



Базовый курс по надёжности

Алексей Глазачев

Продолжительность: 1.5 часа



Цели курса:

В этом курсе описаны наиболее важные задачи, связанные с анализом надёжности.

После прохождения этого курса вы:

- Узнаете что такое надёжность системы
- Узнаете что такое кривая отказов и её последствия для анализа надёжности
- Научитесь вычислять надёжность системы, состоящей из простых серийных и параллельных соединений элементов
- Поймете шесть ключевых методов повышения надёжности системы
- Будете знать о надёжности больше 97% людей



Значение надёжности:

По причине проблем с надёжностью происходят техногенные катастрофы (падают самолёты, взрываются химические заводы, рвутся газопроводы), из-за которых:

- гибнут люди
- наносится огромный урон окружающей среде и здоровью людей
- возникает экономический ущерб на миллионы и миллиарды рублей

Знания о надёжности (науке об отказах) помогут сделать мир безопаснее



Введение

Надёжность - это качество во времени

Самое простое и понятное определение того, что такое надёжность, фактически дано в заголовке. Надёжность – это свойство объекта сохранять качество во времени, где под качеством понимается всё, что удовлетворяет нужды потребителя. Надёжность – **важнейшая характеристика** любого объекта, поскольку нам всегда важно, чтобы то, что мы получаем от нашего поставщика, было качественным не только в момент приобретения, но в течение всего срока, когда мы будем этот объект использовать.



Задача анализа надёжности



Понятие надёжности

Надёжность можно определить как вероятность того, что устройство или система будут работать успешно в течение определенного периода времени, в соответствии с заданным набором действующих условий. Это определение имеет следующие важные последствия:

1. Надёжность - это вероятностная величина, которая означает, что она может быть определена количественно и принимает значения между 0 и 1
2. В более бытовом ключе под надёжностью понимают успешную эксплуатацию, успешную работу агрегата или системы
3. Надёжность всегда включает в себя время работы системы/агрегата
4. Надёжность зависит от условий эксплуатации



Понятие надёжности

Одна из основных сложностей при работе с надёжностью заключается в том, что надёжность это вероятностная величина, лежащая в пределах от 0 до 1. Сложность состоит в том, что наш мозг плохо приспособлен для работы со случайностью и вероятностью.

(Н. Талеб – «Одуроченные случайностью»).

Сравните два утверждения:

1. У вас есть 10 пальцев.
2. У вас есть 10 пальцев с вероятностью 0.999

Какое из них вам понятнее?



Задачи анализа надёжности

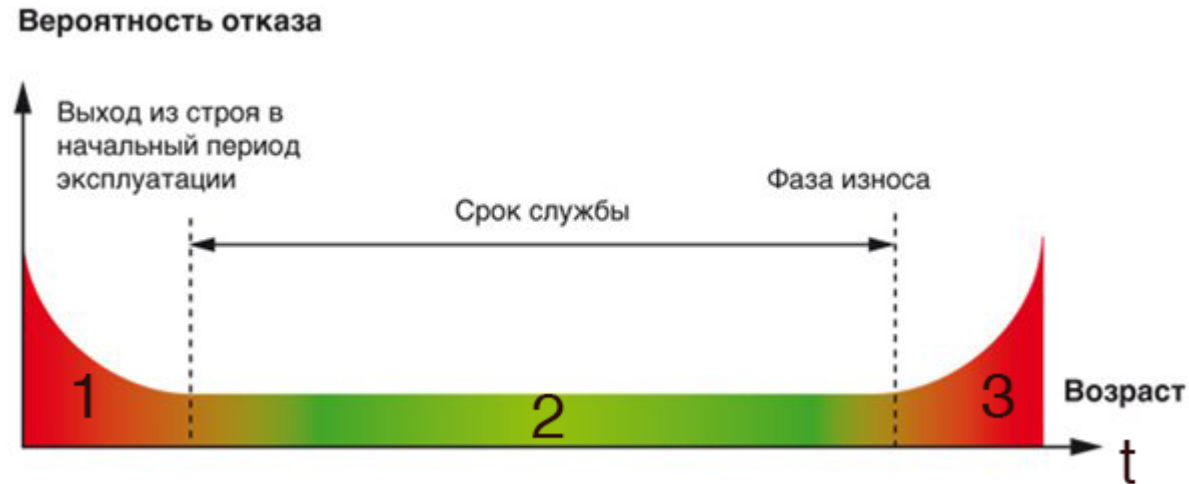
Анализ надёжности включает в себя 2 ключевые задачи:

