



Лекция 1

Теория надежности.
Основные понятия и
определения.

Надёжность

- СВОЙСТВО СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ
ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭТОЙ СИСТЕМОЙ
- заданных функций
 - с заданными характеристиками
 - в определённых условиях эксплуатации
 - в течение требуемого интервала времени

Важнейший показатель современной техники

надежность

```
graph TD; A[надежность] --- B[качество]; A --- C[эффективность]; A --- D[безопасность]; A --- E[готовность]; A --- F[живучесть];
```

качество

эффективность

безопасность

ГОТОВНОСТЬ

живучесть

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р 53480-2009

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

Термины и определения

Dependability in technics. Terms and definitions

«1. изделие: ...

...

4,5 восстанавливаемое/ невосстанавливаемое изделие: ...

...

17. надежность: ...

...

49. отказ: ...

...

79 наработка до отказа: ...

...

212. анализ риска: ...»

Надежность изделия ГОСТ Р 53480-2009

СВОЙСТВО *готовности* и
влияющие на него
свойства
безотказности и
ремонтпригодности,
и поддержка
технического
обслуживания

Способность в данных условиях:

- выполнить требуемую функцию, в предположении, что внешние ресурсы обеспечены
- выполнить требуемую функцию в заданном интервале времени
- к поддержанию или восстановлению состояния, в которых оно может выполнить требуемую функцию

Критерий надежности

признак, по которому оценивается
надежность¹

Характеристики критериев:

- научность
- вычисляемость
- наглядность
- непротиворечивость др. критериям качества

Показатель – численное значение критерия²

1 например, вероятность безотказной работы $p(t)$

2 $p(1000)=0,999$

Показатели надежности

ТЗ

задаются

Проектирование

определяются

Испытания
Эксплуатация

оцениваются

ГОСТ 27.301-95 Расчет надежности.

- **Программа обеспечения надежности объекта:** цели, методики, документы, исполнители, сроки, представление результатов, контроль и пр.
- **Общая схема:** последовательное, поэтапное уточнение оценок показателей по мере отработки конструкции, технологии, алгоритмов функционирования, ..., накопления информации, применения более адекватных и точных методов расчета и расчетных моделей
- **Методы:**
 - прогнозирование (на основе достигнутых значений и выявленных тенденций по объектам-аналогам)
 - структурные (на основе логических, структурных, функциональных схем, описывающих состояния и переходы элементов)
 - физические (на основе мат. моделей, описывающих процессы, приводящие к отказам)

Качественные критерии надежности

- *«рассчитать показатели надежности сложной системы методами современной теории практически невозможно, как невозможно их подтвердить путем испытаний техники. Причинами этого являются неадекватность математических моделей, сложность расчетов из-за большой размерности системы уравнений, отсутствие достоверных данных о надежности элементов сложных систем»* Половко, Гуров «Основы теории надежности» стр. 594
- Вариант: Система надежна, если удовлетворяет качественным критериям. Качественные критерии*:
 - формулируются;
 - не противоречат количественным;
 - не требуют расчетов

* Пример комплексного качественного критерия:

система абсолютно надежна если число элементов $< n$, время непрерывной работы $< t$, нагрузка на элементы не превышает $k\%$ от номинальной и отсутствует единая точка отказа

Теория надежности

наука, изучающая:

- закономерности отказов технических систем;
- критерии и показатели надежности;
- методы анализа и синтеза техники по критериям надежности;
- методы обеспечения и повышения надежности;
- научные методы эксплуатации техники.

Разделы теории надежности

- Математическая теория надежности
- Физическая теория надежности
- Теория восстановления
- Прогнозирование
- Контроль
- Диагностика
- Испытания на надежность

Особенности теории надежности

- использование математики, теории вероятностей, математической статистики, математической логики, теории СМО, теории графов, методов статистического моделирования, методов оптимизации и др.;
- случайный характер отказов и восстановлений (вероятностный характер задач);
- трудность математического моделирования из-за отсутствия достоверных данных о надежности элементов системы;
- трудность (или невозможность) организации статистических испытаний из-за технических и экономических ограничений;
- сложность современных систем и, как результат, большая размерность задач.

Проблемы, ожидающие решения

- Надежность ПО
- Человеческий фактор в надежности
- Надежность уникальной техники
- Надежность глобальных территориальных систем
- Надежность развивающихся систем
и др.

