

ИНЖИНИРИНГ

Доцент каф. «Приборостроение
и мехатроника»

Кузнецов Борис Васильевич
(канд. техн.наук, доцент)

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. «Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации» .Под ред. В.А. Новикова, Л.М.Чернигова. – М.: «Академия», 2009 – 368с.

б) дополнительная литература:

1. «Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации»
Под ред. В.А. Новикова, Л.М.Чернигова. – М.:
«Академия», 2009 – 368с.
2. БЕЛОВ М.П., ЗЕМЕНТОВ О.И., КОЗЯРУК А.Е. -
ИНЖИНИРИНГ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ. - М.: АКАДЕМИЯ, 2010. - 400 С.
3. БЕЛОВ М.П., ЗЕМЕНТОВ О.И., КОЗЯРУК А.Е. -
ИНЖИНИРИНГ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ. - М.: АКАДЕМИЯ, 2010. - 400 С.
4. Антонов В.Н. Адаптивное управление в технических
системах : учеб. пособие /В.Н.Антонов, В.А.Терехов, И.
Ю.Тюкин. — СПб. : Изд-во С.-Петербургского универ
ситета, 2001. - 244 с.

5. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник / М.П.Белов, В.А.Новиков, Л.Н. Рассудов.-М.: Изд. центр «Академия», 2004. — 576 с.
6. Интернет ресурсы

ЛЕКЦИЯ 6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАДЁЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

**2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТКАЗОВ.
РЕЗЕРВИРОВАНИЕ**

**3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
НАДЁЖНОСТИ**

.

1. Основные понятия и термины

Надёжность – свойство объекта сохранять способность выполнять заданные функции.

Надёжность – сложное свойство, включающее, в свою очередь, в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации такие свойства, как

- безотказность,
- долговечность,
- ремонтпригодность и
- сохраняемость

или сочетание этих свойств объекта. Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, к восстановлению работоспособности и исправности в процессе технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение (и после) хранения и (или) транспортирования.

Исправность – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

Неисправность – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД.

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных НТД.

Основные параметры характеризуют функционирование объекта при выполнении поставленных задач и устанавливаются в НТД.

Неработоспособность – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД.

Понятие «исправность» шире,
чем понятие
«работоспособность».

Работоспособный объект в
отличие от исправного
удовлетворяет лишь тем
требованиям НТД, которые
обеспечивают его нормальное
функционирование при
выполнении поставленных задач.

Работоспособность и неработоспособность в общем случае могут быть **полными** или **частичными**. Полностью работоспособный объект обеспечивает в определённых условиях максимальную эффективность его применения. Эффективность применения в тех же условиях частично работоспособного объекта меньше максимально возможной, но значения её показателей при этом ещё находятся в пределах, установленных для такого функционирования, которое считается нормальным. Частично неработоспособный объект может функционировать, но уровень эффективности при этом ниже допустимого. Полностью неработоспособный объект применять по назначению невозможно.

Понятия частичной работоспособности и частичной неработоспособности применяют главным образом к «сложным» («большим») системам, для которых характерна возможность нахождения в нескольких состояниях. Эти состояния различаются уровнями эффективности функционирования системы.

Работоспособность и **неработоспособность** некоторых объектов могут быть только полными, т. е. они могут иметь только два состояния.

Работоспособный объект в отличие от исправного обязан удовлетворять лишь тем требованиям НТД, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению.

При этом он может не удовлетворять, например, эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида объекта не препятствует его нормальному (эффективному) функционированию

Очевидно, что

**работоспособный объект может
быть**

**неисправным, однако,
отклонения от требований НТД
при этом не настолько
существенны, чтобы нарушалось
нормальное функционирование.**

Предельное состояние –

состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению должно быть прекращено из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого отклонения заданных параметров за установленные пределы, недопустимого увеличения эксплуатационных расходов или необходимости проведения капитального ремонта.

Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются НТД на данный объект.

Невосстанавливаемый объект достигает предельного состояния при возникновении отказа или при достижении заранее установленного предельно допустимого значения срока службы или суммарной наработки.

Предельно допустимые значения срока службы и наработки устанавливаются из соображений безопасности эксплуатации в связи с необратимым снижением эффективности использования ниже допустимой или в связи с увеличением интенсивности отказов, закономерным для объектов данного типа после установленного периода эксплуатации.

Для восстанавливаемых объектов переход в предельное состояние определяется наступлением момента, когда дальнейшая эксплуатация невозможна или нецелесообразна вследствие следующих причин:

- становится невозможным поддержание его безопасности, безотказности или эффективности на минимально допустимом уровне;
- в результате изнашивания и (или) старения объект пришел в такое состояние, при котором ремонт требует недопустимо больших затрат или не обеспечивает необходимой степени восстановления исправности или ресурса.

Для некоторых восстанавливаемых объектов предельным состоянием считается такое, когда необходимое восстановление исправности может быть осуществлено только с помощью капитального ремонта

.

