

**1.2. Основные понятия и определения теории надежности**

*Надежность* – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки.

В определении надежности фигурирует термин «объект» – предмет определенного целевого назначения, рассматриваемый в период проектирования, производства, эксплуатации, исследований и испытаний на надежность.

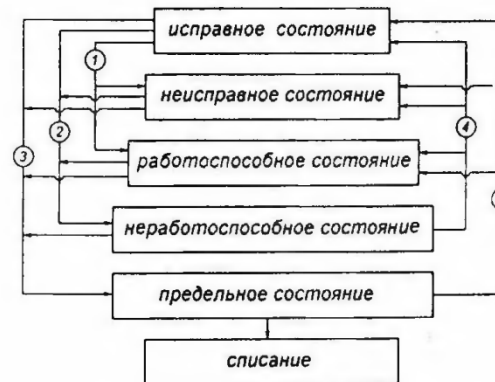
В теории надежности под объектом понимают изделия, технические системы и их элементы, машины, агрегаты, сборочные единицы, детали, аппараты, приборы и т.д.

Объект, предназначенный для самостоятельного выполнения заданной функции, называется системой, представляющей собой совокупность элементов. Например, если бульдозер рассмотрен в качестве системы, то его отдельные детали и сборочные единицы являются элементами этой системы.

Первостепенное значение надежности связано с тем, что ее уровень в значительной степени определяет развитие автоматизации производственных процессов, интенсификации рабочих процессов, экономии материалов и энергии.

Актуальность надежности возрастает в связи со сложностью современных машин и важностью функций, которые они выполняют. Современные технические средства состоят из множества взаимодействующих механизмов, аппаратов и приборов. Отказ хотя бы одного элемента сложной системы приводит к нарушению работы всей системы. При увеличении числа элементов, входящих в систему, при постоянной надежности каждого из них снижается надежность всей системы.

Объект с точки зрения надежности может находиться в одном из следующих состояний: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном (рис.1.2).



**Рис 1.2. Схема основных состояний объекта и событий:**  
 1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – переход объекта в предельное состояние; 4 – восстановление; 5 – ремонт

*Исправное состояние* – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Неисправное состояние* – состояние объекта, при котором он не удовлетворяет хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Работоспособное состояние* – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Неработоспособное состояние* – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

При оценке предельного состояния используются критерии предельного состояния, которые для подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и их составных частей (сборочных единиц, механизмов, агрегатов или узлов) представлены в таблицах 1 и 2 приложения.

Переход объекта из исправного состояния в неисправное или работоспособное состояние называют *повреждением*. Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Переход объекта в неработоспособное состояние из исправного, неисправного или работоспособного состояния называют *отказом*. Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает применение объекта по назначению. Работоспо-

собный объект может быть неисправным, например не удовлетворять эстетическим требованиям, но его внешний вид не влияет на применение по назначению.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение применения объекта по назначению (списание). Вид предельного состояния зависит от конструкции объекта, возможности его ремонта. Все объекты подразделяют на ремонтируемые и неремонтируемые.

*Ремонтируемый объект* – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической и (или) конструкторской документацией.

*Неремонтируемый объект* – объект, ремонт которого не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской документацией.

Большинство изделий машиностроения относят к ремонтируемым объектам. Неремонтируемые объекты – поршневые кольца, фрикционные накладки тормозов и сцеплений, прокладки, манжеты, уплотнительные кольца.

Неремонтируемые объекты могут иметь предельное состояние двух видов. Первый вид совпадает с неработоспособным состоянием. Второй вид связан с тем, что, начиная с некоторого момента времени, применение работоспособного объекта по назначению недопустимо в связи с опасностью или вредностью его использования. Переход неремонтируемого объекта в предельное состояние второго вида происходит раньше возникновения отказа.

Ремонтируемые объекты имеют два вида предельных состояний. При первом виде объект отправляют в ремонт, временно прекращая применение объекта по назначению. При втором виде предельного состояния окончательно прекращают применение объекта по назначению (списывают).

*Ремонт* – это комплекс операций, предназначенный для восстановления исправности и работоспособности изделий и их составных частей.

*Наработка* – продолжительность или объем работы объекта, измеряемые в машино-часах, километрах пробега и др.

*Технический ресурс* (ресурс) – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновление после капитального ремонта до перехода в предельное состояние.

Различают два вида ремонта: капитальный и текущий.

*Капитальный ремонт* выполняют для восстановления исправности и полного (или близкого к полному) ресурса изделия с заменой или восстановлением любых составных частей, в том числе и базовых.

