**1.Предмет теории надежности.**

**Теория надежности** — это научная дисциплина, изучающая методы обеспечения и оценки надежности технических систем, устройств и процессов.

Основные аспекты предмета надежности:

1. **Определение надежности**
   * Надежность — свойство объекта сохранять работоспособность в заданных условиях в течение определенного времени.
   * Основные составляющие:
     + **Безотказность** (способность работать без сбоев).
     + **Ремонтопригодность** (способность к восстановлению после отказа).
     + **Долговечность** (ресурс до предельного состояния).
     + **Сохраняемость** (работоспособность после хранения/транспортировки).
2. **Количественные показатели надежности**
   * Вероятность безотказной работы P(t)*P*(*t*).
   * Интенсивность отказов λ(t)*λ*(*t*).
   * Среднее время наработки на отказ (MTBF — Mean Time Between Failures).
   * Среднее время восстановления (MTTR — Mean Time To Repair).
3. **Методы анализа надежности**
   * Статистический анализ отказов.
   * Расчетные методы (структурные и логико-вероятностные схемы).
   * Испытания на надежность (ускоренные, ресурсные).
   * Моделирование (Монте-Карло, марковские процессы).
4. **Применение в инженерии**
   * Проектирование надежных систем (резервирование, дублирование).
   * Оптимизация технического обслуживания (ТОиР).
   * Прогнозирование остаточного ресурса оборудования.

Основные понятия и определения теории надежности.

### ****2.Основные понятия и определения теории надежности****

Теория надежности опирается на ряд ключевых понятий, которые позволяют количественно и качественно оценивать работоспособность технических систем.

## **1. Надежность (Reliability)**

**Определение:**  
Свойство объекта сохранять способность выполнять требуемые функции в заданных условиях в течение заданного времени.

**Компоненты надежности:**

* **Безотказность** – способность работать без сбоев в определенный период.
* **Ремонтопригодность** – приспособленность к обнаружению и устранению отказов.
* **Долговечность** – срок службы до предельного состояния (износа).
* **Сохраняемость** – способность сохранять работоспособность при хранении и транспортировке.

## **2. Отказ (Failure)**

**Определение:**  
Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

**Классификация отказов:**

* **Внезапные** (аварийные, случайные) – например, обрыв провода.
* **Постепенные** (износные) – из-за старения, коррозии.
* **Связанные с человеческим фактором** – ошибки эксплуатации.
* **Частичные** – ухудшение характеристик без полной потери функции.
* **Полные** – полная потеря работоспособности.

## **3. Работоспособность и исправность**

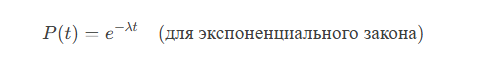
* **Работоспособность** – состояние, при котором объект выполняет заданные функции.
* **Исправность** – состояние, при котором объект соответствует всем требованиям (включая неосновные параметры).

(Пример: Автомобиль ***работоспособен***, если едет, но ***неисправен***, если не работают фары.)

## **4. Показатели надежности**

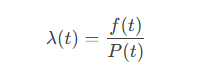
### ****4.1. Вероятность безотказной работы (P(t))****

* Вероятность того, что объект не откажет в течение времени **t**.
* Формула:

где **λ** – интенсивность отказов.

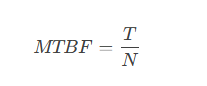
### ****4.2. Интенсивность отказов (λ(t))****

* Число отказов в единицу времени.
* Для неремонтируемых систем:

где **f(t)** – плотность распределения отказов.

### ****4.3. Средняя наработка на отказ (MTBF – Mean Time Between Failures)****

* Среднее время между отказами для восстанавливаемых систем.
* Формула:

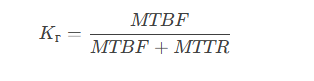
где **T** – общее время работы, **N** – число отказов.

### ****4.4. Среднее время восстановления (MTTR – Mean Time To Repair)****

* Среднее время ремонта после отказа.

### ****4.5. Коэффициент готовности (Availability, Kг)****

* Вероятность того, что система окажется работоспособной в случайный момент времени.