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправности объекта при сохранении его работоспособности.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

Признаки (критерии) отказов устанавливаются НТД на данный объект.

Восстановление – процесс обнаружения и устранения отказа (повреждения) с целью восстановления его работоспособности (исправности).

Восстанавливаемый объект – объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемых условиях.

При анализе надежности, особенно при выборе показателей надежности объекта, существенное значение имеет решение, которое должно быть принято в случае отказа объекта. Если в рассматриваемой ситуации восстановление работоспособности данного объекта при его отказе по каким-либо причинам признается нецелесообразным или неосуществимым (например, из-за невозможности прерывания выполняемой функции), то такой объект в данной ситуации является невозстанавливаемым.

Таким образом, один и тот же объект в зависимости от особенностей или этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемым или невозстанавливаемым.

Например, аппаратура метеоспутника на этапе хранения относится к восстанавливаемой, а во время полета в космосе – невосстанавливаемой. Более того, даже один и тот же объект можно отнести к тому или иному типу в зависимости от назначения:

ЭВМ, используемая для неоперативных вычислений, является объектом восстанавливаемым, так как в случае отказа любая операция может быть повторена; а та же ЭВМ, управляющая сложным технологическим процессом в металлургии или химии, является невосстанавливаемым объектом, так как отказ или сбой приводит к непоправимым последствиям.

Показатель надежности – техническая характеристика, количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта.

Показатель надежности количественно характеризует, в какой степени данному объекту или данной группе объектов присущи определенные свойства, обуславливающие надежность. Показатель надежности может иметь размерность (например, среднее время восстановления) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы).

Наработка – продолжительность или объем работы объекта.

Объект может работать непрерывно или с перерывами. Во втором случае учитывается суммарная наработка. **Наработка** может измеряться в единицах времени, циклах, единицах выработки (гектарах, кубометрах) и других единицах. В процессе эксплуатации или испытаний различают суточную наработку, месячную наработку, наработку до первого отказа, наработку между отказами, заданную наработку и т. д.

Если объект эксплуатируется в различных режимах нагрузки, то, например, наработка в облегченном режиме может быть выделена и учитываться отдельно от наработки при номинальной нагрузке.

Технический ресурс – наработка
объекта от начала его эксплуатации
до достижения предельного
состояния или капитального
(среднего) ремонта или от начала
эксплуатации после ремонта
(среднего или капитального) до
следующего ремонта или
достижения предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после капитального или среднего ремонта до наступления предельного состояния.

Под эксплуатацией объекта понимается стадия его существования в распоряжении потребителя при условии применения объекта по назначению, что может чередоваться с хранением, транспортированием, техническим обслуживанием и ремонтом, если это осуществляется потребителем.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения установленных показателей (в том числе показателей надежности) в заданных пределах.

Различают сохраняемость до применения (в упаковке изготовителя) и в процессе применения.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТКАЗОВ. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких основных параметров объекта.

Внезапный отказ обычно является следствием постепенного накопления неисправностей и повреждений.

Постепенный отказ – отказ, характеризующийся постепенным изменением значений одного или нескольких основных параметров объекта.

Независимый отказ элемента – отказ элемента объекта, не обусловленный повреждениями и отказами других элементов объекта.

Зависимый отказ элемента – отказ элемента объекта, обусловленный повреждениями и отказами других элементов объекта.

Полный отказ – отказ, после возникновения которого использование объекта по назначению возможно, но при этом значения одного или нескольких основных параметров находятся вне допустимых пределов, т. е.

работоспособность объекта понижена

Перебегающий отказ –

многократно возникающий и самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

Конструкционный отказ – отказ,

возникающий вследствие ошибок конструктора (или несовершенства существующих у разработчика методов конструирования).

Производственный отказ – отказ, возникающий вследствие нарушения или несовершенства технологического процесса изготовления объекта или комплектующего изделия.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникающий вследствие нарушения установленных правил эксплуатации или вследствие влияния непредусмотренных внешних воздействий.

Классификация отказов

Признак классификации	Вид отказа
Характер изменения основного параметра объекта до момента возникновения отказа	Внезапный/Постепенный
Возможность последующего использования объекта после возникновения его отказа	Полный/Частичный
Связь между отказами	Независимый/Зависимый
Устойчивость неработоспособности	Устойчивый/ Самоустраняющийся

Окончание табл.1

Признак классификации	Вид отказа
Наличие внешних проявлений отказа	Очевидный (явный)
Причина возникновения отказа: - при конструировании (ошибка конструктора, несовершенство принятых методов конструирования)	Конструкционный
- при изготовлении (ошибка при изготовлении – нарушение принятой технологии, несовершенство технологии)	Производственный
- при эксплуатации (нарушение правил эксплуатации, внешние воздействия, не свойственные нормальной эксплуатации)	Эксплуатационный
Природа происхождения	Естественный/ Искусственный (вызываемый намеренно)

Резервирование

Резервирование – метод повышения надежности объекта введением дополнительных элементов и функциональных возможностей сверх минимально необходимых для нормального выполнения объектом заданных функций.

