



# 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  
надежность<sup>1</sup>

Характеристики критериев:

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

Показатель – численное значение критерия<sup>2</sup>

---

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:

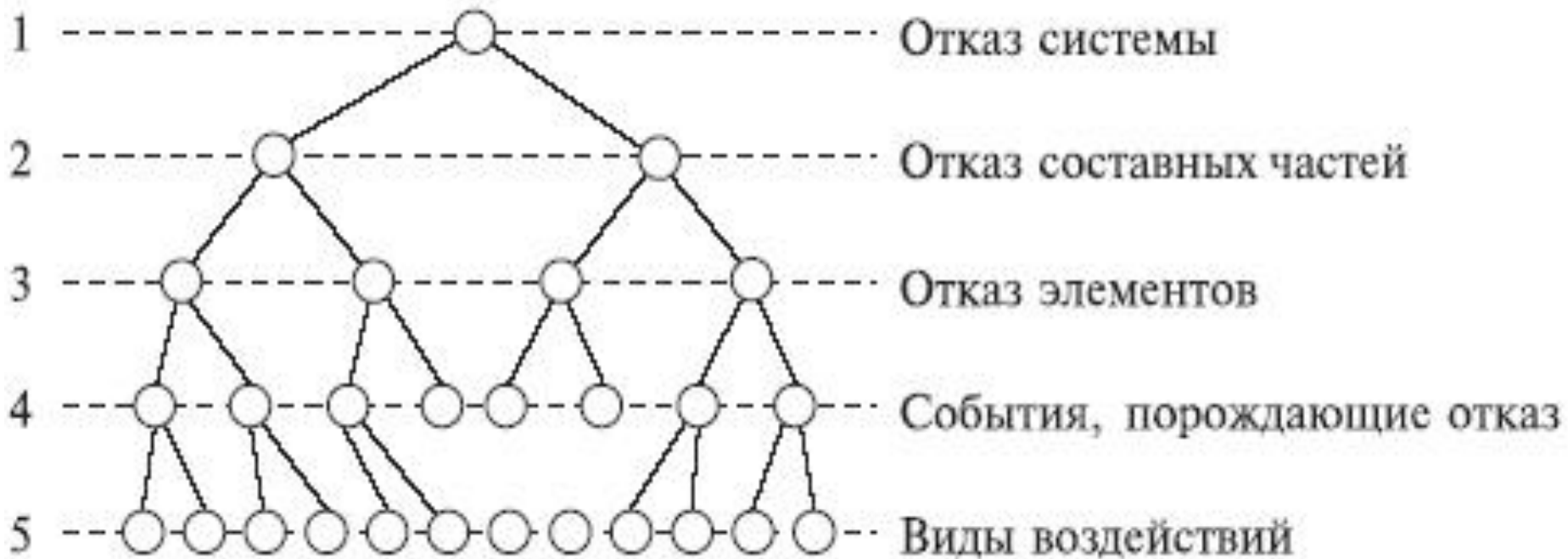
-  исходные события (отказы)
-  - детально не разработанные события (не доведены до исходных типов отказов)

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



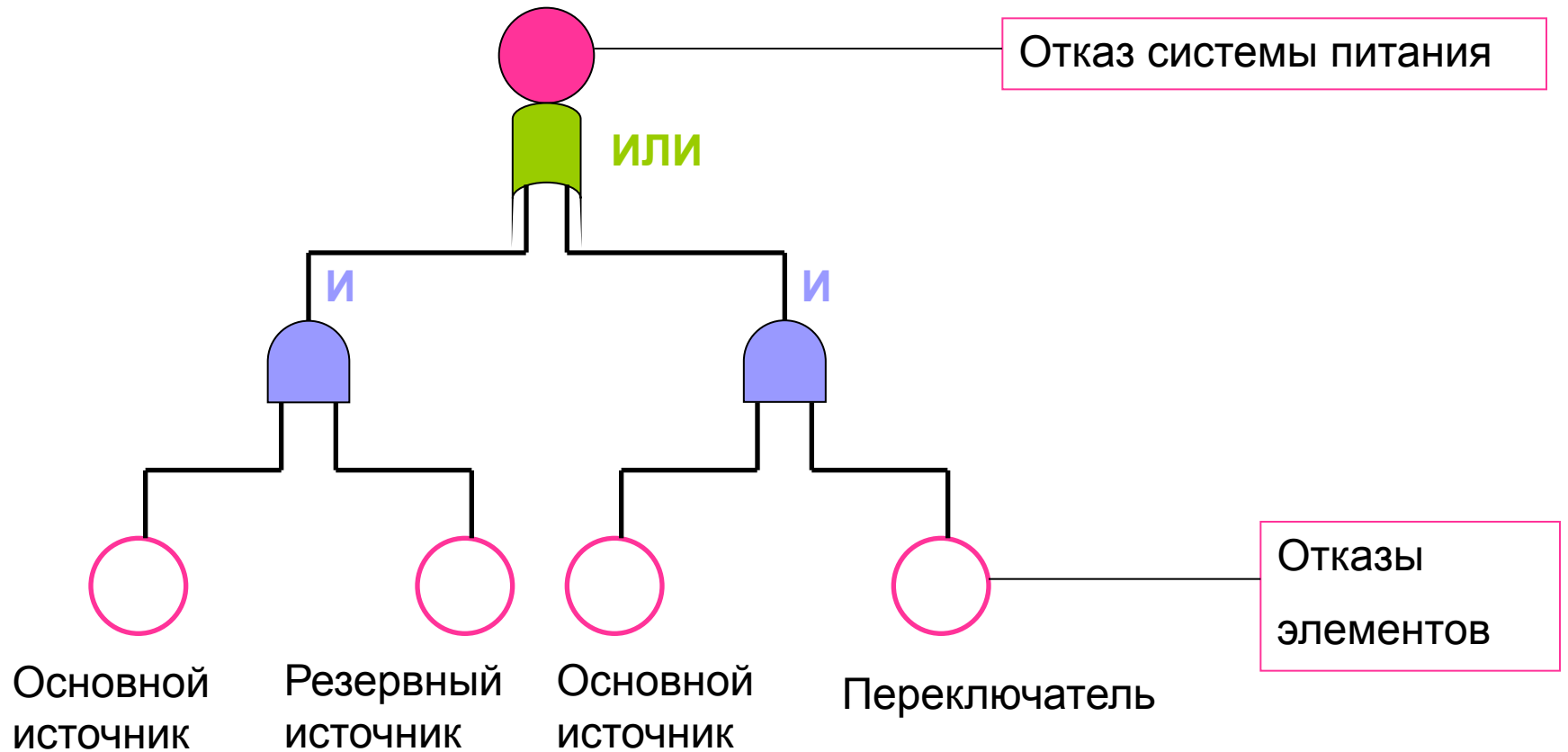
ГОСТ Р 27.302-2009 АНАЛИЗ ДЕРЕВА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

