

Лекция 7. Показатели надёжности

Цель: формирование знаний о важнейших показателях технических объектов изделий, характеризующих их работоспособность.

Задачи:

1. Изучить классификацию отказов в зависимости от различных критериев.
2. Ознакомиться номенклатурой показателей и свойствами надёжности: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью.
3. Изучить методы повышения надёжности на стадии проектирования изделий.
4. Приобрести знания по обеспечению надёжности на стадии проектирования изделий.

Желаемый результат:

Студенты должны знать:

классификацию показателей надёжности изделий;
термины и определения, характеризующие основные свойства надёжности;
методы повышения надёжности механических систем и механизмов;
меры обеспечения надёжности в процессах изготовления и эксплуатации.

Уметь:

рассчитывать вероятность безотказной работы и др. показатели надёжности на стадиях проектирования и эксплуатации изделий;
анализировать состояние изделий при различных отказах.

Иметь представление о взаимосвязях процессов проектирования, изготовления и эксплуатации с надёжностью изделий.

Учебные вопросы:

1. Термины и определения характеристик показателей надёжности.
2. Номенклатура показателей надёжности.
3. Методы повышения надёжности при проектировании.
4. Обеспечение надёжности изделий на стадии производства и испытания изделий.
5. Надёжность изделий в процессе эксплуатации.

Учебная информация

Термины и определения характеристик надёжности

Надёжность – свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надёжность характеризуется следующими состояниями и событиями.

Исправность (исправное состояние) – состояние изделия, при котором оно соответствует всем требованиям технической документации.

Неисправность (несправное состояние) – состояние изделия, при котором оно не соответствует одному из требований технической документации.

Работоспособность (работоспособное состояние) – состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Неработоспособность (неработоспособное состояние) – неспособность изделия выполнять заданные функции.

Предельное состояние – состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой или необходимости проведения капитального ремонта.

Отказ – событие, после которого изделие перестаёт выполнять частично или полностью свои функции. Отказы можно классифицировать по ряду признаков (рис.7.1).

По характеру утраты работоспособности отказы могут быть внезапными и постепен-

ными.

Внезапным отказом называют отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Примерами внезапных отказов могут служить пластические деформации, потеря устойчивости и хрупкие разрушения элементов землеройных машин, когда меняется геометрия или теряется несущая способность. К внезапным отказам также можно отнести заедания подвижных элементов, разрывы и засорения трубопроводов, отказы предохранительных клапанов гидроприводов, короткое замыкание в системах электроприводов и т. п.

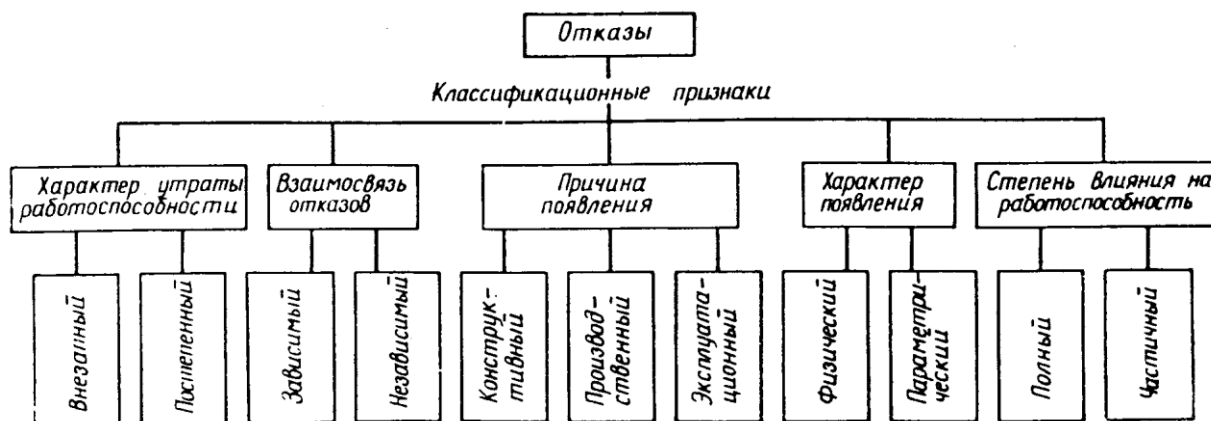


Рис. 7.1. Классификационная схема отказов

Причиной внезапных отказов могут быть также конструктивные или технологические дефекты элементов и систем, нарушение правил или резкое ухудшение условий эксплуатации. Внезапный отказ наступает независимо от предыстории независимо от времени эксплуатации. В настоящее время имеются технические возможности для избежания или сведения к минимуму внезапных отказов в эксплуатации.

Постепенным отказом называют отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Примерами постепенных отказов могут служить разрушения элементов землеройных машин от усталости, различных видов механического изнашивания, коррозии и старения.

Постепенные отказы, особенно вызываемые механическим изнашиванием, в отличие от внезапных являются естественными для землеройных машин и рано или поздно наступают обязательно.

Наступление большинства видов постепенных отказов можно лишь замедлить, но полностью предотвратить нельзя. С увеличением времени эксплуатации возможность появления таких отказов возрастает. Основными факторами, влияющими на время наступления постепенного отказа из-за механического изнашивания, являются соотношения твердостей трущихся пар, давление на поверхностях трения и скорость их относительного перемещения, наличие, состав и способ подачи смазочных материалов, вид трения.