*Текущий ремонт* заключается в восстановлении работоспособности машины с заменой или ремонтом отдельных составных частей, исключая базовые элементы.

Переход восстанавливаемого объекта из неработоспособного состояния в работоспособное или исправное состояние происходит с помощью ремонта.

*Восстанавливаемый объект* – объект, для которого восстановление работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Невосстанавливаемый объект* – объект, восстановление работоспособного состояния которого не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Переход объекта из предельного состояния в работоспособное или исправное состояние возможен с помощью ремонта, при котором происходит восстановление ресурса объекта в целом.

Надежность включает в себя такие свойства, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Для каждого объекта характерны все или часть свойств надежности. Так, для объектов, подлежащих длительному хранению, важно свойство сохраняемости.

**Безотказность.** Это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Это свойство особенно важно для объектов, отказ которых опасен для жизни людей. Отказ рулевого управления или тормозов автомобиля может иметь тяжелые последствия, поэтому для таких объектов безотказность – наиболее важная составная часть надежности.

Первостепенное значение безотказность имеет для объектов, отказ которых вызывает перерыв в работе большого комплекса машин; остановку автоматизированного производства.

Из определения безотказности следует, что ее исчисляют временем или наработкой до момента возникновения отказа, установления причин отказов, виновников их возникновения и разработки мероприятий по снижению вероятности их возникновения. При этом основой классификации отказов являются характер возникновения и особенности протекания процессов, приводящих к отказу (рис.1.3).

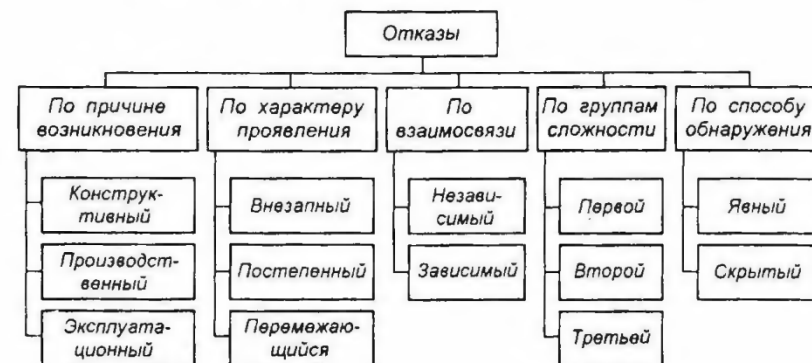


Рис 1.3. Классификация отказов

Отказы делят по причине возникновения, характеру проявления, взаимосвязи, группам сложности и способу обнаружения. Кроме того, отказы бывают ресурсные и деградационные.

По причине возникновения отказы делят на конструктивные, производственные и эксплуатационные.

*Конструктивный отказ* – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования объекта.

Конструктивный отказ возникает в результате несовершенства конструкции объекта: при наличии ошибочных исходных данных для проектирования, ошибок при выборе кинематики механизмов, выполнении прочностных расчетов, неправильном назначении материала детали, технических требований на изготовление отдельных элементов и объекта в целом и т.д. Например, для повышения безотказности работы двигателя А-41 заводом-изготовителем установлены следующие детали: гильзы

цилиндров с третьей канавкой под резиновое антикавитационное кольцо; промежуточная опора кулачкового вала; трубки высокого давления с конусами, выполненными с упорным кольцом; шестерня коленчатого вала из стали 18ХГТ вместо стали 45 с цементацией и повышенной твердостью зубьев.

Желательно мероприятия по устранению конструктивных отказов проводить на более ранних стадиях производства объекта (на этапе разработки конструкторской документации, испытания опытных образцов, изготовления установочной партии изделий в процессе серийного производства).

*Производственный отказ* – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии.

Производственные отказы возникают в результате неправильного назначения технологических процессов изготовления или восстановления деталей и сборки объекта или служат следствием нарушения принятой технологии, а также неудовлетворительного качества материала деталей или наносимых на них покрытий, применение недостаточно точных измерительных средств, невыполнения технических требований на изготовление и сборку элементов и объекта в целом. Например, для снижения вероятности поломки коленчатого вала двигателя А-41 завод-изготовитель ввел накатку галтелей шеек коленчатого вала.

Из общего числа рекламаций по отремонтированным двигателям СМД-62 на выплывание и проворачивание вкладышей коленчатого вала приходится 51,8 % и на его излом – 14 %. Причиной первого отказа считают неплоскостность торцов крышки, в результате которой не обеспечивается нормальный зазор в подшипнике, и плохое сцепление антифрикционного слоя с основным металлом. Причины второго отказа – уменьшение радиуса галтели при шлифовании, несоосность коренных опор, наличие трещин у входных отверстий масляных каналов.