1. Получение и исследование функции надёжности компонента или системы
2. Поиск путей повышения надёжности системы - стремление **максимизировать** надёжность системы с учетом ограничений на стоимость, вес, размер, энергопотребление; или, наоборот, попытка **минимизировать** стоимость, вес, размер, энергопотребление учитывая определенный уровень надёжности.

Теперь мы кратко рассмотрим некоторые элементы каждой из этих трех задач.



Исследование надёжности



Надёжность компонента изменяется в течение срока службы компонента. В частности, поведение надёжности описывается кривой отказов, которая показывает частоту отказа компонента как функцию времени. На этой кривой выделяют 3 участка поведения надёжности в зависимости от времени. (1) период приработки или «младенческой смертности», (2) период нормальной эксплуатации и (3) период износа.



Исследование надёжности

Период приработки. На данном этапе происходит много отказов из-за дефектов в конструкции или производстве. Но поскольку подобные дефекты как правило быстро устраняются, частота отказов тоже быстро уменьшается.

Следствие: прибор, проработавший некоторое время без отказов предпочтительнее совсем нового прибора, который ещё не был в эксплуатации.



Исследование надёжности

Период нормальной эксплуатации. После устранения «детских болезней», частота отказов стабилизируется на приблизительно постоянном значении. Для многих типов компонентов (особенно электронных компонентов), срок периода нормальной эксплуатации может быть довольно длительным относительно других этапов. Параметр интенсивности отказов в справочниках для оборудования приводится именно для этого этапа. Отказы, возникающие в течение этого периода называются случайными, поскольку они имеют тенденцию происходить непредсказуемо.



Исследование надёжности

Период износа. На данном этапе наблюдается увеличение частоты отказов. Устройство можно продолжать использовать, но затраты на ремонт могут быть экономически несопоставимы с созданием нового устройства. Постепенно устройство переходит в **предельное состояние** (будет рассмотрено ниже).



Исследование надёжности

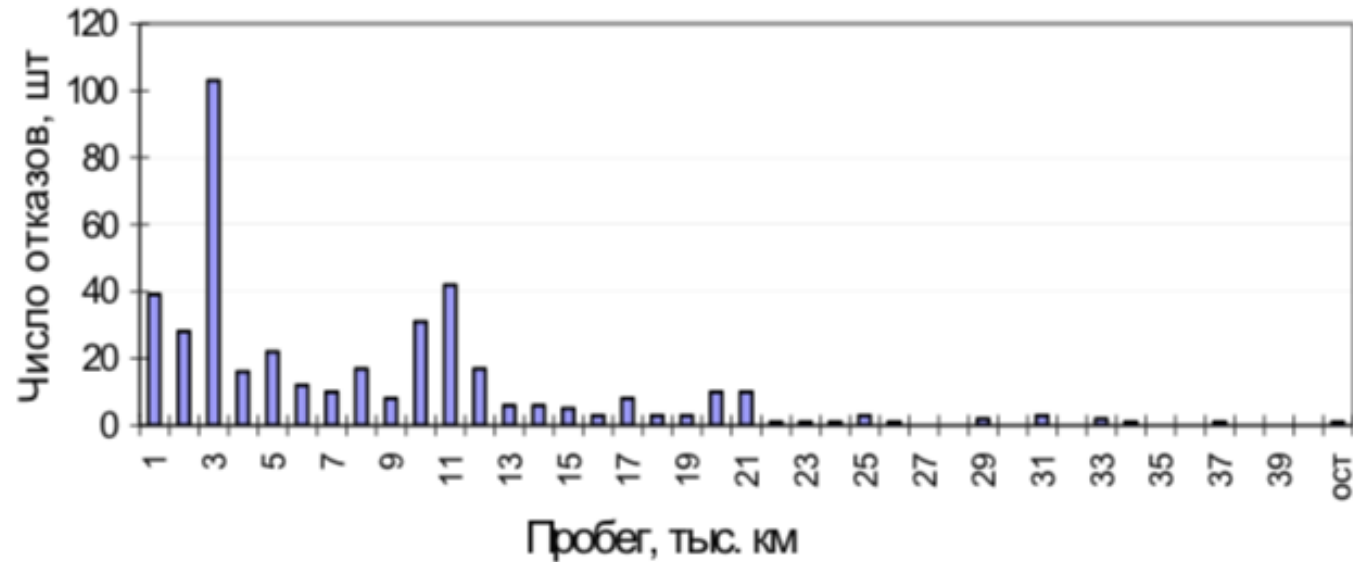
Эффект Линди. Термин придуман Н. Талебом. Линди— это популярное нью-йоркский кафе, которое гордится своей выпечкой, но среди математиков и физиков оно известно как место, где было придумано известное эмпирическое правило. Актеры - завсегдатаи этого заведения любили посплетничать о коллегах и работе, и обнаружили закономерность: бродвейские шоу, продержавшиеся на сцене в течение 100 дней, чаще всего могли рассчитывать ещё на такой же срок на сцене (соответственно, если шоу не снимали 200 дней — то ему можно было смело давать еще 200 дней жизни, и так далее).

