не означает, что при нем всегда имеет место контакт ювенильных (свободных от загрязнения, чистых) поверхностей трущихся тел. Независимо от смазывания, трение в машинах происходит в присутствии газовой среды (атмосферы), а в ряде случаев – в присутствии различных твердых сред. Согласно современным представлениям о трении и изнашивании внешняя среда (газовая, твердая) подобно смазочному материалу оказывает большое влияние на трение и изнашивание металлов.

Во многих узлах трения машин (подшипниках качения и скольжения, зубчатых и цепных передачах, шарнирных соединениях,

опорно-поворотных устройствах, канатах и блоках, тяговых цепях и др.) смазыванием стремятся обеспечить граничную смазку.

Виды изнашивания. В науке о трении и изнашивании различают следующие виды изнашивания (рис. 3): механическое, как результат механических воздействий; коррозионно-механическое, как результат механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой.

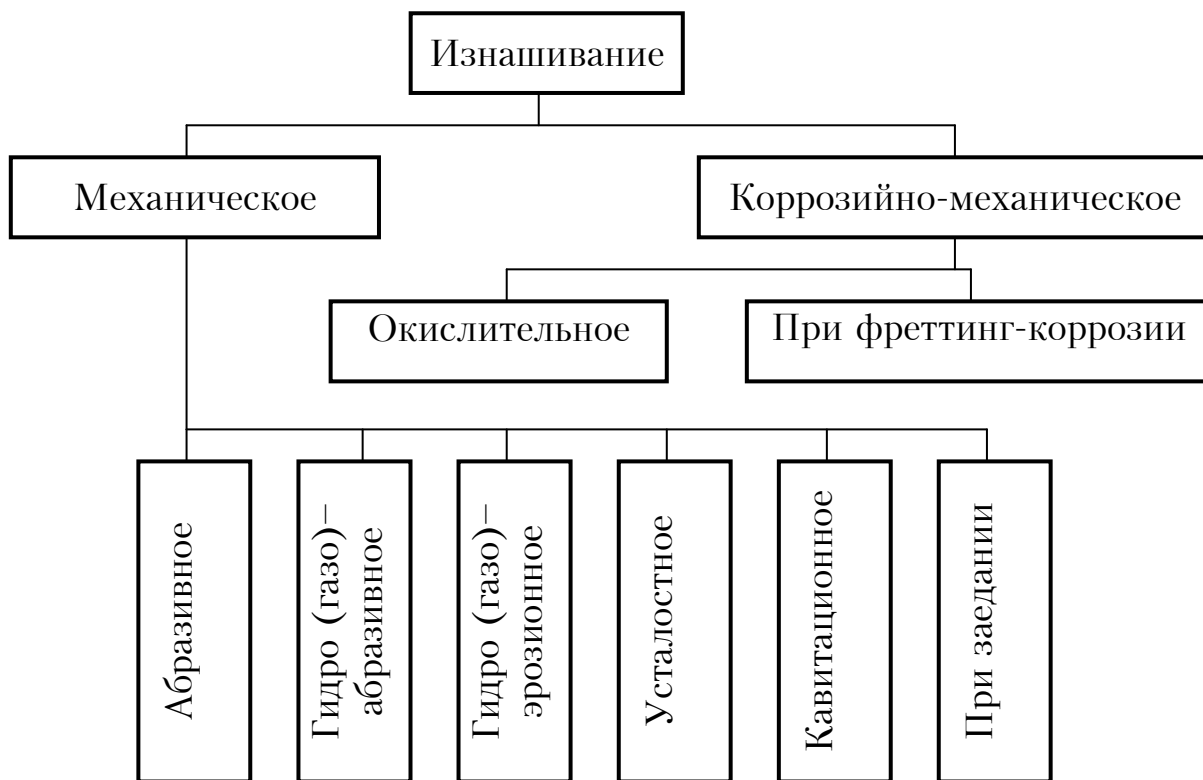


Рисунок 3 – Виды изнашивания в машинах

Существует несколько разновидностей механического изнашивания: *абразивное*, как результат режущего или царапающего действия твердых тел и частиц; *гидро(газо)-абразивное*, как результат воздействия твердых тел или частиц, увлекаемых потоком жидкости (газа); *гидро(газо)-эрозионное*, как результат воздействия на поверхность потока жидкости (газа); *усталостное*, как результат усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала, приводящего к возникновению трещин и отделению частиц на поверхности трения или на ее отдельных участках; *кавитационное*, как результат воздействия на поверхность твердого тела при движении его в жидкости в условиях кавитации, т. е. в условиях нарушения сплошности течения жидкости и образования кавитационных пузырей.

Разновидностью механического изнашивания является *изнашивание при заедании*, как результат схватывания, глубинного вырыва-

ния материала, переноса его с одной поверхности на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

К коррозионно-механическому изнашиванию относят *окислительное изнашивание*, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой, и *изнашивание при фреттинг-коррозии*, возникающее при малых колебательных относительных перемещениях.

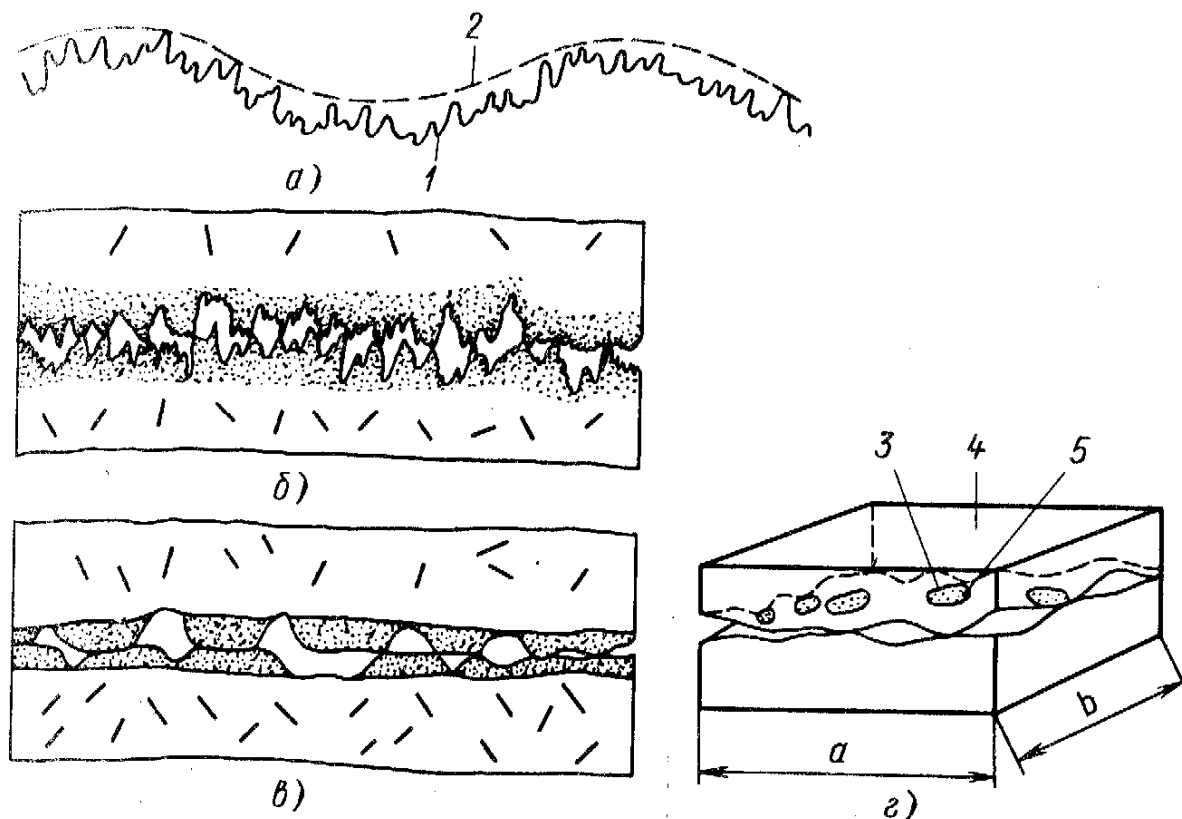
Характеристики изнашивания. Конечный результат изнашивания, проявляющийся в виде отделения или остаточной деформации материала, называют *износом*, а частицы материала, отделившиеся в процессе изнашивания, – *продуктами изнашивания*. Количественными характеристиками процессов изнашивания являются: *скорость изнашивания* – отношение износа ко времени, в течение которого он возник, и *интенсивность изнашивания* – отношение износа к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы. Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания, называют *износостойкостью*. Это свойство характеризуют также относительной износостойкостью – отношением износостойкости испытываемого материала и материала, принятого за эталон, при их изнашивании в одинаковых условиях.

Природа трения и изнашивания. В основу приведенной классификации видов изнашивания в машинах положены современные представления о природе трения и изнашивания.

Поверхности трения деталей машин (рис. 4) имеют определенную *шероховатость* (неровности с неравномерным шагом) и *волнистость* (неровности с большим шагом). На начальной стадии работы поверхности имеют "технологический рельеф", а по мере приработки приобретают "рабочий рельеф". Независимо от этого при довольно большой номинальной площади контакта, определяемой размерами a и b соприкасающихся тел, фактически (физическая) площадь касания будет намного меньше. Она представляет собой сумму площадей точек касания, расположенных внутри малых контурных площадок. Число и размеры контурных площадок и точек касания внутри них зависят от микро- и макрорельефа соприкасающихся поверхностей – шероховатости и волнистости, а также от нагрузки в точке контакта и упругих характеристик материалов соприкасающихся деталей.

Процессы изнашивания протекают в местах фактического контакта трущихся поверхностей деталей при их относительном перемещении. Нормальные и тангенциальные силы, действующие в этих местах, вызывают *упругопластические деформации* микрообъемов материала. Многократное их повторение приводит к усталостному разрушению поверхностных слоев, а при соответствующей конфигурации микровыступов происходит микрорезание, т.е. отделение микростружки при однократном взаимодействии. Интенсивность процессов

упругопластического деформирования и микрорезания возрастает при наличии в зоне контакта абразивных частиц с твердостью, превышающей твердость материала соприкасающихся деталей. Под действием нормальных и тангенциальных сил происходит взаимное внедрение элементов поверхностей.



a – профиль; *б* – технологический рельеф; *в* – рабочий рельеф; *г* – схема зон контактирования; 1 – шероховатость; 2 – волнистость; 3 – контурная поверхность контакта, обусловленная волнистостью; 4 – номинальная поверхность контакта (площадь $a \times b$); 5 – фактическая поверхность контакта (точки в пределах контурной поверхности), обусловленная шероховатостью.