*Эксплуатационный отказ* – отказ, возникающий в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации объекта.

Эксплуатационные отказы возникают вследствие использования объектов в условиях, для которых они не предназна-

лись, нарушения правил эксплуатации (недопустимые перегрузки, невыполнение правил ТО, несвоевременное проведение регулировок, применение не соответствующих требованиям топливо-смазочных материалов, несоблюдение правил транспортировки и хранения). Например, при грубых нарушениях режимов ТО элементов воздушного тракта двигателя КамАЗ-740 наработка до его отказа уменьшается более чем в 2,5 раза. Для полного износа шатунно-поршневой группы достаточно пропустить через систему питания воздухом 120...150 г абразивной пыли.

Недостатки в установке рукавов высокого давления (снижение радиуса изгиба, трение о металлические детали, скручивание, крепление скобами без эластичных прокладок) приводят к более частым отказам гидросистемы навески тракторов.

Распределение отказов по причине их возникновения для некоторых базовых тракторов строительных и дорожных машин (типа МТЗ-82.1 и Т-130М при наработке до 5000 ч) приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Распределение отказов для тракторов МТЗ-82.1 и Т-130М в зависимости от наработки, %

Интервал наработки, ч	Отказ		
	конструктивный	производственный	эксплуатационный
0...1000	1	63	36
1001...2000	5	50	45
2001...3000	6	41	53
3001...4000	9	31	60
4001...5000	11	25	64

По характеру проявления отказы подразделяют на постепенные, внезапные и перемежающиеся.

*Постепенный отказ* возникает в результате постепенного изменения значений одного или нескольких заданных параметров объекта.

Главная причина постепенного отказа – естественное старение и изнашивание (увеличение зазоров, ослабление посадок). К характерным примерам постепенных отказов двигателя относят предельный износ деталей и соединений, повышенный расход масла, низкое давление в смазочной системе, снижение



мощности и т.д.

Основным признаком постепенного отказа является то, что вероятность его возникновения  $F(t)$  в течение заданного периода времени от  $t_1$  до  $t_2$ , зависит от длительности предыдущей работы изделия  $t_1$  (рис. 1.4, а). Чем дольше использовалось

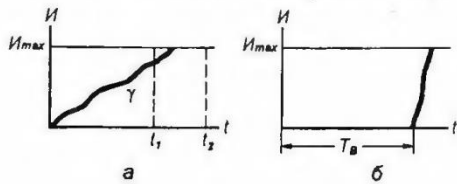


Рис. 1.4. Схема возникновения постепенного (а), внезапного (б) отказов

изделие, тем выше вероятность возникновения отказа, т.е.  $F_2(\Delta t) > F_1(\Delta t)$ , если  $t_2 > t_1$ , где  $F_i(\Delta t)$  – вероятность отказа за период от  $t_i$  до  $(t_i + \Delta t)$ .

Для постепенного отказа процесс потери работоспособности  $X(t)$  начина-

ется сразу при эксплуатации изделия, а его скорость  $\gamma$  либо постоянна, либо является функцией времени  $\gamma(t)$ .

При ТО и ремонтах принимают меры, предупреждающие или увеличивающие наработку до возникновения отказа путем регулировок, замены быстроизнашивающихся деталей и т.д. Например, при соблюдении рекомендуемого давления в шине, своевременной балансировке колес и регулировке их установки можно значительно увеличить наработку до отказа шины.

**Внезапный отказ** – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта, определяющих его качество.

Основным признаком внезапного отказа является то, что вероятность его возникновения  $F(t)$  в течение заданного периода времени от  $t_1$  до  $t_2$ , не зависит от длительности предыдущей работы изделия (рис. 1.4, б).

Примерами таких отказов могут служить тепловые трещины, возникшие в детали вследствие прекращения подачи смазки; поломки детали из-за неправильных методов эксплуатации машины или возникновения перегрузок; деформация или поломка деталей, попавших в непредусмотренные условия работы.

Отказ при этом происходит, как правило, внезапно, без предшествующих симптомов разрушения и не зависит от степени изношенности изделия.

Например, причиной отказа автомобильной покрышки может быть как износ протектора в результате длительной эксплуатации машины, так и прокол, возникший вследствие езды по плохой дороге и неблагоприятного сочетания случайных факторов.

Вероятность отказа покрышки из-за износа протектора у старой покрышки во много раз больше, чем у новой. В противоположность этому – прокол – внезапный отказ – не связан с длительностью работы покрышки до данного события. Вероятность его возникновения одинакова как для новых покрышек, так и для изношенных.