## **5. Резервирование (Redundancy)**

**Определение:**  
Способ повышения надежности за счет дублирования элементов.

**Типы резервирования:**

* **Горячее** – резервный элемент включен параллельно.
* **Холодное** – резерв включается только после отказа основного.
* **Скользящее** – один резерв заменяет любой отказавший элемент.

## **6. Закон распределения отказов**

* **Экспоненциальный** (постоянная интенсивность отказов, λ=const).
* **Нормальный** (износные отказы).
* **Вейбулла** (учитывает "старение" системы).

### ****Понятие «отказ» в информационных системах****

**Отказ** — это событие, при котором система или её компонент перестают выполнять требуемые функции в рамках заданных условий.

В контексте **информационных систем (ИС)** отказ может проявляться как:

* полная недоступность сервиса,
* частичная потеря функциональности,
* некорректная обработка данных,
* снижение производительности ниже допустимого уровня.

**3. Понятие «отказ» и классификация отказов информационных систем.**

## **Классификация отказов в информационных системах**

### ****1. По характеру возникновения****

| **Тип отказа** | **Описание** | **Пример** |
| --- | --- | --- |
| **Аппаратные** | Связаны с физическими неисправностями оборудования. | Отказ сервера, повреждение жёсткого диска, перегрев процессора. |
| **Программные** | Ошибки в коде, уязвимости, конфликты версий. | Падение БД из-за SQL-инъекции, утечка памяти в приложении. |
| **Человеческий фактор** | Ошибки администраторов, пользователей или злонамеренные действия. | Неправильная настройка сети, удаление критичных данных. |
| **Сетевые** | Проблемы с подключением, перегрузка каналов. | DDoS-атака, обрыв кабеля, сбой маршрутизации. |

### ****2. По времени проявления****

| **Тип отказа** | **Описание** | **Пример** |
| --- | --- | --- |
| **Внезапные** | Происходят мгновенно без предупреждения. | Короткое замыкание, аварийное завершение процесса. |
| **Постепенные** | Развиваются со временем из-за износа или накопления ошибок. | Деградация SSD, фрагментация БД. |
| **Периодические** | Повторяются при определённых условиях. | Утечка памяти при нагрузке, зависание сервиса раз в неделю. |

### ****3. По степени влияния****

| **Тип отказа** | **Описание** | **Пример** |
| --- | --- | --- |
| **Полные** | Система полностью неработоспособна. | Отказ ЦОД, выход из строя основной БД. |
| **Частичные** | Часть функций остаётся доступной. | Отказ одного модуля в микросервисной архитектуре. |
| **Деградационные** | Система работает, но с заметным снижением качества. | Увеличение времени отклика API. |

### ****4. По возможности восстановления****

| **Тип отказа** | **Описание** | **Пример** |
| --- | --- | --- |
| **Самоисправляющиеся** | Система автоматически восстанавливается. | Перезапуск упавшего контейнера в Kubernetes. |
| **Восстанавливаемые** | Требуется вмешательство администратора. | Ручной откат после неудачного обновления. |
| **Необратимые** | Требуется замена компонентов. | Физическое разрушение SSD. |

## **Особые случаи в информационных системах**

* **Каскадные отказы** — один отказ вызывает цепочку других (например, перегрузка серверов из-за отказа балансировщика).
* **Скрытые отказы** — не проявляются явно, но ведут к накоплению ошибок (например, тихие повреждения данных в БД).
* **Отказы безопасности** — уязвимости, приводящие к утечкам или взлому (например, непатченная CVE-уязвимость).

4.Зависимость надежности от времени.

Надежность технических систем и компонентов изменяется со временем, и эту зависимость можно описать с помощью **кривой жизненного цикла отказов** (также известной как **"ваннаобразная кривая"**).

## **1. Основные фазы изменения надежности**

### ****1.1. Фаза приработки (ранние отказы, "младенческая смертность")****

* **Характеристика:** Высокая интенсивность отказов в начале эксплуатации.
* **Причины:**
  + Дефекты производства, сборки.
  + Несовершенство технологии.
  + Ошибки монтажа и настройки.
* **Как снизить влияние:**
  + Проведение **приработочных испытаний** (burn-in тесты).
  + Использование **ускоренного старения** для выявления слабых компонентов.