Рисунок 4 – Поверхности трения деталей машин и схемы их контактирования:

В местах истинного контакта повышается температура, что приводит к изменению структуры металла и образованию "мостиков сварки". При плотном контакте металлов и отсутствии между ними масляной или окисной пленки возникает молекулярное взаимодействие соприкасающихся поверхностей (*адгезия* у разнородных тел и ее частный случай – *когезия* у одинаковых тел). На поверхностные слои металла воздействует кислород воздуха, образуя окисные пленки. Они защищают металлические поверхности от появления между ними молекулярных связей адгезионного характера, но сами, будучи более рыхлыми, чем основной металл, разрушаются и отделяются от поверхности трения.

Все эти процессы упругопластического деформирования, молекулярного взаимодействия, тепловые, окислительные и вызываемые ими изменения физико-механических и химических свойств металлов в поверхностно-активном слое, в конечном счете, и определяют изнашивание трущихся поверхностей реальных деталей машин.

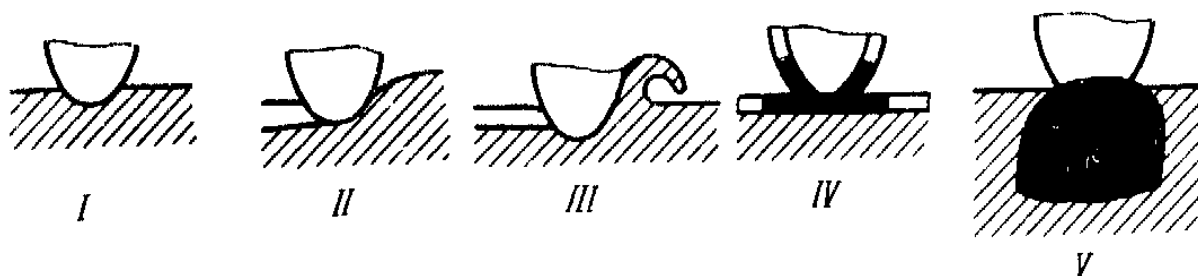


Рисунок 5 – Виды нарушения фрикционных связей по И.В. Крагельскому

Анализируя эти процессы, И.В. Крагельский обращает внимание на двойственную *молекулярно-механическую* их природу: *молекулярное взаимодействие* обусловлено взаимным притяжением двух твердых тел, их адгезией; *механическое* — взаимным внедрением элементов сжатых поверхностей. Выделяется пять основных видов нарушения фрикционных связей, обуславливающих характер изнашивания (рис. 5). *Упругое оттеснение* (I) материала характеризуется отсутствием остаточных деформаций. Разрушение в зонах фактического касания и отделение частиц материала происходят лишь после многократного повторения нагружения. *Пластическое оттеснение* (II) материала характеризуется появлением остаточной (пластической) деформации. Число циклов нагружения, приводящее к разрушению основы, сравнительно мало (малоцикловая усталость). С увеличением нагрузки на единичную поверхность и, соответственно, с увеличением внедрения наступает момент, когда пластическое оттеснение сменяется образованием "застойной зоны" перед неровностью, материал как бы прилипает к неровности, что приводит при движении к его отделению — *микрорезанию* (срез материала) (III). Микро-резание осуществляется при однократном цикле трения (нагружения). К этому виду нарушения фрикционной связи относится также абразивное изнашивание, когда разрушающее действие частицы абразива аналогично действию глубоко внедренной неровности. *Схватывание пленок* (IV), покрывающих поверхности твердых тел, соответствует адгезионному их разрушению. Происходит "прилипание" пленок, покрывающих поверхности трения, и разрушение фрикционной связи на глубине в пределах толщины пленок. *Схватывание поверхностей* (V) и их адгезионное или когезионное разрушение наблюдаются при большой прочности адгезионных связей. Оно сопровождается глубинным вырыванием материала и задирам поверхностей.

Два первых вида разрушения фрикционных связей раскрывают природу усталостного изнашивания, третий — природу абразивного

изнашивания и его разновидностей (гидро- и газоабразивного). Четвертый и пятый виды разрушений объясняют, соответственно, механизм окислительного изнашивания и изнашивания при заедании.

Абразивное изнашивание. В подъемно-транспортных машинах наиболее широко распространено абразивное изнашивание. Глубокими исследованиями его занимались М.М. Хрущев и М.А. Бабичев. Они сформулировали основы теории, согласно которой механизм абразивного изнашивания пластичных металлов (конструкционных сталей) может быть представлен как царапание множеством твердых зерен, из которых большинство оставляет пластически выдавленный след, а меньшая часть зерен, с соответственно расположенными гранями, снимает стружку.

При изнашивании технически чистых металлов и сталей в отожденном состоянии закрепленные абразивы между объемным износом V , путем трения S , нагрузкой P , начальной твердостью H металла и размером a абразивного зерна установлена зависимость:

$$V = \frac{1}{H} CPS_a,$$

где C – коэффициент, зависящий от абразивных свойств истирающей поверхности, условий испытаний и способа крепления образца.

Условия, к которым относится эта зависимость, в реальных машинах не всегда имеют место: технически чистые металлы и стали в отожденном состоянии в машиностроении не применяют, а абразивные зерна чаще находятся в свободном состоянии. Тем не менее, она хорошо отражает качественную сторону процесса: объемный износ возрастает с увеличением нагрузки, пути трения и размеров абразивных частиц и снижается с увеличением твердости металла.

Абразивное изнашивание шарниров тяговых цепей и зубьев звездочек, подшипников и других элементов обусловлено или запылением атмосферы, или непосредственным взаимодействием деталей со свободными абразивными частицами. Попадая на поверхности трения, они могут внедряться в наиболее мягкую деталь и шаржировать ее, становясь неподвижно закрепленными. Но и тогда, когда этого не наблюдается, свободные частицы абразива в зоне трения действуют как мгновенно прикрепленные к одной из двух поверхностей трения, вызывая царапание и пластическое деформирование другой поверхности. А поскольку таких частиц много, то одна их часть мгновенно прикрепляется к одной поверхности, а другая – к другой, и в результате интенсивно изнашиваются обе трущиеся поверхности (например, поверхности вала и подшипника скольжения).

Природа гидро- и газоабразивного изнашивания другая. В этих случаях условно закрепленные абразивные частицы отсутствуют. Но твердые тела или частицы, двигаясь с большой скоростью в потоке жидкости или газа, также производят царапающее действие, вызывающее пластическое деформирование и микрорезание. Гидроабра-

зивное изнашивание имеет место в оборудовании гидротранспорта полезных ископаемых (пульповоды), а газоабразивное – в установках пневмотранспорта (трубопроводы). Наиболее интенсивно изнашиваются те их зоны, где изменяется направление движения струи жидкости или воздуха, т. е. колена.

Усталостное изнашивание. Наряду с абразивным в узлах трения машин широко распространено усталостное изнашивание. Согласно усталостной (кумулятивной) теории изнашивания, предложенной И.В. Крагельским, этот вид изнашивания характеризуется многоактным нагружением единичных фрикционных связей вплоть до отделения частиц. Физическая модель изнашивания при этом такова: при скольжении микронеровности (индентора) по контртелу возникает лобовой валик деформируемого материала. Схема напряженно-деформированного состояния: в зоне впереди лобового валика материал сжат, а за микронеровностью под действием сил трения – растянут.

Таким образом, каждый элемент в зоне трения испытывает знакопеременное деформирование. Многократные его повторения приводят к накоплению повреждений под поверхностью металла, где образуются поры. Под воздействием напряжений они перерастают в трещины с отделением частиц материала (отслаивание) или образованием ямок на поверхности (выкрашивание). Усталостное изнашивание характерно для узлов трения, защищенных от попадания абразивных частиц, не подверженных коррозии и схватыванию, в частности для таких широко распространенных узлов трения машин, как зацепления закрытых зубчатых передач, подшипники качения, и др. В литературе этот вид изнашивания часто называют *основидным изнашиванием*, *контактной усталостью* и *питтингом*.

Заедание. Широко распространено в узлах трения машин изнашивание при заедании или молекулярно-механическое изнашивание, называемое также адгезионным. В его основе лежит микросхватывание металлов – явление местного соединения двух твердых тел, происходящее в твердом состоянии при трении вследствие действия молекулярных сил. И.В. Крагельский дает ему следующее объяснение. При больших давлениях, развиваемых в зонах фактического (истинного) контакта деталей, происходят значительные местные удлинения поверхности в точках касания, приводящие к разрыву окисной пленки. В этих местах образуются мостики схватывания, которые в процессе скольжения разрушаются и возникают вновь. При их разрушении частицы металла вырываются с более мягкой поверхности и удаляются в результате последующего многократного воздействия. Изнашивание при заедании наблюдается во многих узлах трения машин: подшипниках скольжения, шарнирных соединениях, элементах опорно-поворотных устройств и т.д. Для всех этих узлов трения характерна высокая интенсивность изнашивания.

Прочие виды изнашивания. В узлах трения машин, работающих при высоких температурах (вкладышах подшипников двигателей внутреннего сгорания) или в коррозионных средах (уборочные конвейеры, конвейеры-кормораздатчики, конвейеры гальванических цехов и др.), имеет место *окислительное изнашивание*. Для данного вида изнашивания характерно взаимодействие материала трущихся тел с химически активной средой, вызывающей образование окисных пленок. Этот процесс идет интенсивно при остановке машины. При последующей работе окисная пленка удаляется, а при остановке обнажившаяся поверхность снова покрывается пленкой. Будучи недостаточно прочной и подверженной истиранию, она, вместе с тем, выполняет защитную функцию, подобную смазочному материалу, благодаря чему процесс изнашивания идет с интенсивностью, во много раз меньшей, чем при работе тех же узлов трения без смазывания и вне коррозионной среды.

Второй вид коррозионно-механического изнашивания – изнашивание при *фреттинг-коррозии* – наблюдается в таких сопряжениях, как шлицевые и шпоночные соединения, гнезда подшипников качения и др. Оно связано с малыми колебательными перемещениями, при которых происходит периодическое разрушение окисных пленок без их последующего удаления из зоны трения. Сами окислы при этом способствуют увеличению износа, вследствие чего на сопряженных поверхностях образуются кратеры с выкрошенным металлом.