Для внезапного отказа время его возникновения  $T_в$  является случайной величиной и подчиняется некоторому закону распределения  $f(T_в)$ , не зависящему от состояния изделия. Скорость процесса при его возникновении протекает весьма быстро  $\gamma \rightarrow \infty$  и не она, а функция  $f(T_в)$  определяет вероятность безотказной работы.

**Перебегающий отказ** – многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта.

Отказ в этом случае многократно возникает и сам устраняется. Пример такого отказа – ухудшение параметров двигателя из-за образования нагара в камере сгорания, При быстрой езде нагар обычно выгорает и отказ самоустраняется.

По взаимосвязи отказы подразделяют на независимые и зависимые.

**Независимый отказ** – отказ объекта, не обусловленный отказом другого объекта.

**Зависимый отказ** – отказ, обусловленный другими отказами. Независимый отказ элемента вызывается потерей работоспособности именно этого элемента, а не является следствием потери работоспособности другого элемента технической системы. Например, поломка зубца шестерни масляного насоса двигателя из-за попадания в насос постороннего предмета относится к независимому отказу. Но отказ насоса может привести к задиру или выплавлению подшипников коленчатого вала, отказ которых является зависимым.

По сложности устранения отказы объектов целесообразно делить на три группы.

## Примеры классификации по группам сложности отказов некоторых агрегатов строительных и дорожных машин

Отказы первой группы сложности устраняют заменой или ремонтом деталей, расположенных снаружи агрегатов или сборочных единиц, или же путем внеочередного проведения операций ежесменного ТО (ЕТО) и периодически ТО (ТО-1 и ТО-2). Как правило, эти отказы устраняют механики-водители в полевых условиях.

Отказы второй группы сложности устраняют заменой или ремонтом легкодоступных сборочных единиц и агрегатов с раскрытием внутренних полостей основных агрегатов или проведением операций внеочередного ТО-3. Эти отказы можно устранять в полевых условиях, но с участием персонала передвижных ремонтных средств (мастерской).

Отказы третьей группы сложности устраняют, разбирая основные агрегаты в условиях ремонтных предприятий.

Например, излом по сварке рычага включения переднего моста трактора Т-100М – отказ первой группы сложности, трещины трубок масляного радиатора гидросистемы – отказ второй группы, предельный износ подшипника вала ходоуменьшителя – отказ третьей группы сложности.

Для устранения отказов второй и третьей групп часто требуется участие ремонтного персонала, грузоподъемных средств и сменных частей. Так, отказы второй и третьей групп сложности происходят, например, у тракторов МТЗ-82.1 и Т-130М 6...8 раз в год. При этом средняя продолжительность устранения одного отказа без учета ожидания ремонта и запасных частей 2...3 дня, а с учетом последнего 3...3,5 дня для трактора МТЗ-82.1 и 5...6 дней – Т-130М. Отказы этих групп в наибольшей степени сказываются на эффективности использования машин.

Примеры классификации по группам сложности отказов строительных, дорожных машин и их агрегатов приведены в таблицах 1.3...1.4.

По способу обнаружения различают явный и скрытый отказы.

*Явный отказ* – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.

Группа сложности	Отказ
1	2
Первая	<p><u>Блок цилиндра двигателя</u></p> <p>Коррозионное разрушение трубки слива воды из блока. Ослабление крепления, ослабление посадки шкива коленчатого вала. Ослабление болта крепления цапфы передней опоры. Излом деталей механизма натяжения ремня вентилятора. Потеря эластичности уплотнения бокового лючка. Ослабление крепления поддона картера. Нарушение уплотнения крышки привода топливного насоса</p>
Вторая	<p>Износ, изгиб штанги толкателя. Износ, излом шкива, смятие шпонки шкива коленчатого вала. Разрыв наружных шпилек и болтов, срез резьбы в блоке для наружных креплений. Излом крышки распределительных шестерен. Излом трубки подвода смазки (внутри картера распределительных шестерен). Потеря эластичности уплотнения крышки распределительных шестерен или поддона. Износ и выкрашивание зубьев шестерни привода топливного насоса</p>
Третья	<p>Задиры, износ упорных полуколец. Изгиб, скручивание шатуна. Износ, проворачивание вкладышей, выкрашивание антифрикционного сплава хотя бы на одном из вкладышей шатунных или коренных подшипников, требующие их замены. Трещина картера распределительных шестерен. Разрыв болта маховика. Износ ведущего пальца маховика. Износ, излом, закоксовывание поршневых колец. Износ, скол более чем двух зубьев венца маховика. Износ шейки, кулачка распределительного вала и кол кулачка. Заклинивание, наволакивание антифрикционного сплава хотя бы на одной шейке коленчатого вала, требующие зачистки шейки</p>