Причинами постепенных отказов, возникающих из-за усталости элементов землеройных машин, являются в основном конструктивные и технологические дефекты элементов или несоответствие фактических условий эксплуатации землеройных машин расчетным.

Эти виды отказов, как и внезапные, можно исключить или свести к минимуму.

По взаимосвязи отказов элементов их можно разделить на независимые и зависимые.

Независимым отказом элемента называют отказ, не обусловленный повреждением или отказами других элементов объекта. Зависимым отказом элемента называют отказ, обусловленный повреждением или отказом другого элемента объекта.

Вероятность появления зависимого отказа элемента меняется при возникновении отказов других элементов. При зависимом отказе элемент не обязательно должен отказать при отказе другого элемента, важно, что при этом должна измениться вероятность возникновения его отказа независимо от того в сторону уменьшения или увеличения. Постепенные от-

казы элементов можно в основном рассматривать как независимые отказы.

Зависимый отказ можно представить как внезапный отказ элемента, входящего в систему, для каждого элемента которой причина, вызывающая отказ, одинакова. В качестве примера зависимого отказа может быть внезапный отказ любого элемента несущей системы бульдозера при встрече его с непреодолимым препятствием.

При анализе надежности изделий возможные внезапные отказы одного и того же элемента при различных операциях машины можно рассматривать как независимые, так и зависимые.

В зависимости от причины появления отказы можно разделить на конструкционные, производственные (технологические) и эксплуатационные.

Надежность изделий закладывается в процессе ее конструирования и расчета. Отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) норм конструирования, называют конструкционным. Такие отказы возникают как следствие недоработки конструкции при конструировании.

Надежность машин обеспечивается в процессе их изготовления правильным выбором технологии производства, контроля качества исходных материалов, полуфабрикатов и готовой продукции, контроля режимов и условий изготовления. Отказ, возникший в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, называют производственным или технологическим.

Надежность изделий зависит от их правильной эксплуатации, своевременного контроля состояния узлов и деталей, планомерного проведения технических обслуживаний и ремонтов.

Отказ, возникший в результате нарушения, установленных правил и (или) условий эксплуатации объекта, называют эксплуатационным.

По характеру проявления отказы подразделяют на физические и параметрические (функциональные).

Под физическим отказом понимают отказ, приводящий к полному нарушению работоспособности объекта, т. е. его поломке, изменению геометрической формы, заеданию, достижению предельно допустимого износа. Как правило, понятие физического отказа применимо лишь к элементам.

Параметрическим (функциональным) считают отказ, который приводит к ухудшению показателей работы объекта до недопустимого уровня. Понятие параметрического отказа применимо к сложным системам, например к узлам и машинам в целом, к комплексам машин.

Примерами параметрических отказов являются снижение производительности машины, падение мощности двигателя, снижение КПД трансмиссии, увеличение сопротивления копанию рабочими органами до некоторых заранее обусловленных предельных значений и т. д.

По степени влияния на работоспособность отказы подразделяются на частичные и полные. При *частичном отказе* объект частично перестает выполнять свои функции. Частичный отказ можно устранить соответствующим регулированием, выполняемым при техническом обслуживании машин. При *полных отказах* объект полностью перестает выполнять свои функции. Полный отказ можно устранить путём замены или ремонта соответствующих элементов или узлов.

Номенклатура показателей надёжности

Для оценки надежности ПТ и СДМ используются следующие основные показатели (см.рис. 7.2).

Безотказность – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Нарботкой называется продолжительность или объем работы изделия. Измеряется наработка во времени, циклах, объемах работ и т.п. Безотказность характеризуется показателями:

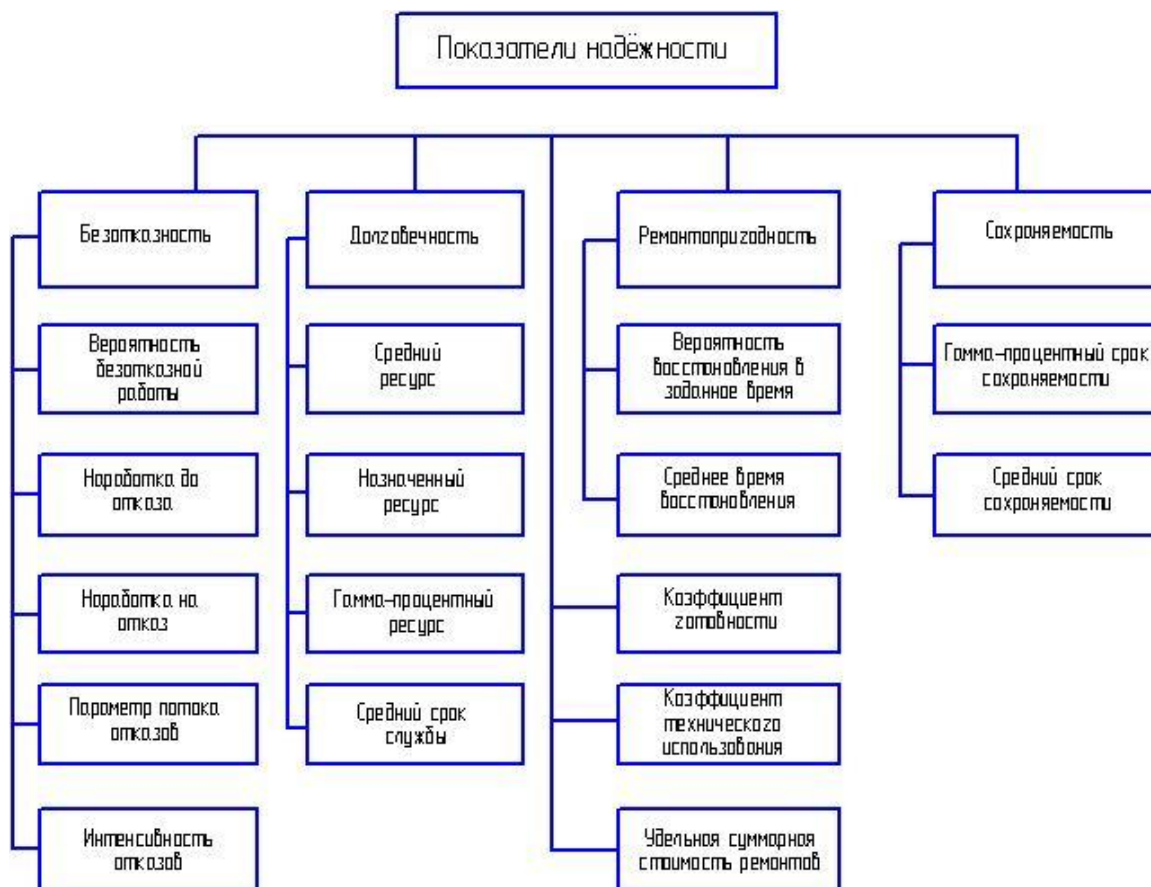


Рис.7.2. Показатели надёжности

- вероятностью безотказной работы – вероятностью того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказа изделия.

Для неремонтируемых изделий вероятность безотказной работы можно определить по формуле:

$$R(t)_{кр} \approx \frac{N(t)}{N_0}, \quad (7.1.)$$

где $N(t)$ – число изделий, работоспособных к моменту времени t ;

N_0 – число новых изделий, одновременно используемых.

Для ремонтируемых изделий вероятность безотказной работы рассчитывают по формуле:

$$R(t)_p \approx 1 - \frac{n(t)}{N}, \quad (7.2.)$$

где $n(t)$ – число изделий, имевших хотя бы один отказ за период времени от 0 до t ;

N – число изделий, по которым собрана информация.

Для ответственных элементов изделий, отказ которых связан с дорогостоящей и аварийно опасной задержкой производства, рекомендуется принимать $R(t) \geq 0,99$. Если отказ может привести к несчастному случаю, тогда $R(t) \geq 0,999$. В случае, если отказ изделия не связан с тяжелыми последствиями или вызывает незначительные экономические потери, то значение $R(t)$ принимают намного ниже указанных значений или вообще этот показатель не нормируют.

Показатель «Наработка до отказа» используется для неремонтируемых изделий. Он представляет собой наработку изделия от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. Для партии неремонтируемых изделий используется показатель «средняя наработка до отказа» - математическое ожидание наработки изделия до первого отказа. Этот показатель определяется по формуле:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (7.3.)$$

где t_i – значение наработки до первого отказа i -го изделия; i – номер изделия в партии; n – количество изделий в партии.

Средняя наработка на отказ является одним из основных показателей безотказности для ремонтируемых изделий. Он представляет собой отношение суммарной наработки восстанавливаемого изделия к математическому ожиданию числа его отказов в течение суммарной наработки:

$$T_o = \frac{\sum t_i}{n_o}, \quad (7.4.)$$

где $\sum t_i$ – наработка от начала сбора данных до первого отказа, между отказами и последнего отказа до момента поступления сведений на обработку; n_o – математическое ожидание числа отказов за время сбора данных.

Параметр потока отказов определяется отношением математического ожидания числа отказов восстанавливаемого изделия за достаточно малую его наработку к значению этой наработки:

$$\omega_B = \frac{n_o}{\sum t_i}. \quad (7.5.)$$

Интенсивность отказов представляет собой вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что до этого момента отказ не произошел. Интенсивность отказа определяется для малых промежутков времени по формуле:

$$\omega = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t_i}, \quad (7.6)$$

где Δn_i – число отказов за промежуток времени Δt_i ; N – начальное число изделий; n_i – общее число отказавших изделий к началу рассматриваемого времени.

Долговечностью называется свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. К показателям долговечности относятся: ресурс, средний ресурс.

Ресурс – суммарная наработка изделия от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Средний ресурс – математическое ожидание ресурса. При наличии данных о ресурсе « n » изделий статистическая оценка ресурса определяется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (7.7)$$

где x_i – ресурсы изделий.

Назначенный ресурс представляет собой суммарную наработку, при достижении которой эксплуатация изделия должна быть прекращена независимо от его технического состояния. Этот показатель используют для невозстанавливаемых изделий особо ответственного назначения.

Гамма-процентным ресурсом называют суммарную наработку, в течение которой изделие не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженную в процентах.

Средний срок службы – математическое ожидание срока службы. Срок службы представляет собой календарную продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации, или до списания.

Ремонтопригодностью называется свойство изделия, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления в заданное время и среднее время восстановления.

Вероятность восстановления в заданное время характеризует вероятность того, что

время восстановления работоспособного состояния не превысит заданного значения.

Среднее время восстановления – математическое ожидание времени восстановления. Под временем восстановления подразумевают суммарное время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказа:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3,$$

где τ_1 – время, затрачиваемое на обнаружение отказа; τ_2 – время, затрачиваемое на поиск причины отказа; τ_3 – время, затрачиваемое на устранение отказа.