Ведущий вид изнашивания. Для каждого узла трения в конкретных условиях эксплуатации устанавливается свой главный, так называемый *ведущий вид изнашивания*. С изменением условий он может переходить в другой ведущий вид изнашивания, определяющий скорость протекания процесса. При этом могут иметь место и другие *сопутствующие виды изнашивания*, но их влияние на конечный результат не является решающим. Поясним это на примерах. При движении крана без перекоса имеет место усталостное изнашивание слабой интенсивности. При перекосе в зоне трения, наряду с нормальными, появляются касательные нагрузки и ведущим видом изнашивания становится заедание, которое проявляется с наибольшей интенсивностью на ребрах колес. При работе в коррозионной среде в шарнирах и зацеплении тяговых цепей уборочного конвейера имеет место коррозионно-механическое изнашивание довольно значительной интенсивности. В том же конвейере, помещенном в другие условия, где коррозионная среда отсутствует, цепи при работе без смазывания изнашиваются во много раз интенсивнее, так как ведущим становится изнашивание при заедании.

Лекция 4

Смазывание машин

Назначение смазывания машин. Смазывание в машинах имеет многоцелевое назначение. В узлах трения слой смазочного материала разъединяет трущиеся поверхности деталей и переводит трение в жидкостное или граничное, при которых значительно снижается износ. Жидкое масло смывает с поверхностей трения твердые продукты изнашивания, нагар и абразивные частицы, отводит тепло от поверхностей трения и тем самым предотвращает неблагоприятные термические превращения в поверхностном слое трущейся детали. Пластичный смазочный материал уплотняет зазоры и защищает поверхности трения от абразивного загрязнения. Все это также способствует повышению долговечности.

Наибольший полезный эффект достигается лишь при правильном выборе смазочных материалов, способов и режимов смазывания в соответствии с условиями работы и хранения машин.

Виды смазочных материалов. Разнообразие машин, механизмов, сочленений и деталей, а также условий их работы обуславливает применение множества разнообразных видов, сортов и марок смазочных материалов. Их можно разделить на следующие основные группы: минеральные масла, пластичные (консистентные) смазочные материалы, твердые смазочные покрытия и присадки.

Минеральные масла — жидкие смазочные материалы, которые получают из мазутов — остатков после отгонки из нефти светлых продуктов (бензина, керосина и дизельного топлива). Для получения минеральных масел мазут подвергают перегонке.

В первичных продуктах прямой перегонки мазутов — сырых маслах — содержатся примеси (асфальтосмолистые вещества, непредельные углеводороды, нефтяные кислоты и др.). Поэтому для получения тех или иных свойств к маслам добавляют различные химические вещества — присадки, улучшающие одно или несколько их свойств.

По преимущественным областям применения минеральные смазочные масла делят на группы: индустриальные — для смазывания разнообразных механизмов; моторные — для смазывания двигателей внутреннего сгорания; трансмиссионные — для смазывания передач; компрессорные — для смазывания компрессоров; приборные — для смазывания точных механизмов и приборов и др. Такое деление является условным. Более перспективна классификация по техническим свойствам, которая в настоящее время разрабатывается.

Особую группу составляют консервационные масла с защитными присадками для предохранения от коррозии труднодоступных внутренних поверхностей. Такие масла все шире используют теперь

и для предохранения открытых наружных частей машин при соответствующей упаковке и хранении их в закрытых складах, где нет воздействия осадков.

Пластичные (консистентные) смазочные материалы. Главной их особенностью является сочетание свойств твердого тела (пластичность) и жидкости (текучесть): в состоянии покоя смазочный материал пластичен, а при движении течет подобно вязкой жидкости. Это обеспечивается двухкомпонентным составом пластичного смазочного материала. Он состоит из жидкого масла и твердого загустителя.

Пластичные смазочные материалы особенно эффективны в открытых или негерметизированных узлах трения, в сборочных единицах, где нельзя или нежелательно часто заменять смазочный материал; в различных подвижных сочленениях и уплотнениях (манжетах, резьбах и др.). Они, как правило, превосходят жидкие масла по консервационным свойствам, и поэтому их эффективно используют для защиты поверхностей деталей от коррозии. Но пластичным смазочным материалам присущи и недостатки: они не отводят теплоту и не смывают продукты изнашивания с поверхности трения.

По назначению пластичные смазочные материалы условно делят на антифрикционные, консервационные (антикоррозионные) и уплотнительные. Антифрикционные пластичные смазочные материалы используют в подшипниках качения и скольжения, шарнирных соединениях, тихоходных зубчатых и червячных передачах, для смазывания канатов и блоков и многих других узлов трения; консервационные – для защиты от коррозии стыковых, посадочных и других неокрашенных поверхностей деталей и сборочных единиц машин; уплотнительные – в манжетах насосов, резьбовых соединениях трубопроводов и др.

Существует также деление смазочных материалов по областям их преимущественного применения: многоцелевые (при температуре 40-130°C); высокотемпературные (при температуре свыше 150°C); низкотемпературные (для механизмов, где недопустимо повышение сопротивления движению при низкой температуре); стойкие в агрессивной среде (для работы в контакте с сильными окислителями – азотной и серной кислотой, перекисью водорода и др.); промышленные (для смазывания узлов трения механизмов); железнодорожные (для закладки в буксы подшипниками качения); автомобильные (для смазывания ступиц, подвесок, рулевого управления и др.); канатные (для предотвращения коррозии, уменьшения трения и изнашивания стальных канатов). В зависимости от вида загустителя пластичные смазочные материалы делят на кальциевые (солидолы), натриевые (констаины), натриево-кальциевые, литиевые, кремнистые.

Твердые смазочные материалы и твердые смазочные покрытия. Твердые смазочные материалы – графит, дисульфид молибдена и

другие можно использовать при температурах от -250 до +375 °С, при которых обычные смазочные материалы совершенно непригодны. Их применение эффективно и в качестве добавок к жидким маслам при нормальных температурах, но при особо неблагоприятных видах изнашивания.

Твердые смазочные покрытия (тэспы) применяют при больших удельных нагрузках, высоких температурах и в вакууме. В их состав входят твердые смазочные материалы (дисульфид молибдена, графит), связующие (полимерные материалы, смолы и др.) и летучие растворители (спирт, бутилацетат и др.). В виде суспензии их наносят на трущиеся детали и подвергают термической обработке, при которой образуются твердые смазочные пленки. Их недостаток — малый срок службы.

Присадки не применяют в чистом виде, но их добавление (иногда в малых количествах) существенно улучшает те или иные эксплуатационные свойства жидких масел и пластичных смазочных материалов.

Наиболее распространены следующие виды присадок: противоизносные, противозадирные (прирабочные) и антифрикционные — соответственно для уменьшения износа, устранения заедания и снижения коэффициента трения; адгезионные — для повышения липкости смазочного материала; противоокислительные — для повышения устойчивости масла против действия кислорода воздуха и удлинения сроков его смены; противокоррозионные — для устранения коррозии цветных металлов при окислении масла в процессе старения; противопенные (пеногасители) — для борьбы с вспениваемостью масла; ингибиторы ржавления — для защиты металлов от ржавления; депрессоры — для понижения температуры застывания и улучшения вязкостно-температурных свойств масла; противопригарные (моющие) — для уменьшения образования нагаров.

Характеристики масел: вязкость, антиокислительная стабильность, противокоррозионные свойства, температура застывания, содержание механических примесей и воды.

Продолжительность бессменной работы масла определяет его *противоокислительная стабильность* — способность противостоять окислению кислородом воздуха с образованием кислот, смол и других продуктов, ухудшающих смазочные свойства и увеличивающих вязкость. Процесс окисления идет тем быстрее, чем выше рабочая температура масла, а количество накапливаемых продуктов окисления пропорционально длительности нахождения его в данном замкнутом объеме. Накопление продуктов окисления может нарушить нормальную работу механизма (повышенный износ, коррозия, прекращение циркуляции масла). Во избежание этого отработанное масло заменяют свежим. На основе исследований и практического

опыта для типовых условий работы выявлены оптимальные сорта масел и сроки их замены. Противоокислительную стабильность масел определяют различными методами, в частности по склонности к образованию лаковых пленок на поверхностях.

Противокоррозионные свойства масел особенно существенны при работе в контакте с поверхностями деталей из цветных металлов. *Температура застывания* характеризует подвижность масла при низких температурах и имеет большое значение при эксплуатации машин, сливе масла в зимнее время из транспортных машин и средств.

При выборе смазочных материалов для узлов трения и консервации изделий руководствуются рассмотренными характеристиками. При этом следует тщательно анализировать и учитывать условия их использования. При выборе жидких масел следует стремиться максимально приблизиться к условиям жидкостной смазки. Предварительно смазочные материалы и режимы смазывания для типовых узлов трения (подшипников скольжения и качения, плоских поверхностей скольжения, зубчатых и червячных редукторов, открытых зубчатых передач, зубчатых муфт, цепных передач, ходовых винтов, стальных канатов и др.) подбирают по формулам, таблицам и диаграммам, приведенным в специальных справочниках. Но расчетным путем трудно полностью учесть влияние режимов работы (нагрузки, скорости, температуры и др.), технического состояния машины и фактических условий ее эксплуатации (окружающей среды, коэффициента загрузки и др.). Поэтому подобранные по справочникам режимы смазывания нужно откорректировать с учетом экспериментальных данных или эксплуатационного опыта.

Подшипники скольжения. В станочном оборудовании применяют следующие виды подшипников: гидродинамические, гидростатические и подшипники с граничной смазкой. В шарнирных соединениях в ряде случаев еще используют подшипники последнего типа. Их обычно выполняют открытыми с торцов. Поэтому наиболее эффективно их смазывание пластичными смазочными материалами, которые не вытекают из узла трения и защищают его от внешних абразивных частиц. Для подачи пластичного смазочного материала в шарнир используют колпачковые масленки или пресс-масленки. Для нагнетания пластичного смазочного материала используют шприцы различных конструкций.

Подшипники качения смазывают минеральными маслами и пластичными смазочными материалами. Первый способ имеет следующие достоинства: уменьшается пусковой момент; допускаются более высокая частота вращения и температура в узлах трения; упрощается замена отработанного смазочного материала; обеспечивается возможность применения простого способа смазывания – раз-

брызгиванием. Не менее важные достоинства имеет и второй способ: более редкий уход за подшипниками, что особенно важно при изолированных смазываемых точках; простота уплотнения узлов трения и отсутствие вытекания из них смазочного материала; более высокая надежность работы таких объектов, где случайное прекращение подачи смазочного материала может вызвать аварию.

Жидкими маслами смазывают лишь подшипники редукторов, где используется возможность подвода смазочного материала разбрызгиванием. Выбор сорта масла в этом случае определяется из условий смазывания зубчатого или червячного зацепления.

Пластичные смазочные материалы выбирают в зависимости от рабочей температуры, условий работы смазочной системы и частоты вращения вала.