1	2
Третья	Разрыв шатунного болта. Разрыв, ослабление болта крепления кожуха маховика. Потеря эластичности каркасного сальника заднего конца коленчатого вала. Разрыв, ослабление болтов крепления редуктора пускового двигателя к заднему мосту. Трещина блока (не требующая замены блока). Разрушение, потеря эластичности резинового кольца уплотнения гильзы цилиндра. Срез резьбы на шпильке или под шпильку крепления крышки коренного подшипника картера маховика
Первая	<u>Система топливоподачи двигателя</u> Нарушение регулировки форсунки. Излом, износ или коррозия деталей подкачивающей помпы. Излом деталей фильтра очистки топлива. Излом, трещины трубопроводов высокого или низкого давления. Потеря эластичности в соединении трубопроводов
Вторая	Износ, излом, нарушение регулировки деталей и сопряжений топливного насоса или регулятора. Разрыв болта, срез резьбы крепления диска привода топливного насоса. Износ и излом деталей форсунки. Зависание и закоксование иглы распылителя. Трещина, излом кронштейна крепления фильтров. Разрушение, износ муфты опережения впрыска топливного насоса
Примечание: Полный перечень классификации по группам сложности агрегатов приведен в РД 10.2.8-92 «Испытание техники. Надежность. Сбор и обработка информации»	

К явным относятся такие отказы элементов, на обнаружение которых тратится небольшое время – менее, например, 10 мин (или другой установленной нормы).

*Скрытый отказ* – это отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении ТО или специальными методами диагностирования. К скрытым относятся отказы элементов, на обнаружение которых требуется время свыше установленной нормы. Такие отказы часто наблюдаются в гидро-, пневмо- и электросистемах.

Существуют также ресурсный и деградационный отказы.

Таблица 1.4  
Примеры классификации по группам сложности отказов  
строительных и дорожных машин

Группа сложности	Отказ
Первая	Спадение, разъединение, ослабление натяжения ремней, цепей, тросов и т.д. Ослабления крепления болтов, шплинтов, штырей шпилек, гаек, пружин, тяг, пальцев, хомутов, кронштейнов, стоек, подшипников, втулок и т.д. Устранение подтекания топливо-смазочных материалов, воды. Нарушение регулировок муфт сцепления, предохранительных муфт и т.д. Перегрев двигателя, подшипников, муфт, редукторов и т.д. Подгорание контактов, замыкание или пробой электропроводки, нарушение регулировок приборов. Заклинивание (заседание, стопорения, заедание) втулок роликов, звездочек, шкивов, подшипников и т.д. Потеря работоспособности метизов и мелких деталей из комплекта запасных (болтов, гайки, штыри, пружины, пальцы, звенья цепей и гусеничных лент и т.д.).
Вторая	Деформация деталей (валов, осей, шнеков, стоек, кожухов, деталей рам, штанг, подвесок и др.), расположенных в легкодоступных местах. Трещины. Излом или износ деталей (валов, ремней, звездочек, шкивов, карданов, шестерен, ножей отвалов и зубьев ковшей, стоек, кронштейнов, кожухов, маслопроводов и шлангов гидросистем, тяг, трубок, планок и т.д.), расположенных в легкодоступных местах, для восстановления которых требуется замена или сварка (наплавка). Нарушение регулировок узлов и механизмов, расположенных в труднодоступных местах (требуется раскрытие внутренних полостей основных агрегатов, но без их разборки). Трещина рамы машины (без необходимости разборки).
Третья	Трещины или излом рамы или рам агрегатов (с разборкой). Излом, износ деталей, для восстановления которых требуется разборка основных агрегатов с заменой деталей (диски муфты сцепления, шестерни коробок передач и редукторов, валы двигателей, насоса, вентиляторов и т.д.). Потеря работоспособности машины, требующая замены агрегатов, узлов, механизмов и базисных деталей (двигателя, насоса, вентилятора, коробки передач, редуктора, муфты сцепления, рамы, ведущих и ведомых валов колес и т.д.).

**Ресурсный отказ** – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

**Деградационный отказ** – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

**Долговечность.** Это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта.

Различие между безотказностью и долговечностью заключается в следующем. Безотказность характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки, долговечность же характеризует продолжительность работоспособного состояния объекта по суммарной наработке, прерываемой периодами для ТО, ремонта и устранения последствий отказов.