При наличии статистических данных о длительности восстановления «m» изделий среднее время восстановления определяют по формуле:

$$\bar{T}_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_i. \quad (7.8)$$

Сохраняемость – свойство изделия сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность изделия выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования. Показатели сохраняемости: гамма-процентный срок сохраняемости и средний срок сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости – срок сохраняемости, который будет достигнут изделием с заданной вероятностью γ в процентах.

Средний срок сохраняемости – математическое ожидание срока сохраняемости. Сроком сохраняемости называют календарную продолжительность хранения и (или) транспортирования изделия в заданных условиях, в течение и после которой значения заданных показателей сохраняются в установленных пределах.

Коэффициент готовности означает вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольный момент времени в промежутке между плановыми техническими обслуживаниями и ремонтами. Статистически коэффициент готовности определяется отношением суммарного времени наблюдаемых изделий в работоспособном состоянии к произведению числа этих изделий на продолжительность эксплуатации (за исключением простоев на проведение плановых ремонтов и технического обслуживания):

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N \cdot T_3} \quad \text{при } T_{31} = T_{32} = \dots = T_{3n}, \quad (7.9)$$

где t_i – суммарное время пребывания i-го изделия в работоспособном состоянии;

T_3 – продолжительность эксплуатации изделия; N – количество наблюдаемых изделий.

Если T_3 у различных изделий наблюдаемой группы не совпадает, то k_r определяют по выражению:

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{i=1}^N \tau_i}, \quad (7.10)$$

где $\sum_{i=1}^N \tau_i$ – суммарное время восстановления работоспособности изделий.

Зная величину коэффициента готовности, можно определить значение коэффициента простоев k_p , который связан с k_r зависимостью:

$$k_{II} = \frac{1}{k_r} - 1. \quad (7.11)$$

Для ремонтируемых изделий рассчитывается коэффициент технического использования $k_{ТИ}$, который представляет собой отношение суммарного времени нахождения изделия в работоспособном состоянии к сумме этой наработки, времени всех простоев, использованных на техническое обслуживание и всех видов ремонтов изделия. Коэффициент технического использования определяют из выражения:

$$k_{\text{ИТ}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{i=1}^N t_{\text{ТО}i} + \sum_{i=1}^N \tau_{\text{Р}i}}, \quad (7.12)$$

где t_i – время наработки i -го изделия; $t_{\text{ТО}i}$ – время технического обслуживания i -го изделия; $\tau_{\text{Р}i}$ – время всех ремонтов i -го изделия; N – количество наблюдаемых изделий.

Удельная суммарная стоимость ремонтов определяется как отношение средней суммарной стоимости ремонтов к математическому ожиданию суммарной наработки изделия 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.

Особенностью показателей надежности, отличающей их от большинства других показателей качества продукции, является принципиальная невозможность их прямого измерения. Для получения численных значений показателей надежности необходима исходная информация, получаемая методами измерений (например, наработка) и наблюдений (например, число отказов). Значения показателей надежности получают путем математической обработки исходных данных.

На практике различают три этапа в жизненном цикле промышленной продукции, на которых решаются вопросы оценки и обеспечения требуемого уровня ее надежности: проектирование, производство и испытание, эксплуатация (или применение).

Каждый из этапов требует определенной информации о значениях показателей надежности изделия для своевременного принятия соответствующих решений, в частности о достаточности конструктивной проработки и возможности запуска изделия в производство (этап проектирования); о достаточности производственной отработки и возможности передачи изделия в эксплуатацию (этап производства испытаний); о соответствии эксплуатационных показателей надёжности изделия требуемым значениям или о принятии необходимых мер для повышения надёжности (этап эксплуатации).

Каждый этап характеризуется определенным уровнем информативности технических и эксплуатационных показателей изделия, отличается точностью и достоверностью проводимых оценок, спецификой их нахождения и, естественно, определенными трудностями, связанным с их получением.

На промышленную продукцию нормируются показатели безотказности изделий, и прежде всего вероятность безотказной работы $P(t)$. На продукцию машиностроения дополнительно устанавливаются показатели долговечности (срок службы или ресурс) и др.

Современные изделия представляют собой сложные системы, состоящие из десятков и сотен тысяч отдельных элементов. И такая система должна надежно функционировать в течение продолжительного периода времени. Поэтому одна из основных задач, которая должна быть решена при создании такой системы, состоит в том, чтобы обеспечить заданные требования по надежности. Для этого разработчик должен располагать информацией о надежности интересующих его комплектующих узлов и элементов. От полноты и достоверности этих данных зависит успех решаемой задачи.

В настоящее время на изделия массового использования имеются специальные таблицы номенклатур элементов (на насосы, трубопроводы, фильтры, клапаны, конденсаторы, сопротивления, радиолампы, полупроводники и т.д.), которые содержат значения показателей надежности. Для оригинальных узлов и элементов, влияющих на надежность изделия, разработчик самостоятельно должен подобрать ориентировочные данные.

Методы повышения надёжности на стадии проектирования.

Особенность этапа проектирования состоит в том, что в тот период закладывается надежность изделия. С этой целью проводятся расчеты, связанные с определением состава комплектующих элементов (составных частей), ориентировочной оценкой надежности всего изделия, а также с прогнозированием изменения параметров изделия в различных условиях эксплуатации.