Зубчатые и червячные передачи закрытого типа (редукторы, коробки передач и др.) обычно смазывают минеральными маслами. Рекомендуемые вязкости масел выбирают в зависимости от материала колес, нагрузок, скоростей и температуры окружающей среды. Наибольшее применение имеют масла: цилиндровые 11, 24 и 38, трансмиссионные автотракторные ТС 14,5 с присадкой ЭФО, промышленные 30 и 45, авиационное МС-20, П-28. Для червячных редукторов с глобоидным зацеплением, у которых теплоотвод ухудшен по сравнению с обычными червячными редукторами (меньшие размеры при той же мощности и КПД), применяют более вязкие масла: летом — цилиндровое 52 и промышленное 50; зимой — нигрол зимний, автол 10.

Зубчатые муфты. Для смазывания зубчатых муфт применяют главным образом трансмиссионное автотракторное масло и цилиндровое 24.

Лекция 5

Основные виды работ ТО

Основной задачей технического обслуживания (ТО) оборудования является длительное сохранение его работоспособности и уменьшение суммы затрат на её поддержание (восстановление) и потерь основного производства, связанных с простоями оборудования из-за неисправности. Для решения этой важной задачи обязательно выполнение комплекса работ по техническому обслуживанию оборудования и рациональной организации его эксплуатации, направленных на предупреждение преждевременного сверхнормативного износа деталей и сопряжений путём своевременного проведения регулировочных работ, смазки узлов. Выявление возникающих дефектов и устранение их.

Рациональная организация ТО требует чёткой регламентации и планирования всех входящих в него работ по их содержанию и периодичности выполнения, а также распределение их между различными исполнителями (тип системы ТО и Р).

Регламентировать весь объём работ, входящих в ТО станков и машин очень сложно, и практически невозможно из-за случайного характера отказов. Поэтому наряду с регламентированными (плановыми) работами ТО включает случайные работы, выполняемые по необходимости.

Плановый осмотр (On) – это операция планового ТО, выполняемая целью проверки всех узлов оборудования и накопления информации об износе деталей, изменении характера их сопряжений, необходимая для подготовки предстоящих ремонтов.

Выполняется по составленному плану, через установленное нормами ТО число часов оперативного времени, отработанного оборудованием, как правило, без разборки узлов, визуальное или с помощью средств технической диагностики. При осмотре возможно устранение лёгких дефектов (задиры, царапины, забоины и др.)

Ежесменный осмотр (Oe) – операция планового ТО, выполняемая с целью:

- выявления и фиксации изменений состояния отдельных наименее надёжных деталей, сопряжений деталей и предотвращения их отказов;
- наблюдение за выполнением правил ТЭ и требований ТБ и предупреждения их нарушений.

Выполняется ежемесячно согласно карте планового ТО, без остановки оборудования. Могут производиться устранения неисправностей.

Периодический частичный осмотр – это операция планового ТО, выполняемая с той же целью, что ежесменный осмотр, но для более широкой номенклатуры деталей и сопряжений. Проводится

для определенной части оборудования, в зависимости от его надежности. Выполняется через определённое число часов оперативного времени, отработанного оборудованием, согласно карте планового ТО, без остановки оборудования. По результатам осмотра может производиться устранение мелких неисправностей.

Ежесменное поддержание чистоты оборудования (Ие.о.) – это операция планового ТО, выполняемая с целью:

- предотвращение ускоренного изнашивания открытых рабочих поверхностей;
- защиты рабочего от травмирования;
- повышение производительности труда;
- соблюдение требований промышленной эстетики.

Выполняется в конце каждой смены (может и чаще).

Ежесменное поддержание чистоты помещений (Че.п.), в которых установлено оборудование, – это операция планового ТО. Выполняется с той же целью и в те же сроки, что и поддержание чистоты оборудования.

Ежесменное смазывание (Се) – это операция планового ТО, осуществляемая с целью обеспечения нормальных условий смазывания трущихся деталей, поддержания этих условий в течение смены для предотвращения их ускоренного изнашивания.

Пополнение смазочных материалов (Сп) – это операция технического обслуживания, выполняемая с целью предупредить ускоренное изнашивание оборудования поверхностей узлов машин в связи с испарением и утечкой смазочного материала. Может быть плановой, выполняется согласно карте смазывания через определённое число часов оперативного времени, отработанного оборудованием. Неплановая операция выполняется по сигналу станочника (оператора) или по результатам осмотра.

Замена смазочных материалов (Сз) – это операция планового ТО, производимая с целью предупредить ускоренное изнашивание трущихся поверхностей взаимно перемещающихся деталей в связи с ухудшением действия смазочного материала в результате его нагрева и загрязнения. Выполняется согласно карты смазки через установленное число часов оперативного времени, отработанного оборудованием. Замена сопровождается промывкой всей смазочной системы, в которой заменяется смазочный материал.

Промывка механизмов и смазочных систем (Пм) – это операция планового ТО, осуществляемая с целью предупреждения ускоренного изнашивания трущихся поверхностей взаимно перемещающихся деталей в связи с загрязнением пылью и металлоабразивными продуктами. Промывка выполняется согласно карте планового ТО через установленное число часов оперативного времени, отработанного оборудованием. Промывка смазочных систем обычно совмещается с заменой смазочного материала.

Периодическая очистка от пыли электрической (Чэ) и электронной (Чс) частей оборудования – это операция планового ТО, осуществляемая с целью:

- предупреждения отказов электрической и электронной частей (систем) в связи с замыканиями и утечками через пылевые переемы;
- предупреждения несчастных случаев в связи с механическими повреждениями изоляции и цепей повреждения, скрываемых слоем пыли;
- соблюдения правил промышленной эстетики.

Выполняется через установленные картой планового технического обслуживания число часов, отработанных оборудованием.

Регулирование механизмов, устройств, элементов, быстроизнашиваемых деталей и обтяжка крепежных элементов (Р) – это операция ТО, выполняемая с целью:

- сохранения или восстановления первоначальной точности обработки изделий;
- сохранения или восстановления первоначальной производительности;
- сохранения или восстановления безопасных условий работы на оборудовании;
- предупреждения прогрессирующего изнашивания, предотвращения поломок деталей, поврежденных деталей.

Может быть плановой, т.е. выполняется согласно карте ТО через определённое число часов оперативного времени, отработанного оборудованием. Внепланово операция выполняется по сигналу оператора или по результатам осмотра до отработки установленного числа часов.

Проверка геометрической и технологической точности (Пр) – это операция планового ТО, выполняемая с целью предотвращения брака и аварий. Выполняется через установленные картой планового ТО число часов оперативного времени, отработанного оборудованием, перечень которого составляется предприятием, эксплуатирующим оборудование.

Профилактические испытания электрической (Иэ) и электронной (Ис) частей оборудования – это операция планового ТО, осуществляемая с целью:

- предупреждения отказов и сбоев;
- предотвращения несчастных случаев;
- соблюдения требований "ПТЭ и ПТБ при эксплуатации установок потребителей".

Выполняется через установленные картой ТО число часов оперативного времени, отработанного оборудованием.

Консервация (Ск) – это операция планового ТО бездействующего оборудования, выполняемая с целью защиты его от коррозии во время бездействия. Выполняется в соответствии с ГОСТ 9.014-78

в течение трёх месяцев после остановки оборудования и повторяется через каждые шесть месяцев.

Остановка оборудования может произойти при изменении объёма или номенклатуры выпускаемой продукции, технологии ее изготовления и в других случаях.

Перед использованием бездействующего законсервированного оборудования его необходимо подвергнуть промывке (Пм).

Случайный характер отказов быстроизнашивающихся деталей, нарушение работоспособности ответственных подвижных сопряжений и неподвижных разъёмных соединений требуют организации непрерывного наблюдения за их возникновением.

Для сохранения длительной работоспособности оборудования предусмотрены случайные работы.

Замена случайно отказавших деталей или восстановление их работоспособности (Z_n) – это операция непланового ТО, выполняемая с целью поддержания работоспособности оборудования.

Восстановление случайных нарушений регулировки устройств и сопряжений (P_n) – это операция непланового ТО, выполняемая с целью поддержания работоспособности.

Техническое обслуживание замедляет процесс изнашивания, сокращает число отказов и связанные с ними потери основного производства. Однако наступает время, когда дальнейшая эксплуатация изделия оказывается невозможной, т.е. износ приближается к его предельному значению.

Современное оборудование состоит из трёх частей: механической (гидравлической), электрической и электронной.

О приближении предельного состояния деталей механической части оборудования можно судить по результатам визуального наблюдения, при помощи замеров износа (рис. 6) специальными приборами, инструментами и другими методами. Возможность прогнозировать приближение предельного состояния позволяет заранее в плановом порядке заменять детали.

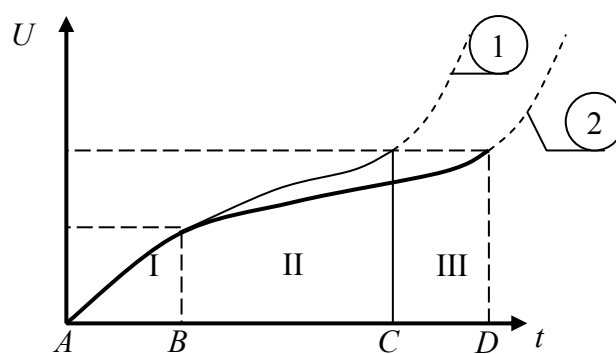


Рисунок 6 – Кривые износа сопрягаемых деталей

Приближение отказа ряда неподвижных деталей электрической и электронной частей не сопровождается видимыми признаками и не может быть обнаружена до наступления отказа. Замена их может быть выполнена по необходимости, т.е. в неплановом порядке.

Поэтому по способу организации типовой системы предусмотрено два вида ремонта: плановый и неплановый.