# 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

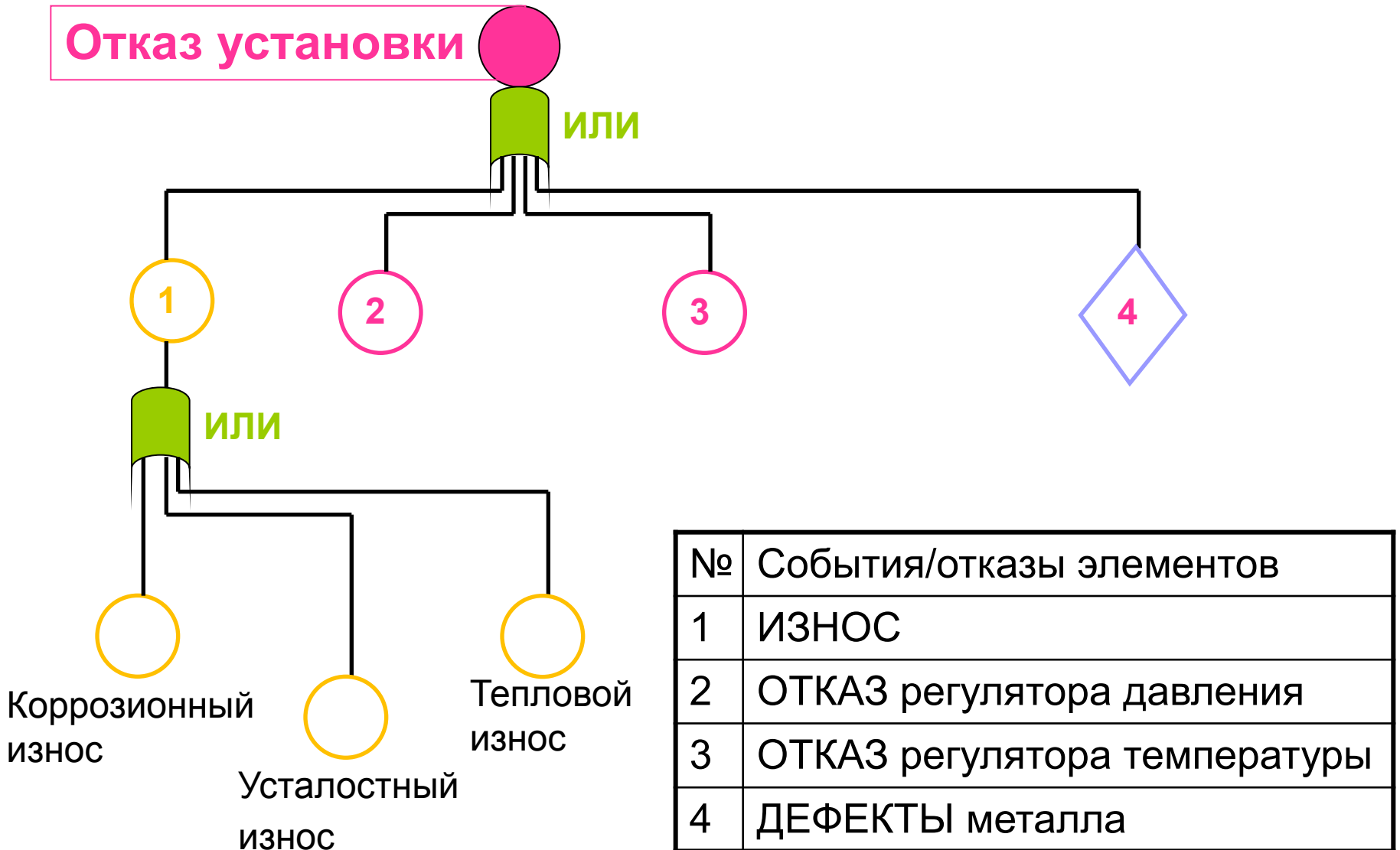


# Пример 1: дерево отказов



# Пример 2: дерево отказов

Отказ установки



# 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