Создание высококачественной промышленной продукции тесно связано с нормированием основных показателей надежности, требуемые значения которых должны предусматриваться в технических условиях. И прежде чем решать, какими методами повышать надежность изделия, нужно знать необходимый уровень его надежности. Выбор показателей надежности изделия, как правило, связан с требованиями заказчика (задается в технических требованиях), однако в отдельных случаях выбор может быть сделан разработчиком.

Расчеты, связанные с оценкой надежности изделия (системы), как правило, проводятся на основе функциональной схемы, которая используется для условного расчленения изделия на составные части с тем, чтобы вначале рассмотреть параметры и характеристики составных частей (элементов), а затем оценить работоспособность всей системы. При этом вводятся следующие допущения:

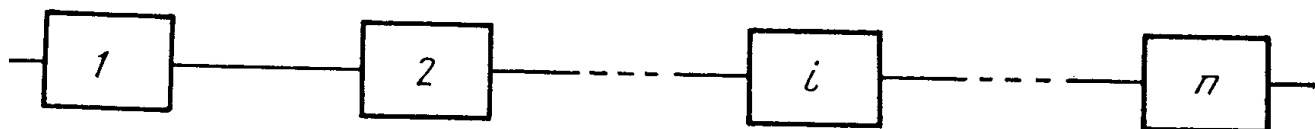


Рис.7.3. Последовательность соединения элементов в структурной схеме надёжности

- любой элемент представляет собой функционально законченную составную часть изделия с известными показателями надежности;
- отказ любого элемента происходит независимо от других элементов изделия.

На основе функциональной схемы составляется структурная схема надежности изделия. В зависимости от выполняемых функций и влияния отдельных элементов на функционирование всего изделия элементы в структурной схеме могут быть соединены последовательно или параллельно.

Если отказ изделия наступает при отказе любого из рассматриваемых элементов, то считается, что все элементы в структурной схеме надежности соединены последовательно (рис.7.3), причем отдельные элементы функционально не обязательно должны быть соединены последовательно. Примером последовательного соединения элементов могут служить электро- и радиоустройства, а также многие механические системы и механизмы.

Вероятность безотказной работы изделия $P(t)$ с последовательно соединенными элементами в течение времени t вычисляется по формуле

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (7.13)$$

где $p_i(t)$ — вероятность безотказной работы i -го элемента; n — число элементов.

Из приведенной формулы следует, что надежность изделия, элементы которого в структурной схеме надежности образуют последовательную цепочку, убывает с увеличением числа элементов. Вероятность безотказной работы такого изделия не может быть выше показателя надежности наименее надежного его элемента. Поэтому сложные системы, состоящие из элементов с высокой надежностью, могут обладать очень низкой вероятностью безотказной работы за счет большого числа элементов, если не принимать соответствующих мер по повышению надежности. Например, вероятность безотказной работы изделия, состоящего из двух последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы каждого элемента 0,9, составляет 0,81; из 10 элементов — 0,28; , 20 элементов — примерно 0,08 и т. д.

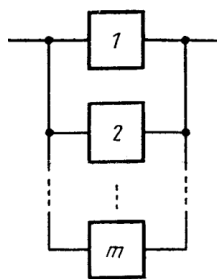


Рис.7.4.Параллельное соединение элементов в структурной схеме надёжности

Для повышения надежности сложных систем широко используют методы резервирования, т. е. создаются схемы с дублирующими элементами. Отказ такой системы наступит только в случае отказа основного и всех дублирующих элементов.

Вероятность безотказной работы изделия с параллельно соединёнными элементами в течение времени t определяется по формуле

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - p_i(t)], \quad (7.14)$$

где $p_j(t)$ — вероятность безотказной работы j -го элемента за время t ; m — число основных и всех резервных элементов, составляющих параллельную цепочку.

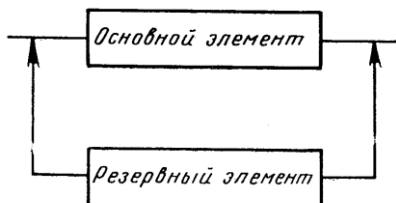


Рис.7.5. Схема резервирования замещением

Резервирование значительно увеличивает надежность изделия и обеспечивает создание надежных систем из ненадежных элементов. Резервирование может быть постоянным (нагруженным), если все резервные элементы постоянно присоединены к основным элементам и находятся с ними в одинаковых режимах работы (рис.7.4). Возможно также применение ненагруженного резервирования (резервирование замещением), когда резервные элементы при работе системы находятся в отключенном состоянии и включаются в схему, когда основной элемент выходит из строя (рис.7.5). При таком способе резервирования для обнаружения вышедшего из строя элемента требуется специальный прибор, а для включения резерва — соответствующее переключающее устройство. В этом случае надежность переключающего устройства также должна учитываться при оценке надежности всей системы.

Практически структурная схема надежности сложной системы может включать как последовательно, так и параллельно соединенные элементы. В таких системах резервируются наиболее ответственные элементы (узлы) или элементы с недостаточной надежностью, от которых зависит работоспособность всей системы.