### ****1.2. Фаза нормальной эксплуатации (период постоянной интенсивности отказов)****

* **Характеристика:** Интенсивность отказов примерно постоянна.
* **Причины:**
  + Случайные внешние воздействия (перегрузки, человеческий фактор).
  + Непредсказуемые события (например, сбои питания).
* **Модель:** Экспоненциальное распределение отказов (λ = const).
* **Как повысить надежность:**
  + Резервирование (дублирование критичных узлов).
  + Защита от внешних воздействий (ИБП, стабилизаторы).

### ****1.3. Фаза износа (возрастные отказы)****

* **Характеристика:** Интенсивность отказов резко возрастает.
* **Причины:**
  + Физический износ (коррозия, деградация материалов).
  + Накопление усталостных повреждений.
  + Исчерпание ресурса (например, у SSD — предельное число циклов записи).
* **Модель:** Нормальное распределение или распределение Вейбулла.
* **Как продлить срок службы:**
  + Плановое ТО (замена изнашиваемых компонентов).
  + Использование более долговечных материалов.

## **2. Математические модели зависимости надежности от времени**

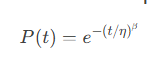
### ****2.1. Экспоненциальное распределение (для фазы нормальной эксплуатации)****



где:

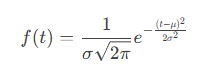
* P(t)*P*(*t*) — вероятность безотказной работы,
* λ*λ* — постоянная интенсивность отказов.

### ****2.2. Распределение Вейбулла (учитывает износ и приработку)****

где:

* η*η* — характеристическое время жизни,
* β*β* — параметр формы:
  + β<1*β*<1 — ранние отказы,
  + β=1*β*=1 — случайные отказы (экспоненциальное распределение),
  + β>1*β*>1 — износные отказы.

### ****2.3. Нормальное распределение (для износовых отказов)****

где:

* μ*μ* — средний срок службы,
* σ*σ* — стандартное отклонение.

## **3. Практические выводы**

1. **Для новых систем** важно проводить **приработочные тесты**, чтобы исключить ранние отказы.
2. **В период нормальной эксплуатации** можно использовать статистические методы прогнозирования (например, расчёт MTBF).
3. **При приближении к износу** необходимо планировать замену компонентов до наступления катастрофических отказов.
4. **Для критичных систем** применяют **резервирование** и **прогнозирование остаточного ресурса**.

**7.Показатели надежности информационных систем.**

Надежность ИС оценивается с помощью количественных и качественных метрик, которые помогают прогнозировать отказы, оптимизировать обслуживание и повышать отказоустойчивость.

## **1. Основные показатели надежности**

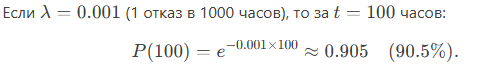
### ****1.1. Вероятность безотказной работы (P(t))****

* **Определение:** Вероятность того, что система проработает без сбоев в течение времени t*t*.
* **Формула:**

P(t)=e−λt(для экспоненциального распределения)*P*(*t*)=*e*−*λt*(для экспоненциального распределения)

где λ*λ* — интенсивность отказов.

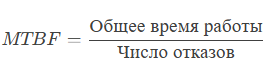
**Пример:**



**1.2. Интенсивность отказов (λ(t))**

* **Определение:** Количество отказов в единицу времени.
* **Особенности:**
  + Для фазы нормальной эксплуатации λ=const*λ*=const.
  + В фазе износа λ(t)*λ*(*t*) растет со временем.
* **Пример:** Сервер с λ=0.0002 (1 отказ в 5000 часов).

### ****1.3. Средняя наработка на отказ (MTBF — Mean Time Between Failures)****

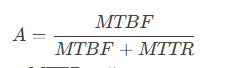
* **Определение:** Среднее время между отказами для восстанавливаемых систем.
* **Формула:**
* 
* **Пример:** Система работала 10 000 часов, зафиксировано 2 отказа → MTBF=5000*MTBF*=5000 часов.

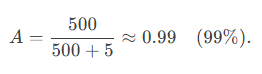
### ****1.4. Среднее время восстановления (MTTR — Mean Time To Repair)****

* **Определение:** Среднее время, необходимое для устранения отказа.
* **Влияет на:** Доступность системы (Availability).
* **Пример:** Если на ремонт после 3 отказов ушло 6 часов, то MTTR=2*MTTR*=2 часа.