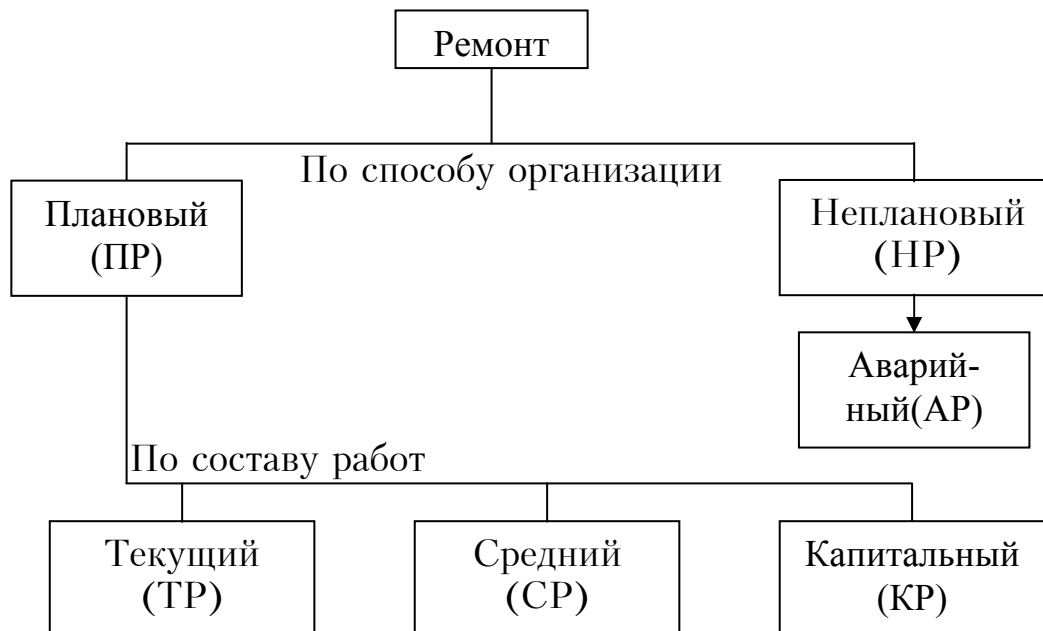


Рисунок 7 – Классификация ремонта по способу организации и составу работ

Плановый ремонт (ПР) – это ремонт, предусмотренный типовой системой и выполняемый через установленное число часов оперативного времени, отработанного оборудованием, или при достижении установленного нормами технического состояния.

Неплановый ремонт (НР) – это ремонт, предусмотренный типовой системой, но осуществляемый в неплановом порядке по необходимости. Трудовые, материальные ресурсы и время простоя оборудования устанавливаются нормами типовой системы.

Текущий ремонт (ТР) – определяет собой комплекс работ, выполняемых в процессе эксплуатации, для обеспечения или восстановления работоспособности изделия, и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей и регулировке механизмов (узлов). Например: замена износившихся или поломанных деталей с последующей регулировкой механизма (станок, ДВС, редуктор и т.д.).

Средний ремонт (СР) – это ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса оборудования с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей, выполняемыми в объеме, установленном нормативно-технической документацией. Например: ДВС – замена шатунно-поршневой группы и т.п.

Капитальный ремонт (КР) – это ремонт, выполняемый с целью восстановления исправности и полного (или близкого к полному) восстановления ресурса изделия с заменой или восстановлением любых его частей и их регулировкой.

При капитальном ремонте выполняется комплекс работ, которые должны обеспечить восстановление технико-экономических и эксплуатационных параметров (жесткость и точность узлов станка,

ДВС и др.) до уровня, соответствующего (близкого) уровню таковых у новой машины.

Аварийный ремонт (АР) – это неплановый ремонт, вызванный дефектами конструкции или изготовления изделия, дефектами ремонта, нарушением правил технической эксплуатации, или вызванный последствиями стихийного бедствия.

Следует отметить, что в ГОСТ 18322-73 понятие "средний ремонт" отсутствует. Но в существующих ранее системах ППР и применяемой в настоящее время типовой системе ТОиР этот вид ремонта предусмотрен.

Весь объём работ ТОиР выполняется в определённой последовательности, образуя повторяющиеся циклы, получившие название ремонтных циклов.

Ремонтный цикл (ЦР) – это повторяющаяся совокупность различных видов планового ремонта, выполняемых в предусмотренной последовательности через установленные равные числа часов оперативного времени работы оборудования, называемыми межремонтными периодами.

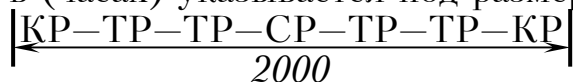
Ремонтный цикл завершается капитальным ремонтом (КР) и характеризуется структурой и продолжительностью.

Структура ремонтного цикла (Сцр) – это перечень ремонтов, входящих в ремонтный цикл и расположенных в последовательности их выполнения. Например: КР – ТР – ТР – СР – ТР – ТР – КР.

Продолжительность ремонтного цикла ($T_{цр}$) – это число часов оперативного времени работы оборудования, на протяжении которого производятся все виды ремонта, входящие в состав цикла.

В продолжительность ремонтного цикла не входят простои оборудования, связанные с выполнением плановых и неплановых ремонтов и технического обслуживания.

Продолжительность ремонтного цикла изображается размерной линией между двумя капитальными ремонтами. Продолжительность ремонтного цикла в (часах) указывается под размерной линией.



Межремонтный период ($T_{мр}$) – это период оперативного времени работы оборудования между двумя последовательно выполняемыми плановыми ремонтами.

Цикл технического обслуживания (Цо) – это повторяющаяся совокупность операций различных видов планового ТО, осуществляемых через установленные для каждого вида оборудования числа часов оперативного времени работы, называемого *межоперационными периодами ($T_{мо}$)*.

Цикл технического обслуживания, как и ремонтный цикл, определяется структурой и продолжительностью.

Структура цикла ТО ($С_{цто}$) – это перечень операций планового ТО, входящих в состав цикла, с коэффициентами, показывающими количество операций каждого вида в цикле.

Структура цикла ТО представляет собой сумму входящих в неё операций. При этом в качестве коэффициента при ежедневно выполняемых операциях употребляют букву "Е" (ежедневно). Виды операций ТО, которые выполняются не ремонтным персоналом (станочник, уборщица) в структуру цикла не включают. Например: структура цикла ТО включает: ежесменный осмотр, четыре пополнения смазочного материала, одну замену смазочного материала, один частичный осмотр, две профилактические регулировки и ежесменное смазывание, записывается так:

$$E_{oe} + 4C_{сп} + C_3 + O_4 + 2P.$$

Продолжительность цикла ТО ($T_{цo}$) и продолжительность межремонтного периода ($T_{мр}$) равны между собой, так как все операции планового технического обслуживания выполняются между двумя последовательными плановыми ремонтами.

Межоперационный период обслуживания ($T_{мо}$) – это период оперативного времени работы оборудования между двумя последовательно выполняемыми одноименными операциями планового технического обслуживания.

Период между двумя последовательными плановыми осмотрами называется *межосмотровым периодом (T_o)*.

Продолжительность межоперационного периода ($T_{мо}$) определяется двумя условиями:

- продолжительность межремонтного периода ($T_{мр}$) должна делиться на продолжительность межоперационного периода ($T_{мо}$) без остатка;
- межоперационный период ($T_{мо}$) должен являться ближайшим меньшим числом часов работы оборудования $\max T_{мо}$, указанному в карте планового ТО.

Число одноименных операций планового ТО в цикле равно

$$n = \left(\frac{T_{цo}}{T_{мо}} \right) - 1 = \left(\frac{T_{мр}}{T_{мо}} \right) - 1.$$

Карта планового ТО является составной частью технической документации, высылаемой заводом-изготовителем с каждой единицей оборудования и содержит:

- перечень всех подлежащих выполнению видов планового ТО обслуживания с краткой характеристикой их содержания;
- число операций O_e , $O_ч$, O , P_r , $I_э$, $I_с$ в цикле технического обслуживания;
- по операциям $C_{сп}$, C_3 , P , P_n , $Ч_э$, $Ч_с$ – наибольший допустимый межоперационный период обслуживания – $\max T_{мо}$;
- трудоёмкость выполнения каждой операции;
- состав исполнителей каждой операции.

Структуру циклов ТО можно установить по данным карт планового ТО.

Лекция 6

Понятия о надежности машин

Качество и надежность. Надежность машин – одна из характеристик их качества. Согласно ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81) под *качеством* понимают совокупность свойств продукции, определяющих степень ее пригодности при использовании по назначению. Качество продукции характеризуют множеством показателей: назначения, технологичности, стандартизации и унификации, эргономических, эстетических, экологических, патентно-правовых, экономических и др.

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество машин, является надежность. Уровень надежности характеризует развитие техники по основным ее направлениям: автоматизации производства, интенсификации рабочих процессов и транспорта, экономии трудовых и материальных ресурсов. Недостаточная надежность машин и оборудования вызывает огромные затраты на их техническое обслуживание и ремонт, потери от простоев, перебои в работе транспорта, снабжении населения топливом, электроэнергией и водой, аварии и их последствия с большим экономическим ущербом и человеческими жертвами. Избыточная надежность машин и оборудования связана с низкой эффективностью их производственного использования, перерасходом материальных и энергетических ресурсов. Поэтому надежность машин и оборудования занимает одно из главных мест среди показателей их качества.

Определение надежности. *Надежностью* называют свойство объекта (машины, прибора, механизма, детали) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.002-89). Теория надежности изучает общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, испытаниях, изготовлении, приемке и эксплуатации изделий для получения максимальной эффективности их использования. Она выявляет законы возникновения отказов и восстановления работоспособности изделий, создает основы расчета надежности и прогнозирования отказов, изыскивает способы повышения надежности при конструировании и изготовлении изделий, а также ее сохранения при эксплуатации, определяет методы сбора, учета и анализа статистических сведений, характеризующих надежность.

Свойства надежности. Надежность является комплексной характеристикой, включающей следующие свойства: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказностью называют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. *Наработкой* называют продолжительность или объем работы объекта. Ее измеряют в единицах времени, числом рабочих циклов, количеством перемещенных грузов. *Долговечность* — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Под *ремонтпригодностью* понимают свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем ремонтов и технического обслуживания. *Сохраняемость* — свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние во время и после хранения и (или) транспортирования.

Для конкретных видов машин в зависимости от условий их применения эти свойства могут иметь различную относительную значимость. Например, для крана, отказ которого может явиться причиной несчастного случая или повлечь крупные убытки от простоев, наиболее существенно свойство безотказности, а для конвейерной линии с вместительными промежуточными емкостями — свойство ремонтпригодности, так как непродолжительные отказы не влияют на производительность линии.

В теории надежности различают: состояния — исправное (исправность), неисправное (неисправность), работоспособное (работоспособность), неработоспособное (неработоспособность) и предельные события — повреждение и отказ. В исправном состоянии объект соответствует всем требованиям нормативно-технической документации, а в неисправном состоянии — не соответствует хотя бы одному из них. В работоспособном состоянии объект способен выполнять заданные функции и сохранять значения всех параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. Неработоспособное состояние — это такое состояние, при котором значение хотя бы одного из параметров не соответствует этим требованиям. Понятие "исправность" шире понятия "работоспособность": исправный объект удовлетворяет всем требованиям, а работоспособный — лишь тем, которые обеспечивают его нормальное функционирование. Например, конвейер с небольшим повреждением ленты работоспособен, но неисправен.