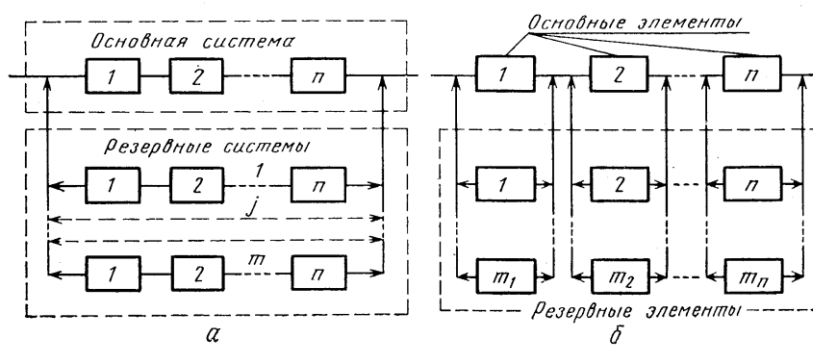


Рис. 7.6. Схемы повышения надежности:

а) схема общего резервирования; б) схема раздельного (поэлементного) резервирования

Для повышения надежности используется раздельное и общее резервирование. При раздельном способе резервированию подлежат отдельные элементы, а при общем — резервируется вся система (рис. 7.6). Раздельный способ резервирования более эффективен и дает значительный прирост надежности системы по сравнению с общим резервированием. Это обусловлено тем, что при раздельном резервировании отказавший элемент заменяется лишь одним резервным элементом, а в случае отказа элемента системы с общим резервированием должна заменяться вся система на резервную. Однако здесь не учитывалась надежность уст-

роЙств, подключающих резервные элементы, которая может повлиять на величину получаемого эффекта.

Хотя результаты расчетов показателей надежности изделий на стадии проектирования носят приближенный характер, все же они позволяют производить определенный сравнительный анализ различных схемных решений и выбрать такую схему, которая обеспечивает выполнение требований по надежности, заданных на новое изделие.

Для повышения надежности механических систем и механизмов более характерно применение принципа избыточности, который предлагает создание машин за счет их рациональной структуры, внедрение материалов с высокой прочностью, изнОсоустойчивостью, антикоррозийностью, теплостойкостью и др.

Одним из важных направлений повышения надежности при проектировании является создание оптимальной конструкции машины, т.е. такой конструкции изделия и его элементов, когда с наименьшими затратами средств обеспечивается требуемая продолжительность работы отдельных узлов, механизмов и изделия в целом при заданной безотказности и регламентированных затратах на ремонт и техническое обслуживание.

Обеспечение надежности изделий на стадии производства и испытания изделий.

В процессе производства обеспечивается надежность изделия, заложенная на стадии проектирования. Получаемые характеристики надежности зависят от качества изготовления элементов, контроля выпускаемой продукции, управления ходом технологического процесса, от качества сборки изделия, методов испытания готовой продукции и других показателей технологического процесса.

Практически все компоненты технологического процесса (методы и режимы изготовления деталей и применяемое оборудование, последовательность операций, методы контроля) прямо или косвенно влияют на выходные параметры и прежде всего на показатели качества изделия, указанные в технической документации, — точность, механические, электрические и другие свойства.

Совершенство технологического процесса во многом определяет и достигнутый уровень надежности изделия, так как в процессе изготовления обеспечивается надежность изделия, заложенная конструктором при проектировании. Поэтому технологические методы обеспечения надежности имеют такое же решающее значение, как конструктивные и эксплуатационные. Известно немало примеров, когда одни и те же изделия, выполненные в точном соответствии с техническими условиями, обладают неодинаковой надежностью, если они изготовлены различными технологическими методами (на различных заводах). Это связано с тем, что технические условия на изделия не всегда отражают основные требования, которые определяют надежность, в частности не учитывают те особые свойства, которые приобретают изделия в процессе производства.

Связи технологического процесса и эксплуатационных свойств изделия достаточно сложны и не всегда могут быть выявлены. Чем выше требования к надежности изделий, тем большее число параметров должно быть регламентировано техническими условиями и тем достовернее определены взаимосвязи эксплуатационных и технологических параметров. Необходимо также, чтобы методы испытаний изделий давали возможность оценить уровень надежности. Если оценка надежности готового изделия отсутствует или недостаточно достоверна, то не выявленные отклонения его определяющих характеристик могут привести к преждевременным отказам в процессе эксплуатации.

Основной задачей испытаний является проверка соответствия фактических характеристик изделия заданным значениям. Обычно процесс испытаний сопровождается работами по повышению характеристик изделия до значений, заданных в технической документации.

Этот процесс называется отработкой и, как правило, связан с проведением доработок изделия.

Под доработкой понимается конструктивное или технологическое изменение испытуемого изделия, направленное на повышение его технических или эксплуатационных характеристик.

Доработки неизбежны и, как правило, вызваны не недостатками проектирования, а наличием неопределенностей, связанных с созданием сложных технических изделий. Поэтому лишь к концу отработки изделие должно полностью удовлетворять всем заданным требованиям, в том числе и требованиям по надежности.

Надёжность изделий в процессе эксплуатации.

Объективные показатели надежности изделия могут проявиться только при эксплуатации и зависят от методов и условий использования изделий, режимов работы, принятой системы ремонта и технического обслуживания и других эксплуатационных факторов. Поэтому на этапе эксплуатации с той или иной интенсивностью реализуется надежность изделия, заложенная на стадии проектирования.