### ****1.5. Коэффициент готовности (Availability, A)****

* **Определение:** Вероятность того, что система будет работоспособна в произвольный момент времени.
* **Формула:**



* **Пример:** При MTBF=500*MTBF*=500 часов и MTTR=5*MTTR*=5 часов:
* 

### ****1.6. Средний срок службы (MTTF — Mean Time To Failure)****

* **Определение:** Среднее время до первого отказа для неремонтируемых систем.
* **Пример:** SSD с MTTF=1.5*MTTF*=1.5 млн часов.

## **2. Дополнительные метрики для ИС**

### ****2.1. Время простоя (Downtime)****

* **Определение:** Суммарное время неработоспособности системы за период.
* **Нормативы:** Для высоконадежных систем — менее 5 минут в год (т.н. "пять девяток", 99.999% доступности).

### ****2.2. Частота отказов (Failure Rate)****

* **Определение:** Количество отказов за определенный интервал времени.
* **Пример:** 2 отказа в месяц.

### ****2.3. Глубина восстановления****

* **Определение:** Способность системы вернуться к состоянию до отказа (полное/частичное восстановление).

### ****2.4. Уровень резервирования****

* **Определение:** Количество избыточных компонентов, обеспечивающих отказоустойчивость.
* **Пример:** "N+1" (один резервный сервер на группу рабочих).

## **3. Примеры расчетов**

### ****Пример 1: Расчет коэффициента готовности****

* Данные:
  + MTBF=720*MTBF*=720 часов (1 месяц),
  + MTTR=2*MTTR*=2 часа.
* Решение:

### 

### ****Пример 2: Оценка вероятности безотказной работы****

* Данные:
  + λ=0.0001*λ*=0.0001 (1 отказ в 10 000 часов),
  + t=1000*t*=1000 часов.
* Решение:



## **4. Практическое применение**

### ****4.1. Для проектирования ИС****

* Выбор архитектуры (микросервисы, кластеризация).
* Расчет необходимого уровня резервирования.

### ****4.2. Для эксплуатации****

* Плановое ТО на основе MTBF*MTBF* и MTTF*MTTF*.
* Мониторинг MTTR*MTTR* для оптимизации процессов восстановления.

### ****4.3. Для бизнеса****

* Оценка ущерба от простоев (например, при A=99.9%*A*=99.9% downtime ≈ 8.76 часов/год).

**10.Надежность восстанавливаемых систем.**

Восстанавливаемые системы – это системы, которые после отказа могут быть возвращены в работоспособное состояние путем **ремонта** или **замены** отказавших элементов. Их надежность характеризуется не только вероятностью безотказной работы, но и скоростью восстановления.

## **1. Основные понятия**

### ****1.1. Поток отказов****

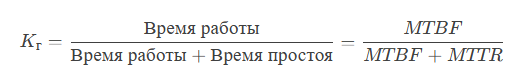
* Восстанавливаемые системы подвержены **потоку отказов** – последовательности отказов, происходящих в случайные моменты времени.
* Если отказы независимы и их интенсивность постоянна (после периода приработки), поток считается **простейшим (пуассоновским)**.

### ****1.2. Время работы и время восстановления****

* **Наработка на отказ (MTBF – Mean Time Between Failures)** – среднее время между соседними отказами.
* **Среднее время восстановления (MTTR – Mean Time To Repair)** – среднее время, необходимое для устранения отказа.

### ****1.3. Коэффициент готовности****

Один из ключевых показателей надежности восстанавливаемых систем:

* **Идеальная система**: Kг≈1*K*г​≈1 (MTTR → 0).
* **Ненадежная система**: Kг≈0*K*г​≈0 (MTBF мало или MTTR велико).

## **2. Модели надежности восстанавливаемых систем**

### ****2.1. Марковские процессы****

* Используются, если переходы между состояниями (работоспособность/отказ) подчиняются экспоненциальному распределению.
* Пример: система с резервированием и восстановлением.

### ****2.2. Полумарковские процессы****

* Применяются, когда время восстановления не экспоненциальное.