Это правило было названо **эффектом Линди**.



Исследование надёжности

Рис. 3г Распределение числа отказов для автомобиля ВАЗ 2110 в зависимости от пробега



Возможно (но не точно) иногда техника тоже подвержена эффекту Линди.
Поразмышляйте об этом.



Проверьте свои знания

На каком этапе работы оборудования наблюдается примерно постоянная интенсивность отказов?

1. На этапе износа
2. На этапе приработки
3. На этапе нормальной эксплуатации



Проверьте свои знания

На каком этапе работы оборудования наблюдается примерно постоянная интенсивность отказов?

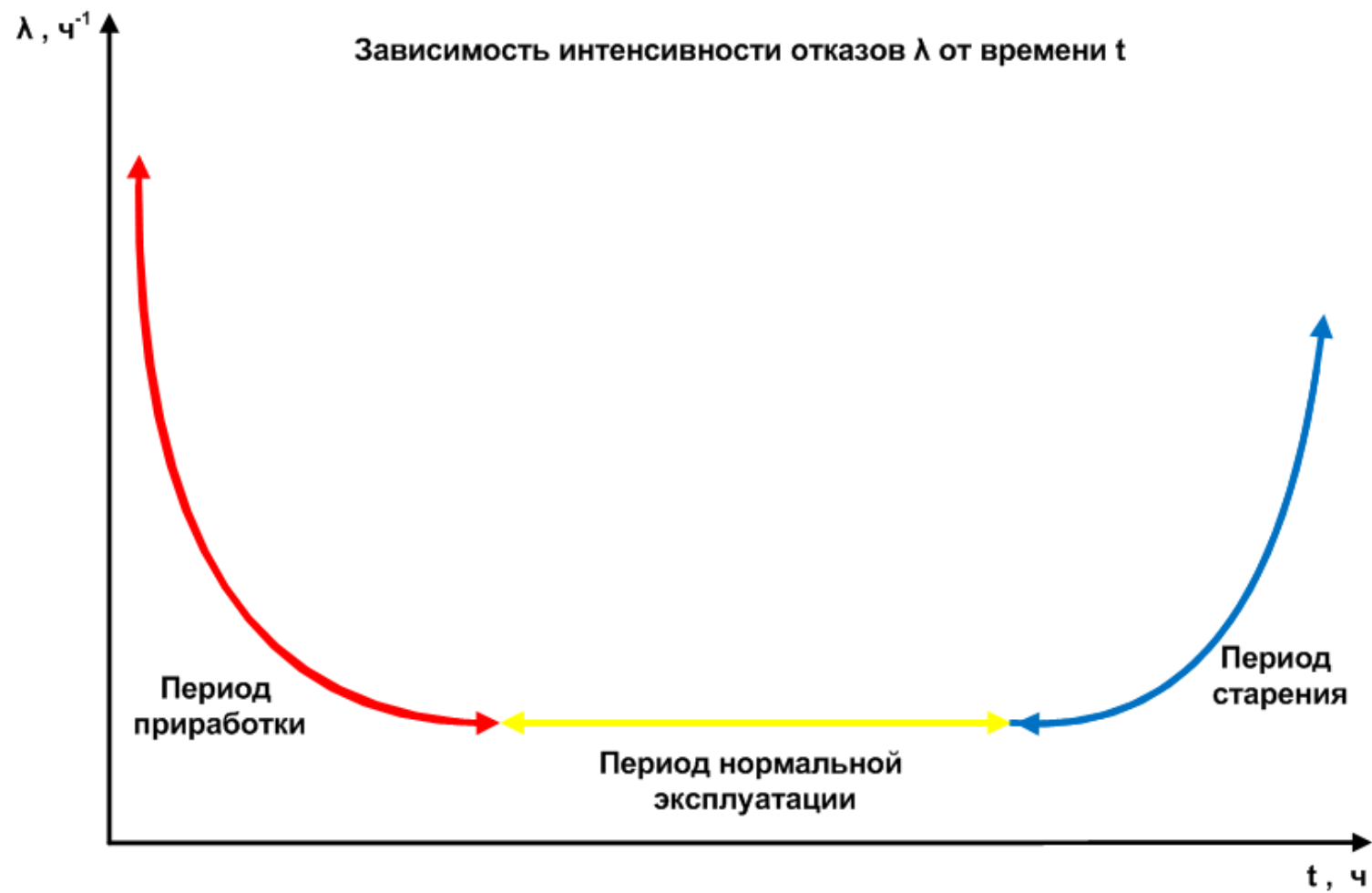
Правильный ответ:

1. На этапе нормальной эксплуатации



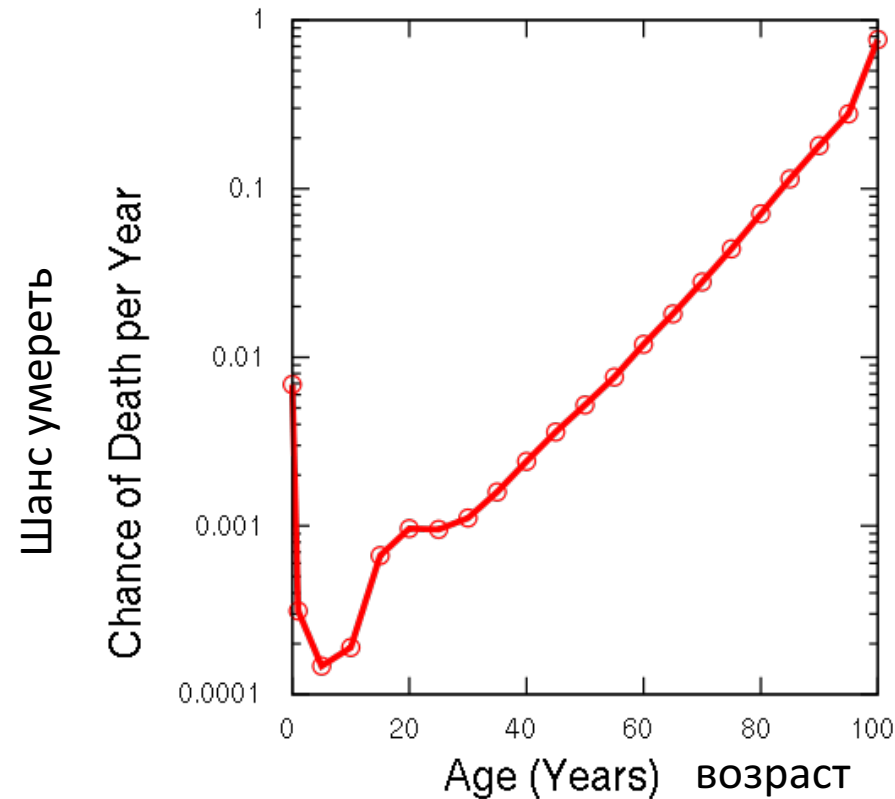
Исследование надёжности

Кривая отказов очень важна с практической точки зрения. Например, для некоторых компонентов важно определить период их приработки, чтобы к моменту использования по назначению период приработки был завершен и все отказавшие компоненты заменены. В идеале все компоненты должны использоваться только на этапе нормальной эксплуатации, с заменой до начала периода износа. В идеале для каждого критического элемента кривая отказов должна быть тщательно определена, чтобы точно знать когда произойдет переход с этапа на этап.