**Ремонтпригодность.** Это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения ТО и ремонтов.

Ремонтпригодность – сложное свойство надежности, определяемое назначением объекта и конкретными условиями его эксплуатации. Применительно к дорожно-строительной технике ремонтпригодность может характеризоваться контролепригодностью, доступностью, легкосъемностью, блочностью, взаимозаменяемостью и восстанавливаемостью (рис.1.5.).

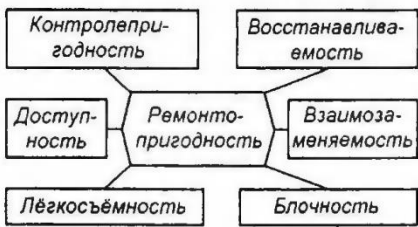


Рис.1.5. Структура ремонтпригодности

**Контролепригодность** характеризует приспособленность объекта к контролю его технического состояния. Данное свойство важно при оценке технического состояния и поиске отказавшего элемента. Свойство контролепригодности особенно важно

для сложных машин, у которых более 50 % времени восстановления уходит на определение места и характера отказа.

Одной из характеристик контролепригодности служит оснащенность машины встроенными средствами контроля. По спо-

собу съема информации их подразделяют на средства непрерывного и периодического контроля.

Первые сигнализируют о техническом состоянии элементов технической системы постоянно, вторые – периодически. Средства непрерывного контроля расположены в кабине машины, периодического – вне кабины. Например, на тракторе Т-150КМ встроенных средств контроля 28, из них 19 средств непрерывного контроля расположены в кабине и 9 средств периодического контроля – вне кабины.

Обеспечение приспособленности машины к контролю технического состояния теми или иными методами и средствами неизбежно связано с дополнительными затратами. Однако эти затраты окупаются в результате повышения безотказности, более эффективного использования машины и сокращения расходов на них (техническое обслуживание и ремонт).

Контролепригодность оценивают коэффициентом контролепригодности ( $K_K$ )

$$K_K = N_{bc} / (N_c + N_{bc}), \quad (1.1)$$

где  $N_{bc}$  и  $N_c$  – число агрегатов, контролируемых без снятия и со снятием с машины.

**Доступность** – приспособленность объекта к удобному выполнению операций ТО и ремонта с минимальным объемом балластных работ (работы по открытию и закрытию панелей, крышек люков, демонтажу и монтажу установленного рядом оборудования, сборочных единиц и деталей при доступе к обслуживаемым элементам объекта).

Доступность оказывает существенное влияние на время и трудовые затраты как при проведении операций ТО, так и при устранении отказов и выполнении ремонтных работ. В понятие «доступность» прежде всего, входит удобство работы исполнителя, заключающееся в возможности достать рукой до любой точки в зоне рабочего места, не меняя удобной позы; отчетливой видимости зоны рабочего места; исключении работы на ощупь; надежности инструмента удерживать и захватывать элемент, на который он воздействует.



Трудоемкость выполнения одной и той же операции зависит от позы, которую вынужден принимать исполнитель (рис.1.6.).

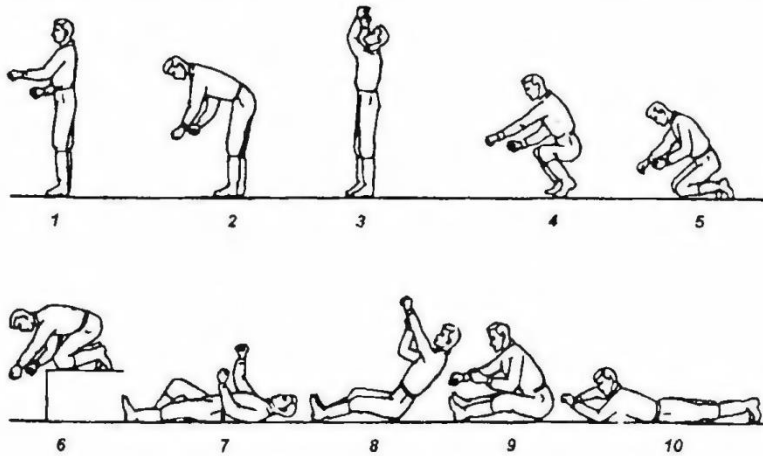


Рис.1.6. Характерные рабочие позы исполнителей при выполнении операций ТО и ремонта:  
1... 10 – возможные варианты

Доступность может быть оценена коэффициентом доступности

$$K_d = T_{осн} / (T_{осн} + T_{доп}), \quad (1.2)$$

где  $T_{осн}$  – трудоемкость выполнения основной работы;  
 $T_{доп}$  – трудоемкость дополнительных (балластных) работ.