Практика показывает, что в процессе эксплуатационных наблюдений к некоторому моменту времени, выбранному для определения надежности, как правило, отказывает лишь часть изделий изучаемой совокупности, в связи с чем приходится иметь дело с так называемыми усеченными выборками. Виды усечения могут быть различными, что связано главным образом

с особенностями организации наблюдений за надежностью изделий и их элементов, находящихся в эксплуатации. Широко известны и хорошо изучены однократно усеченные выборки, которые характеризуются одновременностью начала и конца наблюдений за однотипными изделиями, определяющими выборку. Для таких выборок в государственных стандартах регламентированы способы определения показателей надежности и планирование объема наблюдений.

В практике эксплуатационных наблюдений типичной является ситуация, когда к моменту окончания наблюдений наработки работоспособных изделий рассматриваемой выборки оказываются как больше, так и меньше наработок отказавших изделий, что связано с разновременностью моментов начала применения изделий, различием в интенсивности их эксплуатации и другими факторами. Такие выборки получили название многократно усеченных выборок. В настоящее время статистические модели для многократно усеченных выборок применительно к эксплуатационным наблюдениям практически отсутствуют. Это не позволяет использовать традиционные методы обработки результатов наблюдений при определении показателей надежности изделий, находящихся в эксплуатации.

В последнее время разработан ряд методов, которые, как показывают расчеты, часто дают различные результаты. Метод максимального правдоподобия применяется, когда известна функция связи между исследуемыми переменными величинами (функция правдоподобия). Задача сводится к определению параметров функции правдоподобия, и в качестве оценок параметров принимаются те их значения, которые соответствуют максимуму функции. В этом случае полученные опытные значения исследуемой величины наиболее вероятны.

Достоинство метода максимального правдоподобия состоит в том, что он обеспечивает получение так называемых состоятельных оценок. Такая оценка оказывается универсальной

с точки зрения требований, предъявляемых к статистическим оценкам. Однако точность определения параметров зависит от того, насколько функция правдоподобия отражает основные свойства наблюдаемого явления.

Практика эксплуатации различных образцов промышленной продукции свидетельствует о том, что вероятность появления отказов неодинакова на протяжении срока службы изделий. В рабочем цикле изделия можно выделить три характерных периода, которые связаны с изменением вероятностей отказов: период приработки, период нормальной эксплуатации и период износа изделия. Каждому периоду свойственны определенные виды отказов и законы распределения вероятностей безотказной работы.

Период приработки (начальный), в течение которого интенсивность отказов изделия с течением времени уменьшается. Причины отказов в начале периода приработки обычно вызваны дефектами конструкции, технологии производства, недостатками эксплуатационно-технической документации, ошибками обслуживающего персонала, неизбежными при освоении процесса обслуживания, и др. По мере накопления информации об отказах, опыта обслуживания изделия и проведения профилактических мероприятий по выявлению и устранению причин отказов их удельный вес в общем потоке отказов снижается до некоторого уровня и длительное время остается в среднем постоянным.

Очевидно, момент целесообразного практического использования изделия следует выбирать таким образом, чтобы к началу этого момента оно имело максимальную надежность. Полную информацию о надежности изделия в целом получить можно лишь во время длительных специальных испытаний или наблюдений за надежностью работы элементов в различных условиях. С этой целью обычно проводят тренировки (прирабочные испытания) всего изделия либо его элементов. В результате тренировок выявляются прирабочные отказы, и после их устранения надежность изделия определяется главным образом элементами со сниженной интенсивностью отказов.

Практика показывает, что испытания изделий в экстраординарных режимах в принципе позволяют выявить потенциально ненадежные экземпляры. Однако испытания в таких режимах могут вызвать появление новых скрытых дефектов и порчу элементов, не имевших дефектов до этих испытаний. Нет уверенности и в том, что элементы, дефекты в которых до испытаний были несущественными, не стали потенциально ненадежными.

Следовательно, об условиях тренировки и об уровне ускоряющих воздействий вопрос должен решаться в каждом случае особо на основе глубокого анализа конкретной практики применения элементов и всего изделия.

Период нормальной эксплуатации является наиболее важным в жизненном цикле изделия. В этот период интенсивность отказов невелика и остается приблизительно постоянной, а длительность периода измерима с эксплуатационным сроком службы изделия (период приработки по сравнению с этим периодом мал).

Особенность периода нормальной эксплуатации — внезапные отказы, причина которых состоит в резком изменении условий эксплуатации отдельных элементов или всего изделия вследствие внезапной концентрации действующих нагрузок. В результате в наиболее «слабых» элементах резко изменяется величина какого-либо одного параметра или их совокупности (падает сопротивляемость). Причиной внезапных отказов могут быть и дефекты производства, например скрытые дефекты, которые трудно обнаружить методами и средствами производственно-технического контроля.

В начале периода нормальной эксплуатации вероятность отказа изделия, прошедшего приработку, в общем случае должна быть минимальна. Однако это не означает, что изделие в период приработки получает дополнительный запас надежности. Уменьшение вероятности отказа к концу периода приработки объясняется тем, что в партии, например, невосстанавливаемых изделий, поставленных на испытания, к этому времени оставшихся ненадежных изделий стало меньше. Видимо, изделия, благополучно дошедшие до периода нормальной эксплуатации, с самого начала были наиболее надежными.

Для восстанавливаемых изделий уменьшение вероятности отказа к концу периода приработки означает, что большинство дефектов и причин отказов были выявлены и устранены при ремонтах во время начального этапа эксплуатации.