ГОСТ 34.602-89 ТЗ на создание автоматизированной системы

В требования к надежности включают:

- 1) состав и количественные значения показателей надежности для системы в целом или ее подсистем;
- 2) перечень аварийных ситуаций, по которым должны быть регламентированы требования к надежности, и значения соответствующих показателей;
- 3) требования к надежности технических средств и программного обеспечения;
- 4) требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

Априорный анализ надежности

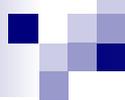
- проектирование;
- предполагаются известными показатели надежности всех элементов системы;
- математический аппарат теории вероятностей и случайных процессов.
- позволяет выявить «слабые» по надежности места в проекте, сравнить варианты.

Апостериорный анализ надежности

- испытания, эксплуатация;
- методы математической статистики;
- получение оценок показателей

Элемент и система

- Деление условное: один и тот же объект может быть и системой, состоящей из элементов, и элементом более сложной системы
- При определении надежности системы элемент считают неделимым, а его надежность - заданной
- Система может включать в себя в качестве элементов и нетехнические объекты: например, ПО, обслуживающий персонал и т.п.
- Надежность системы зависит от количества элементов, способа их объединения в систему и характеристик надежности каждого отдельного элемента.



Классификация технических систем

Невосстанавливаемая – отказ приводит к неустранимым последствиям, работа системы после отказа считается невозможной или нецелесообразной.

Восстанавливаемая – система может продолжать выполнение своих функций после устранения отказа.

Отказ

потеря способности выполнить требуемую функцию (приводит в состояние неисправности - *failure*)

Критичность отказа – степень тяжести его последствий

Признаки классификации отказов:

- характер;
 - причина;
 - дальнейшее использование;
 - легкость обнаружения
- и др.

Классификация отказов

- По характеру возникновения:
 - внезапные;
 - постепенные.
- По причине возникновения:
 - конструкционные;
 - производственные;
 - эксплуатационные.
- По признаку дальнейшего использования:
 - полные;
 - частичные.
- По легкости обнаружения:
 - скрытые;
 - явные.

Причины отказов ВС (по материалам *Gartner Group*)

среда 10%

люди 20%

ПО 30%

технические средства 40%

Дерево отказов (*Fault Tree*)

модель причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями

Вершины:

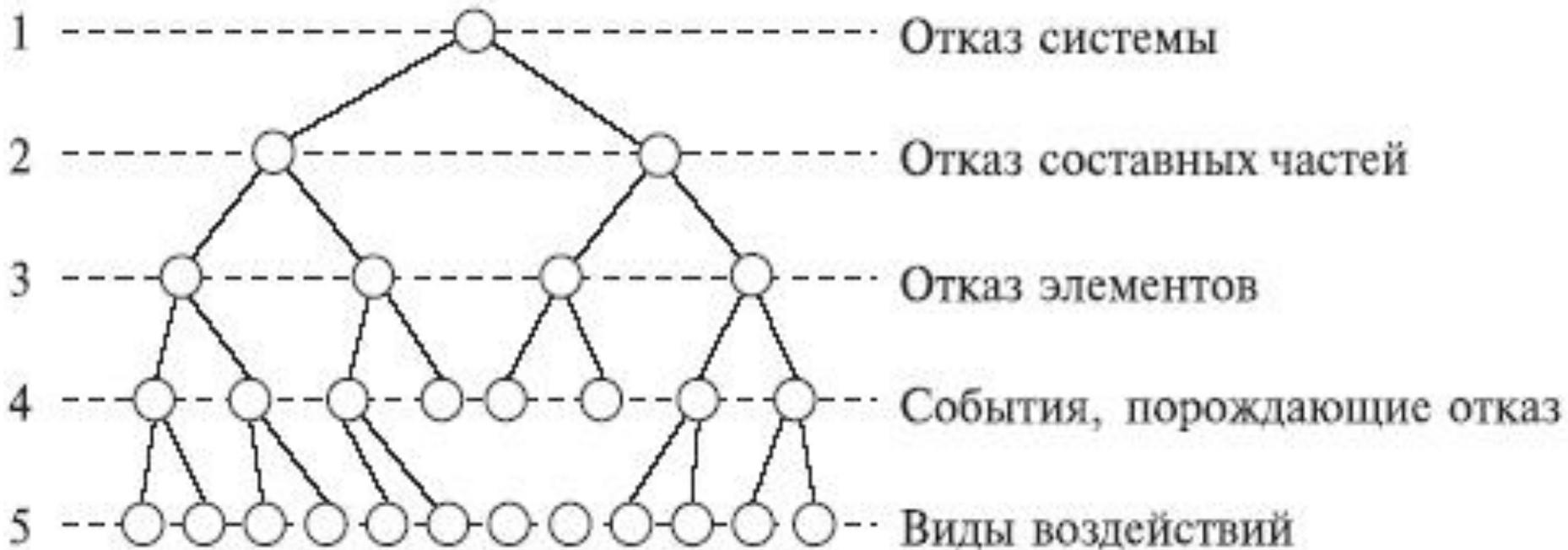
-  - исходные события (отказы)
-  - детально не разработанные события (не доведены до исходных типов отказов)

Логические символы: И, приоритетное И (учитывает порядок событий), ИЛИ, исключающее ИЛИ, m из n (голосование) и др.