**Легкосъемность** – приспособленность агрегата, блока, сборочной единицы к замене с минимальными затратами времени и труда, а также приспособленность конструкции машины к операциям разборки и сборки.

Легкосъемность во многом определяется системой крепления агрегатов, сборочных единиц, элементов, конструкцией разъемов, массой и габаритами съемных элементов. Необходимо, чтобы детали и соединения, подвергающиеся интенсивному изнашиванию и старению, а также элементы с большой частотой отказов были легкосъемными. В конструкциях машин следует более широко применять быстроразъемные соединения вместо обычных болтов.

Легкосъемность может быть оценена коэффициентом легкосъемности ( $K_L$ )

$$K_L = 1 - \Delta T_{дм} / T_{дм}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta T_{дм}$  – превышение трудоемкости демонтажно-монтажных работ агрегата по сравнению с эталонной;

$T_{дм}$  – трудоемкость демонтажно-монтажных работ агрегата.

**Блочность** – приспособленность конструкции к разборке на отдельные агрегаты и сборочные единицы.

Блочность оценивают коэффициентом блочности ( $K_B$ )

$$K_B = N / N_0, \quad (1.4)$$

где  $N$  – число деталей, монтируемых и демонтируемых в блоках;  
 $N_0$  – общее число деталей в машине.

Например, у трактора ЛТЗ-155 коэффициент блочности составляет  $K_B = 0,92$ .

**Взаимозаменяемость** – свойство конструкции, агрегата, сборочной единицы, детали и других элементов машин, обеспечивающее возможность их замены при ТО и ремонте без подгонных работ. Различают внешнюю, внутреннюю и функциональную взаимозаменяемости.

**Внешняя взаимозаменяемость** характеризует размеры и форму присоединительных поверхностей, и основные эксплуатационные показатели, например, для электродвигателя – это мощность и частота вращения.

**Внутренняя взаимозаменяемость** характеризует размеры деталей, входящих в сборочные единицы, агрегаты и изделия.

**Функциональная взаимозаменяемость** характеризует обеспеченность не только сборки и замены при ремонте деталей и сборочных единиц, но и их оптимальные служебные функции. Функциональную взаимозаменяемость можно обеспечить только в том случае, если обеспечена взаимозаменяемость по геометрическим (точность размеров, формы, расположение поверхностей, шероховатость) и кинематическим параметрам, физико-механическим свойствам деталей и их поверхностного слоя. Например, взаимозаменяемый насос гидросистемы должен



иметь заданные подачу, давление и ресурс. Элементы электронных систем кроме геометрической взаимозаменяемости должны иметь взаимозаменяемость по выходным параметрам.

В зависимости от объема подгоночных работ устанавливается соответствующая степень взаимозаменяемости. Чем меньше объем подгоночных работ при замене агрегатов, сборочных единиц и деталей, тем выше степень их взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость оценивают коэффициентом взаимозаменяемости ( $K_B$ )

$$K_B = T_{зам} / (T_{зам} + T_{подг}), \quad (1.5)$$

где  $T_{зам}$  – трудоемкость основной работы при замене агрегата, сборочной единицы, детали, чел.-ч;

$T_{подг}$  – трудоемкость подгоночных работ, чел.-ч.

**Восстанавливаемость** – приспособленность конструкции к восстановлению потерянной работоспособности с минимальными затратами труда и средств.

Сложность технологического процесса разборки и сборки машины, наличие базовых поверхностей на деталях, запасов металла у деталей, запасов прочности и жесткости у деталей, обрабатываемых под ремонтные размеры, влияют на восстанавливаемость.

**Сохраняемость.** Это свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортировки.

Сохраняемость – важное свойство для машин сезонного использования и сменного рабочего оборудования (например, снегоочистителей, уплотняющих машин, грейферного оборудования, кусторезов и др.).

Из-за сезонного использования машины работают 150...400 ч в году и, если их соответствующим образом не подготовить к хранению, приходят в негодность. Незащищенные от дождя, росы и снега металлические поверхности узлов и деталей машин подвергаются коррозионным разрушениям, резиновые шланги гидросистем, шины колес, клиновые ремни и другие детали из резинотекстиля и полимерных материалов под воздействием атмосферного озона, ультрафиолетовых солнечных лучей и резких колебаний температуры теряют эластичность, растрескиваются, стареют и раньше времени отказывают.