Природа отказов в период нормальной эксплуатации изделий — внезапная концентрация нагрузок, действующих на изделие и его элементы. Главный фактор, определяющий величину интенсивности отказов, — уровень нагрузок на элементы изделия. Когда говорят, что интенсивность отказов постоянна, это относится только к определенному уровню рабочих нагрузок изделия и нагрузок, вызванных воздействием внешней среды.

Нагрузки, действующие на изделие, можно разделить на две группы. К первой группе относятся нагрузки, вызванные действием внешней среды (влажность, атмосферное давление, радиация, химический состав и загрязнение атмосферы, микроорганизмы, температура). Они воздействуют на изделие независимо от формы функционирования. Если интенсивность воздействия нагрузок не превышает предельно допустимую, то, как правило, внезапных отказов не бывает. Если нагрузки велики или продолжительны, то надежность снижается, так как ускоряются процессы старения.

Ко второй группе относятся рабочие нагрузки, которые появляются только в условиях активной работы элементов. Например, на элементы электро- или радиосхем воздействуют тепло, вибрация и другие факторы, которые не только приводят к внезапным отказам, но и уменьшают надежность элемента вследствие износа.

Период износа — завершающая стадия эксплуатации изделия. Практика показывает, что чем больше изделие проработало в прошлом, тем меньше вероятность того, что оно будет безотказно работать в будущем. Постепенное изменение физико-механических, физико-химических и других его характеристик со временем значительно снижает сопротивляемость элементов, и отказы наступают даже при умеренных нагрузках.

Интенсивность отказов растет. Надо иметь в виду, что изменение внутренней структуры и геометрии элементов, применяемых в изделии, является закономерным процессом для любого технического устройства, находящегося в эксплуатации и не отказавшего ни в период приработки, ни в период нормальной работы.

В общем случае величина интенсивности отказов в значительной степени зависит от воздействия на изделие окружающей среды, и прежде всего температуры. Всякие отклонения приводят к изменению физических и механических свойств материалов элементов изделия. Эти изменения в свою очередь вызывают отклонения параметров элементов от номинальных значений, а также изменения технических характеристик изделия в целом.

Резюме по теме

Для механических изделий характерно изнашивание — процесс постепенного изменения размеров элементов и деталей изделия при трении. Процесс изнашивания можно разделить на три периода: приработки (в этот период интенсивность износа повышена из-за истирания начальных неровностей или перекоса поверхностей сопряженных элементов); период естественного изменения геометрических форм и размеров деталей в процессе работы в установленном режиме; и, наконец, период резкого нарастания интенсивности износа вследствие недопустимых изменений размеров формы и других характеристик сопряженных элементов. Последний, третий, период может быть для изделия катастрофическим.

В процессе эксплуатации внешние воздействия существенно влияют на надежность работы отдельных элементов и изделия в целом. Поэтому при создании изделий различного целевого назначения наряду с другими факторами необходимо учитывать специфические условия внешних воздействий.

Таким образом, каждый из рассмотренных этапов жизненного цикла промышленной продукции имеет свою специфику, связанную с определением показателей ее надежности, и для обеспечения требуемого уровня надежности изделий предполагает использование специальных методов. Каждому этапу присущи свои методы. Однако общим является то, что все они предполагают наличие определенных статистических данных, без которых в принципе невозможно решение вопросов надежности промышленной продукции.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется надёжностью?
2. Чем характеризуется исправность, неисправность, работоспособность, неработоспособность изделий?
3. Когда наступает предельное состояние изделия, из-за чего оно проявляется?
4. Какое событие называется отказом? Классификация отказов.
5. Что характеризует безотказность изделия? Показатели, оценивающие это свойство?
6. Что такое долговечность? Показатели долговечности.
7. Чем характеризуется ремонтпригодность? Показатели ремонтпригодности.
8. Что такое сохраняемость, как она определяется?
9. Как рассчитывается коэффициент готовности?
10. Что характеризует коэффициент технического использования, как он рассчитывается?
11. Вероятность безотказной работы при последовательном соединении элементов изделия.
12. Как рассчитывается вероятность безотказной работы при параллельном соединении элементов изделия? Преимущество такого соединения элементов.

Список литературы

1. Мишин В.А. Управление качеством / В.М.Мишин.- М.: Юнити-Дана, 2008.-463с.
2. Фомин В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация./В.Н. Фомин. - М.: Ось-89, 2002г.-384с.
3. Варакута С.А. Управление качеством продукции / С.А .Варакута.- М.: Инфра-М, 2002.-206с.
4. Баскаков В.В. Менеджмент качества при создании сложных технических объектов и систем / В.В.Баскаков, В.Ю. Мележко и др.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-188с.
5. Калейчик ММ. Квалиметрия / ММ.Калейчик.- М.: МГИУ, 2005.- 200.
6. Елизаветин М.А. Повышение надёжности машин /М.А.Елизаветин.-М.: Машиностроение, 1973.-430с.
7. Фёдоров Д.И. надёжность рабочего оборудования землеройных машин / Д.И. Фёдоров, Б.А.Бондаревич.- М.: Машиностроение, 1981.-280 с.
8. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
9. ГОСТ 17510-79. Надёжность изделий машиностроение. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений.
10. Бобровников Г.Н. Технический уровень и качество продукции /Г.Н.Бобровников. – М.: Экономика, 1984.-224с.

Список основных терминов

Восстанавливаемость, изделие, назначенный срок службы, наработка, неремонтируемое изделие, повреждение, ремонтируемое изделие, система, срок службы, элемент.