Предельным состоянием называют такое состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена вследствие: неустранимого нарушения требований безопасности; неустранимого изменения параметров по сравнению с заданными значениями; неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой; необходимости проведения среднего или капитального ремонта. Например, предельным может быть состояние ка-

ната, при котором он подлежит выбраковке согласно Правилам; состояние тормоза, когда тормозной момент не соответствует Правилам; состояние крана в целом по окончании установленных сроков эксплуатации до капитального (среднего) ремонта, в соответствии с Единой системой ППР.

Повреждением называют событие, связанное с нарушением исправности объекта или его составных частей. Оно может быть существенным (являться причиной нарушения работоспособности) и несущественным (при сохранении работоспособности). Например, падение крупного куска груза на ленту конвейера вызвало сквозную пробоину. Это же воздействие могло вызвать сквозной продольный порез ленты, если бы упавший кусок застрял в загрузочной воронке. В первом случае конвейер остался работоспособным, а во втором его работоспособность была нарушена, так как груз просыпался в месте пореза, и конвейер эксплуатировать стало нельзя. Некоторые незначительные повреждения со временем могут переходить в значительные с отказами объекта.

Отказом называют событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки (критерии) отказов устанавливают нормативно-технической документацией. При классификации отказов применяют термины: независимый и зависимый, внезапный и постепенный, перемежающийся, конструкционный, производственный и эксплуатационный и др.

Независимым отказом называют отказ, не обусловленный отказом другого объекта, в отличие от *зависимого*, возникновение которого связано с отказом одного или нескольких других объектов данной системы. *Внезапные* отказы характеризуются скачкообразным недопустимым изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Возникают они, как правило, без предшествующих симптомов в результате неблагоприятного сочетания внешних воздействий, превышающих возможности объекта к их восприятию. Чаще всего при таких отказах изделие совсем не может выполнять своих функций (поломка вала механизма подъема, обрыв тяговой цепи или подъемного каната и др.). Внезапные отказы подобного рода называют отказами *функционирования*. *Постепенные* отказы, связанные, как правило, с процессами изнашивания, коррозии, усталости и ползучести, характеризуются постепенным изменением одного или нескольких параметров объекта с выходом их за допустимые пределы (недопустимое снижение мощности двигателя в результате износа деталей цилиндропоршневой группы; недопустимое увеличение тормозного пути в результате износа деталей тормоза и др.). Такие отказы в литературе называют *параметрическими*.

Перемежающимися называют многократно повторяющиеся отказы одного и того же характера, обусловленные дефектами конструкции, нарушением процесса изготовления, низким качеством мон-

тажа, неправильной эксплуатацией. Подобные отказы называют также *систематическими*. Деление отказов на *конструкционные*, *производственные* и *эксплуатационные*, связывают с тем, на какой стадии жизненного цикла объекта допущены несовершенства или нарушены установленные правила, нормы, требования и условия, обусловившие возникновение отказа.

Различают также отказы *полный*, при котором объект не может функционировать (например, при упомянутой поломке вала), и *частичный*, после которого объект можно использовать по назначению, но с меньшей эффективностью. Например, при отказе свечи зажигания автомобильный кран может двигаться, но с меньшей скоростью из-за падения мощности двигателя. В этом случае отказ самой свечи будет полным, а отказ крана – частичным.

Большинство отказов связано с необратимыми процессами в машинах (процессами старения). Их внешними проявлениями являются: разрушение, деформация, изменение свойств материалов (механических и магнитных, структуры, химического состава), загрязнение смазочного материала и топлива, разъедание (коррозия, эрозия, кавитация, прогар, трещинообразование и др.), наростообразование (налипание, нагар, зарастивание отверстий – облитерация и др.), изменение свойств поверхностного слоя (шероховатости, твердости, напряженного состояния и др.), изнашивание (истирание, усталостное разрушение поверхностных слоев, смятие, перенос металла), изменение условий контакта (площади касания, сплошности смазочного материала и др.). Наиболее характерными для ПТМ внешними проявлениями процессов старения являются разрушение и изнашивание деталей. Их природа более подробно рассмотрена ниже.

При анализе отказов и повреждений рассматривают их причины и последствия. Причинами отказа могут быть дефекты, допущенные при конструировании, производстве и ремонтах, нарушения правил и норм эксплуатации, различного рода повреждения, а также естественные процессы изнашивания и старения. Последствия отказа – явления, процессы и события, возникшие после отказа (повреждения) и в непосредственной причинной связи с ним (например, падение груза вследствие обрыва каната).

Объекты. Различают восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты. *Восстанавливаемый* объект – объект, исправность которого при возникновении отказа или повреждения подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации; *невосстанавливаемый* объект – объект, не подлежащий восстановлению. Все машины относятся к числу восстанавливаемых, а отдельные их элементы могут быть как восстанавливаемыми, так и невосстанавливаемыми. Например, к числу последних относят подшипники качения, клиновые ремни, стальные канаты, изношенные приводные цепи, уплотнения, некоторые элементы электрооборудования и др., т.е. то, что невозможно

восстановить в условиях эксплуатации. Нередко к ним относят также зубчатые колеса, валы, зубчатые муфты, крепежные изделия и другие элементы, восстановление которых невыгодно.

Поток отказов. Наглядное представление о надежности машин дают графики их работы. На горизонтальной оси графика от некоторого начального момента O откладывают периоды времени работы (pa), ремонтов (pe), выполняемых при возникновении отказа, и технических обслуживаний – профилактик (np). Эти периоды могут быть различными по продолжительности и чередованию. При всей простоте такой график содержит обширную информацию о надежности машины. Если промежутки pa короткие – машина имеет низкую безотказность, а длинные участки pe и np свидетельствуют о низких ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности. По графику можно судить и о долговечности машины: чем длиннее периоды, тем выше долговечность. По отрезкам pa работы можно построить график потока отказов. Отрезки на нем соответствуют отрезкам pa по графику работы.

Резервирование – применение дополнительных (избыточных) средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

Различают следующие виды резервирования: *общее*, при котором резервируют объект в целом (например, вместо требующейся одной машины устанавливают две, три и более); *временное* – с использованием резервов времени (например, второй и третьей смены); *функциональное* – с использованием способности элементов выполнять дополнительные функции (например, способность канатоведающего шкива лифта предохранять канаты от обрыва); *нагрузочное* – с использованием способности объекта воспринимать дополнительные нагрузки, обеспечивать повышенную производительность и др.; *замещением* – с выполнением другим объектом функций отказавшего объекта (например, установка аварийного тормоза); *смешанное* – с совмещением различных видов резервирования; *постоянное* – с функционированием резервных элементов (объектов) наравне с основными и др. Наиболее распространенным является общее резервирование: при минимально необходимом одном лифте в жилом доме устанавливают два, при двух необходимых эскалаторах устанавливают три или четыре и т. д. Отношение числа резервных элементов (объектов) к числу резервируемых называется *кратностью резерва*. Резервирование с кратностью, равной единице, называется *дублированием*. Дублирование – наиболее экономичный вид общего резервирования.

Для решения практических задач по оценке надежности необходимы ее количественные измерители, которые называют показателями надежности. Различают единичные и комплексные показатели.

Единичный показатель количественно характеризует только одно свойство надежности объекта, а комплексный может одновременно характеризовать несколько его свойств.

Показатели безотказности. *Вероятность безотказной работы* — вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданного интервала времени t отказ объекта не возникнет. На основании опытных данных статистическая вероятность безотказной работы определяется по формуле. Обозначив r число объектов, отказавших ко времени t , из общего числа наблюдаемых объектов N , работоспособных в начальный момент времени $t = 0$, получим:

$$P(t) = (N - r)/N,$$

где $(N - r)$ — число объектов, проработавших безотказно до момента времени t .

Если отказ связан с дорогостоящей или аварийно опасной задержкой производства, а также для ответственных элементов машин (крюки, валы, зубчатые колеса и др.), рекомендуется принимать $P(t) \geq 0,99$, а если отказ может привести к несчастному случаю, $P(t) \geq 0,9999$. Если отказ не связан с тяжелыми последствиями и вызывает незначительные экономические потери, что соответствует практике использования многих машин, то допустимое значение $P(t)$ в интервале t принимают намного ниже указанного или вообще этот показатель не нормируют.

Средняя наработка T_1 до отказа — математическое ожидание наработки до первого отказа. Ее определяют для невосстанавливаемых объектов таких, как канаты, подшипники качения, крюки и др. При плане испытаний (N, U, N) по ГОСТ 16504-81 этот показатель определяется статистически отношением суммы наработки $\sum t_i$ испытуемых объектов до отказа к количеству наблюдаемых объектов N :

$$T_1 = \sum t_i / N.$$

В ряде случаев более наглядны другие показатели безотказности, в частности, *интенсивность отказов $\lambda(t)$* и *параметр потока отказов ω_B* . Понятие об интенсивности отказов $\lambda(t)$ и способах ее определения дано выше. Согласно отраслевому стандарту показатель ω_B используют в качестве обязательного для подъемно-транспортных машин, внезапный отказ которых может привести к аварии или большим экономическим потерям, а также для машин, перевозящих людей в местах их скопления (лифты административных зданий, эскалаторы и др.). Значение ω_B определяют по формуле:

$$\omega_B = n_B / \sum t_i,$$

где n_B — количество внезапных отказов, зарегистрированных в период наблюдения; $\sum t_i$ — наработка за тот же период.

Наработка T_0 на отказ — отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Нарработку на отказ статистически определяют отношением суммарной наработки $\sum t_i$ восстанавливаемых объектов к суммарному числу N_0 отказов этих объектов:

$$T_o = \frac{1}{N_0} \sum t_i.$$

При экспоненциальном распределении оценка наработки на отказ

$$T_0 = \frac{1}{\lambda(t)} = \frac{1}{\lambda}.$$

При $\lambda = \omega_v$

$$T_0 = \frac{1}{\omega_s}.$$

Наработка на отказ зависит от длительности периода, в течение которого она определяется. Это обусловлено непостоянством характеристик потока отказов. Например, в период приработки наработка на отказ меньше, чем после его окончания. И в период, предшествующий капитальному ремонту или профилактике, она снова уменьшается.

Показатели долговечности. *Гамма-процентный ресурс* — наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ (%). Например, если $\gamma = 90\%$, то соответствующий ресурс называют "девяностопроцентным ресурсом".