### ****2.3. Модель "работа-восстановление"****

* Циклический процесс:
  1. Система работает до отказа (экспоненциальное/вейбулловское распределение).
  2. Происходит восстановление (нормальное/логарифмически нормальное распределение).
  3. Цикл повторяется.

## **3. Методы повышения надежности**

1. **Резервирование (избыточность)** – дублирование критических компонентов.
2. **Оптимизация обслуживания** – плановые проверки, прогнозирование отказов.
3. **Снижение MTTR** – обучение персонала, автоматизация диагностики.
4. **Повышение ремонтопригодности** – модульная конструкция, легкий доступ к компонентам.

## **4. Примеры восстанавливаемых систем**

* **Энергосистемы** (линии электропередач, трансформаторы).
* **Серверные кластеры** (автоматический перезапуск после сбоя).
* **Транспортные системы** (поезда, самолеты – ремонт между рейсами).
* **Промышленные линии** (замена деталей без остановки производства).

**11.Надежность невосстанавливаемых систем.**

Невосстанавливаемые системы — это системы, которые **не подлежат ремонту** после отказа и требуют полной замены. К ним относятся:

* Электронные компоненты (чипы, резисторы, конденсаторы).
* Одноразовые устройства (батареи, некоторые датчики).
* Космические аппараты (где ремонт невозможен).

Для таких систем применяются **специфические показатели надежности**, учитывающие их неремонтопригодность.

## **1. Основные показатели надежности**

### ****1.1. Вероятность безотказной работы (P(t))****

* **Определение:** Вероятность того, что система проработает без отказа до момента времени t*t*.
* **Формула:**

где λ*λ* — интенсивность отказов.

**Пример:**  
Для устройства с λ=0.001*λ*=0.001 (1 отказ в 1000 часов):

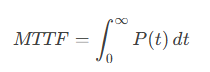
* P(100)=e−0.001×100≈0.905*P*(100)=*e*−0.001×100≈0.905 (90.5%).
* P(1000)=e−1≈0.368*P*(1000)=*e*−1≈0.368 (36.8%).

### ****1.2. Интенсивность отказов (λ)****

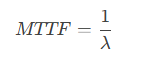
* **Определение:** Среднее количество отказов в единицу времени.
* Для невосстанавливаемых систем λ*λ* может быть:
  + Постоянной (экспоненциальное распределение).
  + Возрастающей (распределение Вейбулла при β>1*β*>1).

### ****1.3. Средняя наработка до отказа (MTTF — Mean Time To Failure)****

* **Определение:** Математическое ожидание времени работы до первого отказа.
* **Формула:**



Для экспоненциального распределения:

**Пример:**  
Если λ=0.0002*λ*=0.0002 (1 отказ в 5000 часов), то MTTF=5000*MTTF*=5000 часов.

### ****1.4. Функция распределения отказов (F(t))****

* **Определение:** Вероятность того, что система откажет до момента t*t*.
* **Формула:**

**Пример:**  
Для P(1000)=0.368*P*(1000)=0.368, F(1000)=1−0.368=0.632*F*(1000)=1−0.368=0.632 (63.2%).

### ****1.5. Плотность распределения отказов (f(t))****

* **Определение:** Производная от F(t)*F*(*t*), показывает "скорость" отказов.
* **Формула:**

f(t)=λe−λt(для экспоненциального распределения)*f*(*t*)=*λe*−*λt*(для экспоненциального распределения)

## **2. Модели распределения отказов**

### ****2.1. Экспоненциальное распределение****

* **Применение:** Если интенсивность отказов постоянна (λ=const*λ*=const).
* **Формула:**

P(t)=e−λt*P*(*t*)=*e*−*λt*

### ****2.2. Распределение Вейбулла****

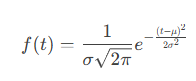
* **Применение:** Если интенсивность отказов меняется со временем (износ, старение).
* **Формула:**

где:

* + η*η* — масштабный параметр,
  + β*β* — параметр формы:
    - β<1*β*<1: уменьшение интенсивности отказов (приработка),
    - β=1*β*=1: экспоненциальное распределение,
    - β>1*β*>1: увеличение интенсивности отказов (износ).

### ****2.3. Нормальное распределение****

* **Применение:** Для систем с износом, где отказы группируются вокруг среднего срока службы.
* **Формула:**

где μ*μ* — средний срок службы, σ*σ* — стандартное отклонение.