Характерные виды коррозионных разрушений деталей машин и вызывающие их причины, приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Виды коррозионных разрушений деталей машин

Вид разрушения	Узел, деталь	Характер разрушения	Причина разрушения
Атмосферное разрушение	Рамы, обшивка, несущие конструкции и все металлические детали, не имеющие (с разрушенным) лакокрасочного или другого защитного покрытия	Образование рыхлых пленок, окислов с последующим шелушением и возникновением очагов равномерной и точечной коррозии	Действие атмосферных осадков и влажного воздуха
Коррозионно-механический износ (коррозия при трении, фреттинг-коррозия)	Гильзы и поршни двигателей, звездочки, цепи, ручьи шкивов механизмов передач, детали рабочих органов (ножи отвалов бульдозеров и грейдеров, зубья ковшей экскаваторов и скреперов), днища и поверхности трения на обшивках машин и др.	Возникновение на поверхностях коррозионных повреждений в виде полос, рисок, отдельных пятен или равномерная коррозия	Наличие коррозионно-активной среды и непрерывное разрушение окисленной пленки в точках подвижного контакта
Коррозионная усталость	Оси, валы, детали механизмов газораспределения, отдельные участки рам и тонколистовых обшивок, втулочно-роликовые и крючковые цепи, шестерни, шлицевые соединения, подшипники качения, пружины и др.	Коррозионные изломы, трещины и разрывы металла	Наличие коррозионной среды и действие знакопеременных напряжений

Вид разрушения	Узел, деталь	Характер разрушения	Причина разрушения
Коррозионное растрескивание	Болтовые крепежные и сварные соединения и другие детали, испытывающие монтажные напряжения, рабочие органы строительных, дорожных машин и оборудования.	Коррозионные трещины по границам зерен со снижением прочности металла	Наличие коррозионно-активной среды и действие постоянных напряжений
Коррозионная кавитация	Поверхности гильз и блоков двигателей, поверхности и арматура систем охлаждения, гидросистем и др.	Направление мелких, глубоких питтингов с местами сквозных разрушений	Вибрация и специфическое воздействие потока жидкости, гидроудары при высоких скоростях движения жидкости и детали в условиях коррозионной среды

Между воздействием окружающей среды и изменением состояния машин при их хранении имеются закономерные связи. Так, например, интенсивность отказов при хранении с течением времени будет изменяться, как показано на рисунке 1.7.

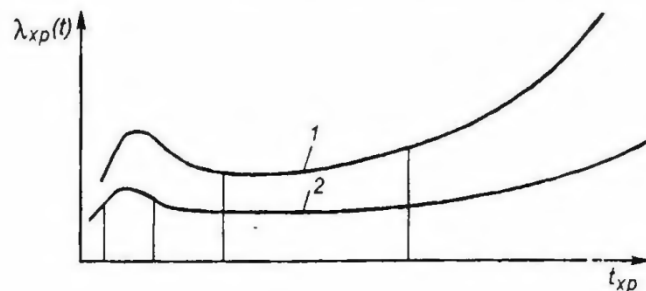


Рис.1.7. Изменение интенсивности отказов агрегатов в зависимости от срока хранения машин:  
1 – на открытых площадках; 2 – в закрытых помещениях

Из рисунка видно, что при содержании машин в течение первых лет на хранении наблюдается некоторый рост отказов по причине проявления производственных дефектов, старения отдельных деталей, а также некачественного выполнения работ при обслуживании машин в период постановки их на хранение. В дальнейшем интенсивность при хранении агрегатов стабилизируется и становится постоянным, а затем резко возрастает, особенно при хранении машин на открытых площадках.

### 1.3. Показатели надежности машин

*Показатель надежности* – количественная характеристика одного или нескольких свойств (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости), составляющих надежность объекта.

В соответствии с ГОСТ 27.002 показатели надежности подразделяют на единичные и комплексные, расчетные, экспериментальные, а также групповые и индивидуальные.

*Единичный показатель надежности* – показатель, характеризующий одно из свойств (например, долговечность или безотказность), составляющих надежность объекта.

*Комплексный показатель надежности* – показатель, характеризующий одновременно несколько свойств (два и более), составляющих надежность объекта.

Для строительных и дорожных машин важны все четыре упомянутых свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость), которые оценивают в отдельности единичными и в совокупности комплексными показателями надежности. Для такого же объекта, как, например, электролампа, важен показатель долговечности (единичный показатель) и не представляет интереса показатель ремонтпригодности. Поэтому надежность электролампы оценивают только единичным показателем надежности.

*Расчетный показатель надежности* – это показатель надежности, значения которого определяют расчетным методом.