Для массовых и крупносерийных изделий ПТМ ОСТ 24.190.03-83 устанавливают 90%-ный ресурс до капитального ремонта. Для его определения рекомендуется: установить наблюдение за определенным количеством объектов $N = 10i$ (где i — целое число не менее 5); зарегистрировать наименьшие ресурсы в количестве i ; принять в качестве 90%-ного ресурса наибольший из этих ресурсов. Например, установив наблюдение за 60 кранами, зарегистрировали ресурсы 6 канатов ($i = 6$) 97, 110, 121, 130, 138 и 142 дня; 90%-ный ресурс канатов в этих условиях можно принять равным 142 дням. Для определения 80%-ного ресурса пришлось бы продолжить наблюдение до замены еще 6 канатов на любых из 60 наблюдаемых кранов.

В общем виде гамма-процентный ресурс определяют по графику функции $P(t)$.

Средний ресурс — математическое ожидание ресурса. При наличии данных о ресурсе (сроке службы, сроке сохраняемости) N объектов статистическая оценка среднего ресурса

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

где x_i — ресурсы объектов.

Для невосстанавливаемых изделий особо ответственного назначения используют показатель долговечности, названный *назначенным ресурсом*. Под ним понимают суммарную наработку объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Этот показатель используют при установлении периодичности технического обслуживания и ремонта машин.

По ОСТ 24.190.03-83 для машин нормируется средний ресурс до капитального ремонта или до списания, при этом количество N зарегистрированных величин ресурсов t_i рекомендуется принимать не менее 10 ($N \geq 10$).

У большинства машин ресурсы до списания велики и нормирование среднего ресурса до списания для них практически не имеет значения из-за отдаленности сроков предъявления претензий о несоблюдении этого показателя.

Показатели ремонтпригодности: *вероятность восстановления* в заданное время и *среднее время восстановления*. Первый из них – вероятность того, что время восстановления объекта после отказа не превысит заданного, второй – математическое ожидание времени восстановления. Под временем восстановления подразумевают суммарное время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказа. При наличии статистических данных о длительности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$ восстановления m объектов оценка среднего времени восстановления

$$T_e = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_i$$

Эти показатели ремонтпригодности отраслевыми документами для машин не предусмотрены, хотя в ряде случаев их нормирование целесообразно, например, при использовании ПТМ без резервирования в комплексе с другим технологическим оборудованием, когда длительный простой лишь одной из машин может надолго вывести из строя весь технологический комплекс и повлечь за собой крупные экономические потери. Показатели ремонтпригодности важны и для таких ПТМ, как лифты, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры и др., длительные простои которых при внезапных отказах хотя и не всегда вызывают прямые экономические потери, но связаны с дезорганизацией движения и большими неудобствами для пользующихся ими.

Показатели сохраняемости: *гамма-процентный* и *средний сроки сохраняемости*. Первый показатель – срок сохраняемости, который будет достигнут объектом с заданной вероятностью γ (%), второй – математическое ожидание срока сохраняемости. Сроком сохраняемости называют календарную продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения заданных показателей в установленных пределах. Для многих машин период между отправкой их с завода-

изготовителя до подачи в монтаж может исчисляться годами. При соблюдении правил транспортирования и хранения элементы машин, как правило, не изменяют заданных показателей. Но имеются и такие машины, у которых при длительном хранении они существенно ухудшаются. Для них целесообразно нормирование показателей сохраняемости. Методы их определения аналогичны методам определения гамма-процентного и среднего ресурсов.

Комплексные показатели надежности. Известно более 10 таких показателей. Из них три регламентированы отраслевым стандартом ОСТ 24.190.03-83.

Коэффициент готовности определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии $\sum_{i=1}^N \xi_i$ к произведению числа N этих объектов на продолжительность T_p эксплуатации за исключением простоев на проведение плановых ремонтов и технических обслуживаний:

$$K_r = \frac{1}{NT_p} \sum_{i=1}^N \xi_i,$$

где ξ_i – суммарное время пребывания i -го объекта в работоспособном состоянии ($i = 1, 2, 3, \dots, N$). Поскольку время T_p у различных объектов наблюдаемой группы может не совпадать, значение K_r целесообразнее определять по выражению:

$$K_r = \sum_{i=1}^m \xi_i / \left(\sum_{i=1}^m \xi_i + \sum_{i=1}^m \tau_i \right),$$

где $\sum_{i=1}^m \tau_i$ – суммарное время на восстановление работоспособности наблюдаемых объектов после отказа.

При порядке обслуживания, предусматривающем немедленное начало восстановления отказавшего объекта, коэффициент готовности

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_e),$$

где T_0 – наработка на отказ; T_e – среднее время восстановления.

Как видно из формулы, коэффициент готовности объединяет два единичных показателя надежности: наработку на отказ T_0 , характеризующую безотказность, и среднее время T_e восстановления, характеризующее эксплуатационную технологичность.

По РТМ 24.090.23-76 для машин коэффициент K_r готовности принят в качестве допустимого показателя вместо обязательного, называемого *коэффициентом простоев* K_n , который связан с коэффициентом готовности зависимостью:

$$K_{\Gamma} = 1/(1 + K_n).$$

Из этой зависимости следует, что

$$K_{\Pi} = \frac{1 - K_{\Gamma}}{K_{\Gamma}} = \frac{1}{K_{\Gamma}} - 1.$$

Удельная суммарная стоимость ремонтов $C_{y.p}$ определяется как отношение средней суммарной стоимости ремонтов к математическому ожиданию суммарной наработки объекта за один и тот же период эксплуатации. Под средней суммарной стоимостью ремонтов понимают математическое ожидание суммарных затрат на все виды ремонтов за определенный период эксплуатации.

Технологический процесс и основные операции ремонта машин

Приемка в ремонт – первая операция производственного процесса ремонта машин (отдельных агрегатов, сборочных единиц). Порядок сдачи в ремонт и приемки из него определен отраслевой документацией. Машин (агрегаты) должны поступать в ремонт по графику, в комплектном состоянии. Допускается отсутствие лишь отдельных крепежных и мелких неотчетливых деталей.

Мойка. При ремонтных работах применяют *трехстадийную* мойку машин, эксплуатируемых при интенсивном загрязнении (автомобильных и гусеничных кранов, погрузчиков для сыпучих грузов и др.), и *одно- и двухстадийную* — для сборочных единиц и деталей машин, работающих в закрытых помещениях.

Трехстадийная мойка включает: *наружную мойку* машин (агрегатов) с одновременным выпариванием картеров, *мойку* частично разобранных *агрегатов*; *мойку деталей* полностью разобранных агрегатов.

Разборка. Разборочные работы существенно влияют на трудоемкость и стоимость ремонта. Их технология, техническая подготовка и оснащение определяют не только продолжительность и трудоемкость самой разборки, но и сохранность деталей машин, что особенно важно, так как их изготовление в ремонтном производстве обходится намного дороже, чем при производстве новых машин. Результатом небрежной разборки являются трещины, обломы, вмятины, забоины, порча резьбы и другие дефекты, при которых детали бракуют. Поэтому ее выполнению должно предшествовать соответствующее техническое оснащение: подготовка подъемно-транспортных средств для подъема и перемещения машины и снимаемых с нее элементов; стационарных и передвижных стендов, демонтируемых приспособлений и инструментов, ускоряющих работы и исключающих применение зубил, ломиков и других средств, при которых возрастает количество поврежденных при разборке деталей.

Контроль и сортировка (дефектация) деталей имеет целью разделение их на три группы: *годные* (исправные), *требующие ремонта* и *негодные*. От правильности сортирования существенно зависят стоимость и качество ремонта. Отнесение к негодным тех деталей, которые еще можно использовать до следующего ремонта или отремонтировать, удорожает ремонт, а небрежный контроль и использование дефектных деталей снижает его качество.

Сортируемые детали обычно имеют следующие дефекты: износ, выражающийся в изменении размеров, повреждении и изменении формы поверхностей (появление биения, конусности, овальности, бочко- и седлообразности, некруглости и др.); усталостные трещины; поломки, разрушения сварных и заклепочных швов, обрывы; трещины, волосовины и остаточные деформации от перегрузок, тепловых

напряжений и др.; деформации чугуновых деталей вследствие старения; потеря упругости, коррозия, наросты и др.

Методы дефектоскопии и контроля. Мелкие и скрытые трещины при ремонте выявляют различными методами: магнитным, люминесцентным, рентгеновским, гамма-лучевым, ультразвуковым и красками.

Магнитный метод основан на свойстве магнитного потока образовывать местные поля рассеивания в зоне скрытых трещин, раковин и посторонних включений. При магнитопорошковом способе деталь устанавливают на стол дефектоскопа, намагничивают 2-3-кратным включением тока на 1,5-2 с и поливают магнитной суспензией. Смесь магнитного порошка осаждается в месте поля рассеивания, указывая расположение дефекта. Деталь затем размагничивают медленным отводом от нее электромагнита.

Люминесцентный метод состоит в нанесении на поверхность детали флуоресцирующей жидкости, способной проникать в трещины и поры. Через 10-15 мин излишнюю жидкость удаляют и наносят проявляющий порошок, способный вытягивать впитавшуюся жидкость. Осматривая деталь в ультрафиолетовом свете от специальной установки, можно обнаружить трещины и поры в виде светящихся линий и пятен.

Рентгеновский метод требует использования сложной и дорогой аппаратуры и имеет в ремонтном деле ограниченное применение.

Гамма-лучевой метод основан на использовании γ -лучей с высокой проникающей способностью для просвечивания. Трещины фиксируются на фотопленке, подкладываемой под контролируемую деталь. Просвечивать можно толстые детали (свыше 30-40 мм). Источник γ -лучей имеет малые размеры, подход с ним к контролируемому объекту удобен, оборудование просто и дешево, пользование им не требует высокой квалификации.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в виде направленных пучков и отражаться от дефекта (трещины, раковины, непровара и др.). Используют способы *звуковой тени* и *отражения импульсов*. Способом *звуковой тени* дефект обнаруживают, помещая деталь между излучателем и приемником. Доступ к ней должен быть свободным с обеих сторон, что не всегда возможно. Способ *отражения импульсов* позволяет контролировать деталь, помещая прибор с одной ее стороны.

Контроль красками состоит в нанесении на чистую (обезжиренную) поверхность детали специальной жидкости, окрашенной ярко-красным красителем. Обладая хорошей смачиваемостью, она проникает в мельчайшие трещины. Спустя 10—15 мин, краску смывают и покрывают поверхность нитроэмалью, способной впитывать красную краску. При наличии трещины она четко выявляется в виде красной линии на белом фоне. Этот метод можно использовать, не снимая детали.