## **3. Примеры расчетов**

### ****Пример 1: Расчет MTTF для экспоненциального закона****

* Дано: λ=0.0001*λ*=0.0001 (1 отказ в 10 000 часов).
* Решение:

### 

### ****Пример 2: Вероятность безотказной работы для распределения Вейбулла****

* Дано: η=1000*η*=1000 часов, β=2*β*=2.
* Найти P(500)*P*(500):



## **4. Особенности невосстанавливаемых систем**

1. **Нет понятия MTTR** (поскольку ремонт невозможен).
2. **Критичен срок службы (MTTF)** — определяет, когда нужно менять систему.
3. **Резервирование** — основной способ повышения надежности:
   * **Активное (горячее)** — резервные элементы работают параллельно.
   * **Пассивное (холодное)** — резерв включается только после отказа основного.

**Пример резервирования:**

* Система с 1 основным и 1 резервным элементом (N+1).
* Вероятность отказа обоих: Fобщая(t)=F1(t)×F2(t)*F*общая​(*t*)=*F*1​(*t*)×*F*2​(*t*).

## **5. Практические выводы**

1. **Для одноразовых устройств** (например, батарей) важно учитывать **MTTF** при проектировании.
2. **В космической технике** используют **кратное резервирование** из-за невозможности ремонта.
3. **В электронике** применяют **ускоренные испытания** для оценки λ*λ* и MTTF*MTTF*.

**20. Классификация ошибок программного обеспечения**

Ошибки ПО делятся на следующие категории:

1. **По этапу возникновения**:
   * Ошибки проектирования (неверные требования, архитектура).
   * Ошибки реализации (кодирования).
   * Ошибки тестирования (пропущенные дефекты).
2. **По типу**:
   * Логические (неверные алгоритмы).
   * Синтаксические (нарушение правил языка).
   * Ошибки взаимодействия (интерфейсы, API).
3. **По критичности**:
   * Minor (незначительные).
   * Major (существенные).
   * Critical (критические, приводящие к отказу).
4. **По локализации**:
   * Внутренние (в модуле).
   * Внешние (взаимодействие с окружением).

**26. Зависимость надежности от времени**

Надежность системы изменяется во времени согласно **"кривой жизни" (bathtub curve)**:

1. **Ранний период (приработка)**:
   * Высокий уровень отказов из-за скрытых дефектов.
   * Надежность растет после устранения "детских болезней".
2. **Нормальная эксплуатация**:
   * Отказы редки и случайны (экспоненциальное распределение).
   * Надежность стабильна.
3. **Период износа**:
   * Увеличение отказов из-за старения компонентов.
   * Требуется замена или модернизация.

*Математические модели*:

* Экспоненциальное распределение (для периода нормальной работы).
* Вейбулла (учитывает износ).

**29. Показатели надежности вычислительных систем**

Основные метрики:

1. **Вероятность безотказной работы (P(t))** – вероятность работы без сбоев за время \*t\*.
2. **Интенсивность отказов (λ)** – среднее число отказов в единицу времени.
3. **Среднее время наработки на отказ (MTBF)** – для ремонтопригодных систем.
4. **Среднее время до отказа (MTTF)** – для неремонтопригодных систем.
5. **Коэффициент готовности** – отношение времени работы к общему времени (учитывает ремонт).
6. **Восстанавливаемость** – среднее время восстановления (MTTR).

**30. Специфика информационной системы как объекта исследования надежности**

Особенности ИС:

1. **Сложность**:
   * Взаимодействие множества компонентов (ПО, железо, сети).
   * Каскадные отказы.
2. **Динамичность**:
   * Изменения конфигурации, обновления ПО.
   * Зависимость от внешних сервисов (API, облака).
3. **Человеческий фактор**:
   * Ошибки администрирования.
   * Уязвимости из-за неправильной настройки.
4. **Данные как критический ресурс**:
   * Надежность включает целостность и доступность данных.
   * Требования к backup и восстановлению.
5. **Метрики для ИС**:
   * RPO (Recovery Point Objective) – допустимая потеря данных.
   * RTO (Recovery Time Objective) – допустимое время простоя.