Дуги: причинно-следственные связи

Достоинство: наглядность

Принцип построения

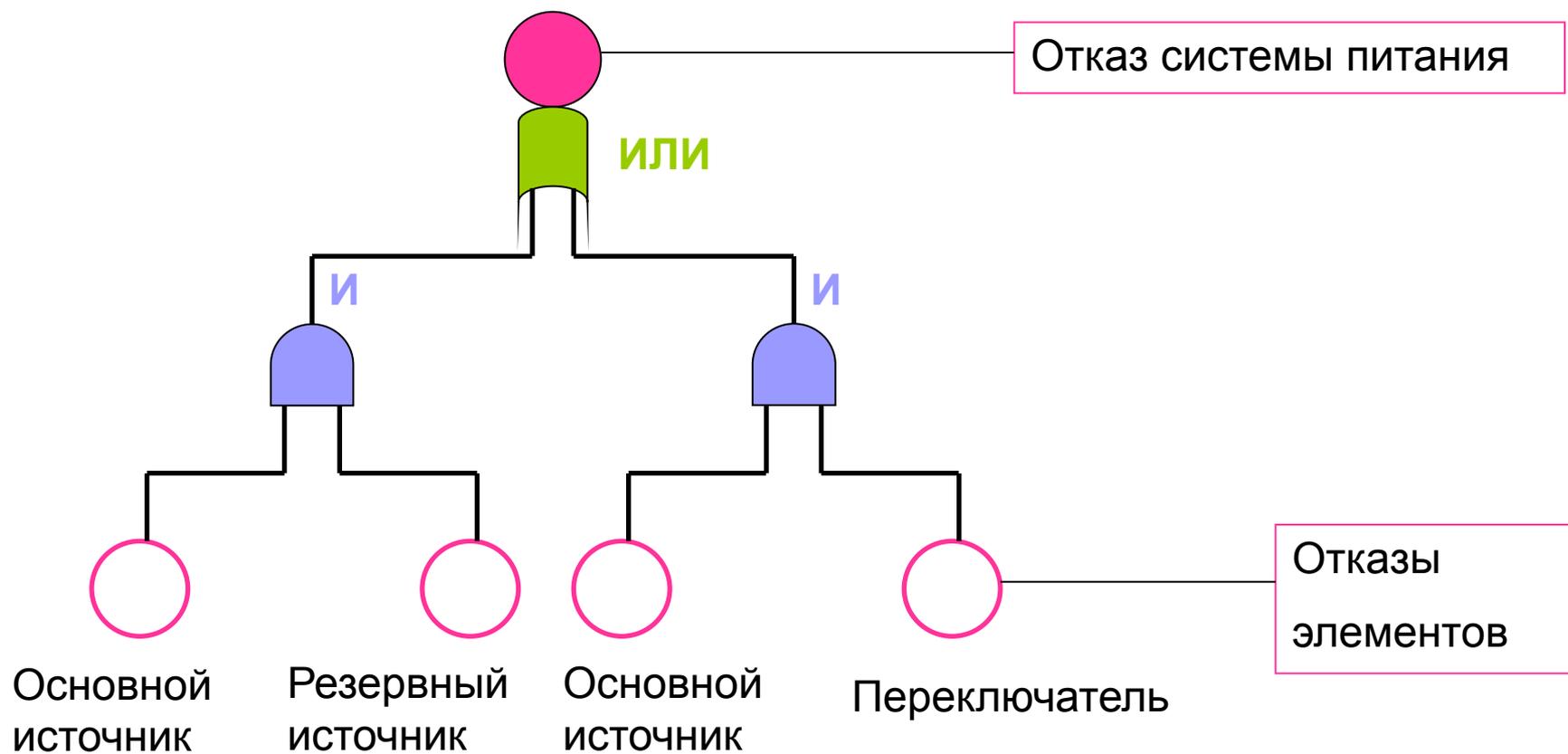


ГОСТ Р 27.302-2009 АНАЛИЗ ДЕРЕВА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Недостатки дерева отказов