Метод акустической эмиссии основан на свойстве металлической конструкции изменять звуковой фон при появлении скрытых

разрушений. По его характеру и изменению, регистрируемому прибором, судят о наличии трещин и местах их расположения.

Водо- и газонепроницаемость гидро- и пневмоцилиндров, корпусов редукторов, базовых деталей двигателей внутреннего сгорания проверяют избыточным давлением жидкости или воздуха. Его значение и время выдержки указывают в технических условиях.

Контролю упругости подвергают пружины клапанов двигателей, сцеплений, тормозов и других сборочных единиц. При контроле определяют сжатие пружины под нагрузкой и ее упругость.

Размеры и форму поверхностей деталей контролируют универсальными и специальными приборами: толщину зубьев — штангензубомерами и специальными индикаторными приборами; радиальный и осевой зазоры шариковых подшипников — приборами индикаторного типа; удлинение цепей — штангенциркулями и шагомерами.

Твердость деталей определяют стационарными и переносными твердомерами.

Агрегатная и общая сборка при ремонте может существенно отличаться от сборки при изготовлении новых машин по методам получения необходимой точности сопряжения деталей. При изготовлении новых машин в серийном производстве сборку проводят, как правило, по методу *абсолютной взаимозаменяемости* (или *максимум-минимум*), при котором заданную точность сопряжений обеспечивают без подбора или пригонки деталей. Этот метод используют и при ремонте, но он не является здесь доминирующим. При ремонте применяют и другие методы: неполной взаимозаменяемости (или теоретико-вероятностный); подбора или селективной (избирательной) сборки; пригонки и регулирования.

По методу *неполной взаимозаменяемости* размеры деталей также обеспечивают заданную точность сопряжения без подбора или пригонки, но не во всех сопряжениях. В этом случае допуски расширены с целью удешевления деталей, и сравнительно небольшое число сопряжений выходит за пределы допуска посадки.

По методу *подбора* или *селективной сборки* допуск на неточность изготовления деталей еще более расширяют, но детали после изготовления сортируют по размерам на несколько групп в пределах более узких допусков и этим обеспечивают практически любую точность сопряжения.

По методу *пригонки* изготавливают детали по экономически приемлемым допускам, а одну из них (компенсирующую) подгоняют по месту. Взаимозаменяемость при этом теряется и приходится выполнять пригоночные работы.

Метод *регулирования* аналогичен методу пригонки, но допуски расширяют для всех собираемых деталей, а избыточную ошибку компенсируют регулированием без снятия стружки или введением в размерную цепь детали-компенсатора. Достоинство метода — возможность наибольшего расширения допусков, достижение любой степени точности и упрощение сборки.

Технологические методы ремонта (восстановления) деталей машин, упрочнения и повышения их износостойкости при ремонте

Назначение ремонта деталей и способы их восстановления. Централизованный ремонт деталей машин в ряде отраслей народного хозяйства стал эффективным путем удовлетворения потребности в запасных частях. Ремонтируемая деталь – идеальная заготовка: она не требует новых материальных и трудовых затрат; размеры ее в максимальной степени приближены к окончательным, поэтому восстановление связано с минимальным объемом механической обработки; количество повреждений поверхностей, как правило, невелико, а следовательно, невелик и объем восстановительных работ. Поэтому стоимость отремонтированных деталей даже в условиях несовершенного ремонтного производства оказывается в несколько раз ниже, чем стоимость новых. Применение эффективных методов упрочнения при ремонте позволяет повышать ресурсы деталей в сравнении с ресурсами новых деталей. Все это определяет высокую эффективность правильно организованного восстановительного ремонта. При огромном парке машин он обеспечивает крупную экономию материалов, энергии и трудозатрат.

Ремонт механической обработкой. Различают два вида ремонта механической обработкой: *под новый* и *под номинальный размер*. При первом виде ремонта номинальный размер детали принимают отличным от первоначального, например: был 100 мм, стал 98 мм, при этом ремонт может быть индивидуальным и под ремонтный размер. При *индивидуальном ремонте под новый размер* обрабатывают наиболее ценную деталь до устранения в ней дефекта (например, до исправления искаженной формы посадочной поверхности), при этом новый размер заранее не регламентируют. Сопряженную деталь изготавливают заново или подгоняют под этот новый случайный размер. Индивидуальный ремонт позволяет удлинить срок службы основной детали, так как при ее ремонте снимают минимальный слой металла. Но он нарушает взаимозаменяемость, что допустимо лишь в единичном ремонтном производстве. При *ремонте под ремонтный размер* заранее устанавливают новый, отличный от начального, номинальный размер, называемый ремонтный, но сохраняют начальный допуск. Обработка деталей данного наименования под новый, заранее установленный размер, обеспечивает сохранение взаимозаменяемости в пределах данного размера. Это позволяет использовать при ремонте приемы крупносерийного производства, что значительно упрощает и удешевляет его. Недостатком такого ремонта является увеличение номенклатуры деталей, так как учет их при каждом новом ремонтном размере (а их может быть несколько) ведут отдельно. Но из-за преимуществ данного метода с этим неудобством мирятся на практике.

При ремонте *под номинальный размер* первоначальные номинальные размеры детали и допуски на них восстанавливают механической обработкой путем удаления дефектного слоя металла или дефектной части детали с установкой на их место дополнительной ремонтной детали (втулки, ввертыши, кольца и др.). По этому способу ремонтируют гладкие отверстия постановкой ремонтной втулки, гильзы, кольца; валы напрессовкой втулки, кольца или постановкой полувтулок; плоские поверхности постановкой планок или накладок; детали сложной формы (зубчатые колеса, венцы звездочек, шлицевые валы и др.) удалением дефектного и установкой нового элемента зубчатого венца, шлицевой ступицы, шлицевого конца вала, венца звездочки. Технологический процесс ремонта по этому методу включает следующие этапы: удаление дефектного слоя детали или дефектного элемента и подготовка поверхности соединения; изготовление ремонтной детали или заменяемой ее части; соединение дополнительной ремонтной детали или заменяемой ее части с основной деталью, скрепление их; окончательная механическая обработка и контроль качества ремонта.

Ремонт слесарно-механической обработкой включает следующие разновидности: опиловку, шабрение, притирку, постановку заплат, штифтование и склеивание. Опиловка, шабрение и притирка – составные части пригоночных работ, выполняемых для получения необходимой точности в сопряжениях. Постановку заплат и штифтование применяют при заделке пробоин, трещин и других повреждений, если нельзя применять сварку или пайку. Наложением заплат ремонтируют стенки картеров, корпусов и других емкостей. Штифтование состоит в последовательном ввинчивании медных штифтов диаметром 4-6 мм в отверстия с резьбой на месте короткой трещины. Склеивание применяют при ремонте треснувших и поломанных деталей из металла и пластмасс. С помощью карбинольного клея склеивают и герметизируют шланги, бензо- и газопроводы, приклеивают тормозные накладки к колодкам и др. Для заделки пробоин и трещин применяют эпоксидные клеевые составы, для заделки раковин в чугунных деталях – бакелитовую мастику. Склеиваемые поверхности нужно тщательно обезжировать.

Ремонт обработкой давлением основан на пластическом деформировании материала, перераспределении его и благоприятном изменении формы и размеров детали без изменения ее массы. Применяют следующие виды обработки давлением: осадку, вдавливание, раздачу, обжатие, вытяжку, правку, накатку, обкатку роликом, дробеструйный наклеп и чеканку.

При *осадке* деталь деформируют в направлении, перпендикулярном к усилию. Осадкой восстанавливают бронзовые втулки с износом, по наружному и внутреннему диаметрам. При деформировании в холодном состоянии их высоту можно уменьшить до 15%. Для сохранения отверстий во втулке их при осадке заполняют вставками.

Диаметр пальца должен быть меньше, чем у отверстия втулки с учетом припуска на обработку.

При ремонте *вдавливанием* направления усилия и деформации также взаимно перпендикулярны, но преобладает местная деформация детали и ее общие размеры не меняются столь значительно, как при осадке. Вдавливанием восстанавливают изношенные боковые поверхности шлицев на валах, зубья шестерен и др. Ремонт стальных деталей проводят с нагревом и без него.

Ремонт *раздачей* применяют для увеличения наружного диаметра полых цилиндрических деталей без изменения высоты. Раздачу проводят под постоянный размер шариком или пуансоном или под любой размер — развальцовкой отверстия.

Ремонт *обжатием* применяют при решении задачи, обратной раздаче. Обжатие проводят проталкиванием детали через матрицу меньшего диаметра или деформированием металла в зоне отверстия. Стальные детали перед этим нагревают до температуры 800-950 °С. Обжатием ремонтируют втулки, зубчатые муфты с внутренними изношенными зубьями, звенья гусениц, рычаги, шатуны и др.

Ремонт *вытяжкой* применяют для увеличения длины детали путем местного уменьшения ее поперечного сечения. Вытяжку применяют для удлинения стержневых элементов (тяг) на небольшую длину.

Ремонт *правкой* обеспечивает исправление искривленных, скрученных и покоробленных деталей. Правкой ремонтируют валы, шатуны, рычаги, вилки, кронштейны, элементы металлоконструкций. При небольшой деформации (до 1,5-2 мм) правку проводят в холодном состоянии, а при большой — в нагретом. В обоих случаях после правки нужна термообработка детали для стабилизации правки, снятия остаточных напряжений и улучшения механических свойств материала. Правку выполняют на прессах, в специальных приспособлениях и вручную.

Накаткой восстанавливают шейки валов с нарушенными размерами в месте посадки. Ее проводят острозубчатым роликом, создающим рифления с вытеснением металла и увеличением диаметра вала в месте накатки. Нужный размер обеспечивают последующей механической обработкой.

Сварка и наплавка — наиболее распространенные способы ремонта и восстановления деталей, имеющих любую форму и размеры. Сваркой ремонтируют детали и металлические конструкции с разнообразными дефектами (трещинами, пробоинами, разрывами, отколами, обломами и др.), наплавкой восстанавливают изношенные детали. Наплавкой можно нарастить слой металла практически любой толщины с разнообразными, заранее заданными свойствами (например: с высокой износо-, жаро- и коррозионной стойкостью и др.).

Наиболее распространенные способы сварки — дуговая и газовая, наплавка — электродуговая, газовая, вибродуговая, индукционная, электроконтактная, плазменная, электрошлаковая.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ивашков И.И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.
- 2 Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
- 3 Когарев В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.
- 4 Блакшин Б.С. Основы технологического машиностроения – М.: Машиностроение, 1969 г.
- 5 Соломенцев Ю.М. Павлов В.В. "Моделирование технологической среды машиностроения" – М.: Станки, 1994 г.