Исследование надёжности



Интересно, что по своим участкам кривая человеческой смертности похожа на кривую отказов техники. Сравните.



Исследование надёжности

Ещё один важный элемент в понимании функции надёжности компонента - это определение функции распределения вероятности, которая тесно связана с наблюдаемым поведением надёжности компонента. Одно из наиболее широко используемых вероятностных распределений в анализе надёжности - распределение Вейбулла. Эта популярность в анализе надёжности обусловлена тем, что его можно использовать для моделирования надёжности компонента на всех участках кривой отказов, в зависимости от того, какие значения имеют параметры распределения. Для компонента на этапе нормальной эксплуатации распределение Вейбулла имеет параметр, равный единице, и фактически эквивалентно экспоненциальному распределению, с которым легко и удобно работать.



Исследование надёжности

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Основная формула надёжности по экспоненциальному закону

$P(t)$ – вероятность безотказной работы компонента за время работы t

λ – интенсивность отказов



Исследование надёжности

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

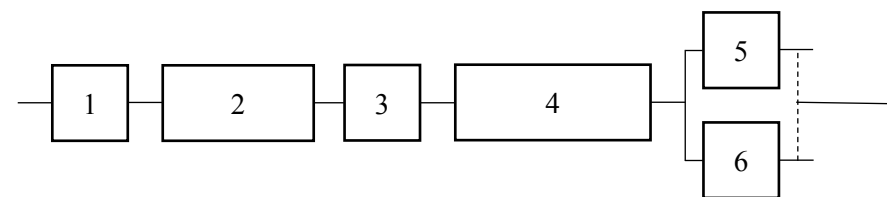
Если вы хотите определить вероятность безотказной работы компонента, вам необходимо знать его время работы (в часах) и его интенсивность отказов λ .

Например, согласно справочнику «Надёжность электрорадиоизделий» за 2004 год, диод выпрямительный Д233 имеет $\lambda = 0.1 * 10^{-6} \text{ 1/ч}$



Многокомпонентный системный анализ надёжности

В большинстве случаев анализ надёжности проводится для систем состоящих из многих компонентов. В этом разделе дается краткий обзор анализа некоторых общих типов многокомпонентных систем. В общем случае компоненты могут быть соединены друг с другом **последовательно** (друг за другом) и **параллельно**.



Последовательное соединение

Параллельное соединение



Последовательное соединение

Последовательное соединение в анализе надёжности - это такое, при котором чтобы работала система нужно чтобы работали все компоненты. Простым примером такой системы является обычный фонарик. С точки зрения анализа надёжности фонарик состоит из следующих четырех компонентов:

К1: Батарейка

К2: Вторая батарейка (идентичная К1 по надёжности)

К3: Выключатель

К4: Лампочка



Последовательное соединение

Для того, чтобы проанализировать надёжность нашей системы составим структурную схему надёжности, на которой будет видно взаимосвязи элементов.



Отказ любого из этих компонентов приводит к отказу работы всего фонарика.



Последовательное соединение

Предположим теперь, что мы знаем надёжность каждого из четырех компонентов фонарика. Пусть P_1 , P_2 , P_3 и P_4 представляют собой значения вероятности безотказной работы (надёжности) компонентов K_1 , K_2 , K_3 и K_4 соответственно. В частности, пусть $P_1 = 0.92$ $P_2 = 0.92$ $P_3 = 0.95$ $P_4 = 0.99$ (Обратите внимание, что надёжности здесь константы, что означает, что либо они приблизительно независимы от времени работы или что они достоверны для заданного времени работы).