Структурное резервирование –

метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточных элементов, входящих в физическую структуру объекта.

Временное резервирование – метод

повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточного времени, выделенного для выполнения задач.

Информационное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточной информации сверх минимально необходимой для выполнения задач.

Функциональное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование способности элементов выполнять дополнительные функции вместо основных или наряду с ними.

Нагрузочное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование способности его элементов воспринимать дополнительные нагрузки сверх номинальных.

Основной элемент – элемент основной физической структуры объекта, минимально необходимой для нормального выполнения объектом его задач.

Резервный элемент – элемент, предназначенный для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента.

Общее резервирование – резервирование, при котором резервируется объект в целом.

Раздельное резервирование – резервирование, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы.

Скользящее резервирование – резервирование замещением, при котором группа основных элементов объекта резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой оказавший основной элемент в данной группе.

Нагруженный резерв – резервный элемент, находящийся в том же режиме, что и основной.

Облегченный резерв – резервный элемент, находящийся в менее нагруженном режиме, чем основной.

Ненагруженный резерв – резервный элемент, практически не несущий нагрузок.

Восстанавливаемый резерв – резервный элемент, работоспособность которого в случае отказа подлежит восстановлению в процессе функционирования объекта.

Невосстанавливаемый резерв – резервный элемент, работоспособность которого в случае отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемых условиях функционирования объекта.

Кратность резервирования – отношение числа резервных элементов к числу резервируемых элементов объекта.

Дублирование – резервирование, при котором одному основному элементу придается один резервный.

3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЁЖНОСТИ

3.1. Единичные показатели надёжности

Показатели безотказности

вероятность безотказной работы $P(t)$;

– вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта (t) не возникнет (при условии работоспособности в начальный момент времени).

Для режимов хранения и транспортирования может применяться аналогично определяемый термин «вероятность не возникновения отказа».

средняя наработка до отказа $T_{ср}$;

– математическое ожидание случайной наработки объекта до первого отказа.

средняя наработка на отказ T_0

– отношение наработки восстанавливаемого объекта за некоторый период времени к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Этим термином можно назвать кратко среднюю наработку до отказа и среднюю наработку между отказами, когда оба показателя совпадают. Для совпадения последних необходимо, чтобы после каждого отказа объект восстанавливался до первоначального состояния.

- гамма-процентная наработка до отказа T_{γ} ;

– есть наработка, в течении которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах

- ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ $\lambda(t)$.

Статистически интенсивность отказов определяется как доля изделий, которые отказывают в единицу времени после момента времени t

- параметр потока отказов $\omega(t)$;
- средняя доля безотказной наработки $I(t)$;
- плотность распределения времени безотказной работы $f(t)$

и др.

ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

средний ресурс математическое ожидание ресурса;

гамма-процентный ресурс – наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью $1 - \gamma$;

назначенный ресурс - суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния;

средний срок службы математическое ожидание срока службы;

гамма-процентный срок службы - срок службы, в течение которого объект не достигает предельного состояния с вероятностью $1 - \gamma$.;

назначенный срок службы - суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

- **вероятность**
восстановления работоспособного состояния -
вероятность того, что фактическая продолжительность
восстановления работоспособности объекта не
превысит заданной.
- **среднее время восстановления** работоспособного
состояния - математическое ожидание случайной
продолжительности восстановления
работоспособности (собственно ремонта).
- **интенсивность восстановления и др.**

ПОКАЗАТЕЛИ СОХРАНЯЕМОСТИ

средний срок сохраняемости

математическое ожидание срока сохраняемости.

гамма-процентный срок

сохраняемости продолжительность хранения, в течение которой у объекта сохраняются установленные показатели с заданной вероятностью $1 - \gamma$.

3.2. Комплексные показатели надёжности

Коэффициент готовности K_{Γ} –
вероятность того, что изделие окажется
работоспособным в произвольный момент времени в
течение времени работы t_p

$$K_{\Gamma} = T_o / (T_o + T_{\epsilon}),$$

где T_{ϵ} – наработка на отказ;
 T_o – среднее время восстановления

Коэффициент технического использования $K_{\text{ти}}$ –
Отношение математического ожидания времени
пребывания изделия в работоспособном состоянии
к сумме математических ожиданий времени
**работы изделия, ремонта и технического
обслуживания**

$$K_{\text{ти}} = T_o / (T_o + T_v + T_{\text{обсл.}}),$$

где T_o – наработка на отказ;

T_v – среднее время восстановления (ремонта);

$T_{\text{обсл.}}$ - среднее время технического
обслуживания изделия

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ –

вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, безотказно проработает время t_p

$$K_{ог} = P(t_{з.}) = K_{г} P(t_{p.}),$$

где $P(t_{з.})$ – вероятность выполнения задачи.