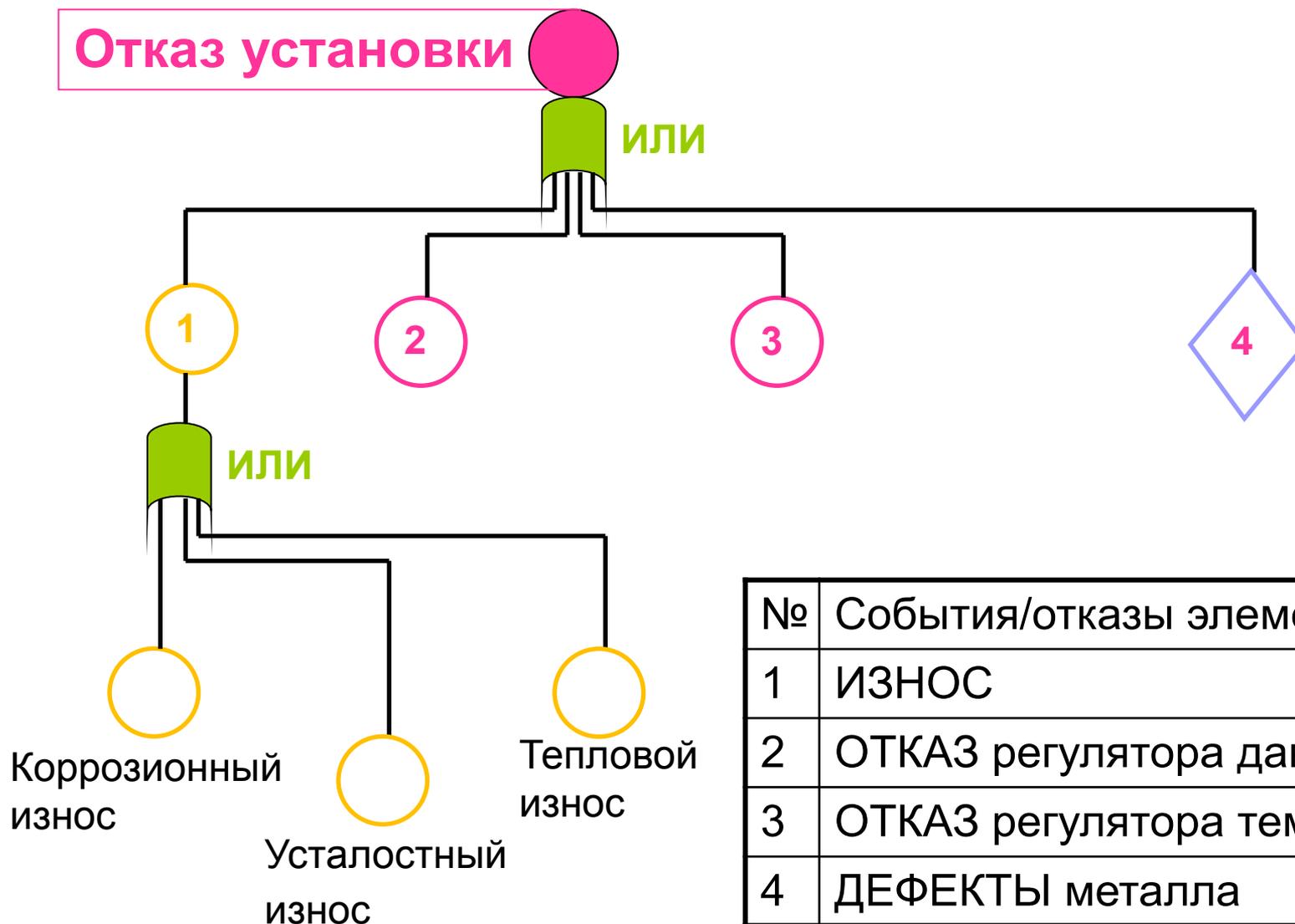
- Только 2 состояния (работа-отказ) (не подходит для частичных отказов)
- Для каждого конкретного отказа – конкретное ДО
- Статическое описание в определенный момент времени

Пример 1: дерево отказов



Пример 2: дерево отказов

Отказ установки



№	События/отказы элементов
1	ИЗНОС
2	ОТКАЗ регулятора давления
3	ОТКАЗ регулятора температуры
4	ДЕФЕКТЫ металла