Последовательное соединение

Пример расчёта надёжности при последовательном соединении

Надёжность последовательного соединения равна произведению надёжностей его элементов.

Для описанной выше системы фонарика надёжность рассчитывается следующим образом: $P_{\text{системы}} = (0.92) * (0.92) * (0.95) * (0.99) = 0.796$



Последовательное соединение

Даже если вы будете использовать высоконадёжные компоненты, но в системе будут ненадёжные элементы – это пагубно отразится на надёжности системы.

Пример расчёта надёжности:

$$P_1 = 0.9999999$$

$$P_2 = 0.9999999$$

$$P_3 = 0.99$$

$$P_{\text{системы}} = (0.9999999) * (0.9999999) * (0.99) = 0.989$$



Последовательное соединение

Закон Луссера. В 40-е годы Германия запускала по Великобритании ракеты «Фау-2». Какие-то долетали точно, какие-то нет. Инженеры решили исследовать в чем причина. Оказалось, что если у вас есть много разных компонентов системы, и вы усложняете данную систему, то есть риск того что она может отказать — это не вероятность того, что система попадет в аварию, не самая меньшая вероятность этой системы, не какого-то из компонентов этой системы, а **произведение вероятностей** риска каждого из компонентов. Роберт Луссер – немецкий инженер.



Последовательное соединение

Важные следствия:

1. При последовательном соединении элементов надёжность системы не может быть больше надёжности самого ненадёжного элемента.
2. Чем больше элементов в последовательном соединении – тем ниже надёжность. Чем больше вам нужно пройти инстанций, тем выше вероятность, что ваши документы потеряют 😊
3. Прекрасный, но не всегда возможный способ повысить надёжность системы – сделать её проще, сократить число элементов.



Последовательное соединение

Ещё один пример, иллюстрирующий зависимость надёжности системы от количества последовательно входящих в неё компонентов.

Пусть все компоненты имеют одинаковую надёжностью, равную 0,95.

Система состоящая из 10 компонентов. $P_{\text{системы}} = (0.95)^{10} = 0.59873$

Система состоящая из 20 компонентов. $P_{\text{системы}} = (0.95)^{20} = 0.385848$



Проверьте свои знания

Насколько справедливо утверждение:

«Анализ надёжности не влияет на проектирование системы и выбор конечного варианта системы»

1. Это правда
2. Это ложь



Проверьте свои знания

Правильный ответ:

Ложь! Анализ надёжности ещё как влияет на проектирование системы!



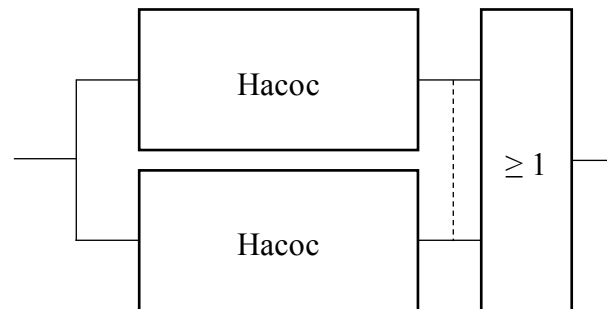
Параллельное соединение

Другой простой тип многокомпонентной системы - это система с параллельным соединением элементов. При таком подходе система функционирует, если функционирует какой-либо из отдельных компонентов (возможны ситуации, когда для функционирования системы из n компонентов необходимо чтобы функционировало k компонентов, но в данном курсе мы их не будем рассматривать). Конечно, стоимость системы возрастает, но это окупается значительно более высокой надёжностью.



Параллельное соединение

Пример параллельного соединения
 ≥ 1 означает, что для нормального функционирования системы необходимо функционирование хотя бы одного элемента. Для отказа всей системы необходимо чтобы отказали все элементы.





Параллельное соединение

Пример расчёта надёжности системы с параллельным соединением:

Рассмотрим параллельную систему из четырех компонентов с надёжностью компонентов $P_1 = 0.92$, $P_2 = 0.92$, $P_3 = 0.95$ и $P_4 = 0.99$.