Резервирование

способ повышения надежности
путем включения резервных
(избыточных) элементов

Кратность резервирования -
отношение числа резервных к числу
основных

- с целой кратностью
- с дробной кратностью

Виды избыточности

- **Аппаратная**
- **Программная** (например, обработка одинаковых исходных данных разными программами)
- **Информационная** (например, многократная передача информации в телекоммуникационных системах, дублирование данных)
- **Временная** (например, использование некоторой части производительности системы для контроля за исполнением программ и восстановления вычислительного процесса)

Методы резервирования

- По структуре системы:
 - **общее** – параллельно включаются идентичные системы;
 - **раздельное (поэлементное)** – использование отдельных резервных устройств.
- По способу включения резервных устройств:
 - **постоянное (пассивное)** – резервные элементы соединены с основными в течение всего времени работы;
 - **замещением (активное)** – резервные элементы замещают основные только после отказа последних.

Режимы работы резервных элементов

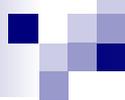
1. **Нагруженный** – резервные элементы находятся в том же режиме, что и основные
2. **Ненагруженный** – резервные элементы отключены
3. **Облегченный** – резервные элементы включены, но работают не на полную нагрузку (т.е. их надежность в резерве выше, чем в рабочем состоянии)

Виды эксплуатации техники

- **Эксплуатация по назначению** зависит от условий эксплуатации:
 - квалификации пользователя;
 - режимов эксплуатации;
 - условий хранения;
 - наличия/отсутствия резервирования.
- **Техническая эксплуатация** – предназначена для поддержания высокой надежности техники в процессе работы:
 - анализ данных по критичным элементам;
 - контроль;
 - профилактика и ремонт;
 - оптимизации резервирования.

Стандарты

- ГОСТ Р 53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения
- ГОСТ Р 27.001-2009 Система управления надежностью
- ГОСТ Р 27.004-2009 (Модели отказов)
- ГОСТ Р 27.302-2009 (Анализ дерева неисправностей)
- ГОСТ Р 27.403 (404)-2009 (Планы испытаний)
- ГОСТ 27.301-95 Расчет надежности.
- ГОСТ Р 27.310-95 Анализ видов, последствий и критичности отказов



Надежность ЭВМ и ВС определяется 3 составляющими:

- безотказность
- ремонтпригодность
- достоверность функционирования

Безотказность

свойство системы сохранять работоспособность в течение определённого интервала времени.

Отказ – нарушение работоспособности, случайное событие, интервал времени между отказами случайная величина с некоторым законом распределения.

Критерий безотказности –

$T_{ср}$ – среднее время безотказной работы
(*Mean Time Between Failure, MTBF*)

Отказоустойчивость

свойство логической машины выполнять предписанные ей функции, в то время как в физической машине имеет место отказ.

Отказоустойчивость предполагает подавление в определённых пределах влияния отказов и сбоев на работу системы с помощью:

- средств контроля и коррекции ошибок;
- средств автоматического восстановления вычислительного процесса после проявления неисправности;
- аппаратно-программной избыточности.

Ремонтопригодность

степень приспособленности системы к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путём проведения ремонта и ТО.

Критерий -Тв – среднее время восстановления
(*Mean Time Repair, MTTR*)

Время восстановления:

70% - поиск неисправности

30% - устранение.

Контролепригодность

приспособленность системы к контролю и диагностированию.

Задача обеспечения контролепригодности решается на этапе проектирования и включает:

- выбор точек контроля;
- формирование типовых элементов замены;
- создание системы автоматического диагностирования неисправностей;
- создание аппаратно-программных средств автоматизации испытаний.

Достоверность функционирования

свойство машины, определяемое, безошибочностью преобразования информации и характеризуемое закономерностями появления ошибок из-за сбоев.

Сбой – кратковременное, самоустраняющееся нарушение нормального функционирования, вызванное внутренними или внешними помехами электромагнитного характера.

Определение показателей надежности на этапе проектирования

1. Выбор методики и математической модели
2. Декомпозиция до уровня элементов, надежность которых является определенной и разработка структурной схемы
3. Расчет показателей по 1,2
4. Анализ результатов и принятие решения о соответствии надежности системы уровню, определенном в ТЗ



Критичность элемента

степень влияния элемента на работоспособность системы

Учитываются:

- возможность отказа;
- тяжесть последствий отказа;
- устойчивость элемента к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды;
- возможность локализации отказа;
- контроль состояния элемента в ходе эксплуатации;
- резервирование.

Элементы ранжируются по степени критичности. Для критичных элементов создаются «информационные паспорта» с технико-экономическими показателями и операциями, которые производились над элементами при восстановлении