(Обратите внимание – мы взяли такие же значения, как для примера с фонариком. Конечно, создать фонарик по параллельной схеме довольно сложно). Для 4-компонентной системы, определенной выше, система выйдет из строя, только если каждый компонент не работает.

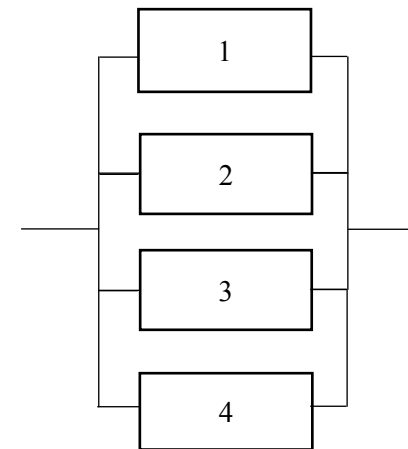
Надёжность всей системы определяется по формуле:

$$P_{\text{системы}} = 1 - [(1 - P_1) * (1 - P_2) * (1 - P_3) * (1 - P_4)]$$



Параллельное соединение

Составим структурную схему надёжности, на которой будет видно взаимосвязи элементов.





Параллельное соединение

Пример расчёта надёжности системы с параллельным соединением:

Рассмотрим параллельную систему из четырех компонентов с надёжностью компонентов $P_1 = 0.92$, $P_2 = 0.92$, $P_3 = 0.95$ и $P_4 = 0.99$.

В нашем случае:

$$P_{\text{системы}} = 1 - [(1 - 0.92) * (1 - 0.92) * (1 - 0.95) * (1 - 0.99)] = 0.999997$$

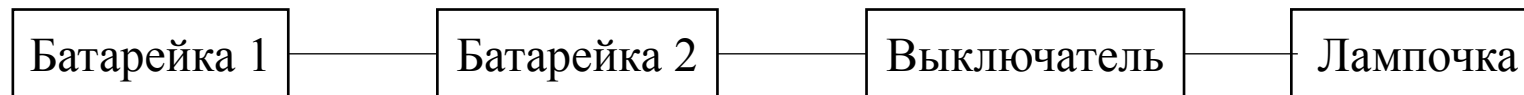
Сравните это с тем, что у нас получалось при расчёте последовательного соединения: **0.796**



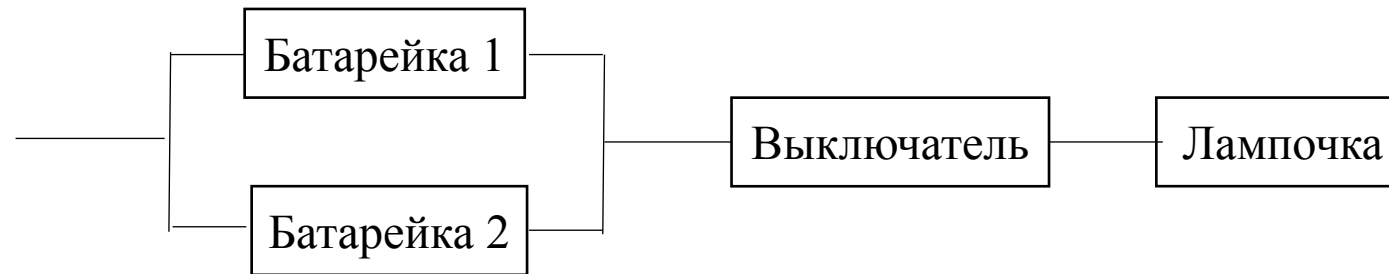
Параллельное соединение

Конечно, не всегда возможно использовать параллельное соединение. Давайте вернёмся к нашему примеру с фонариком. Батарейки мы вполне можем подключить последовательно, а можем параллельно. Давайте рассмотрим два варианта построения системы:

1. Батарейки последовательно:



2. Батарейки параллельно:





Параллельное соединение

Давайте посчитаем:

пусть $P1 = 0.92$ $P2 = 0.92$ $P3 = 0.95$ $P4 = 0.99$

$P1$ – батарейка 1, $P2$ – батарейка 2, $P3$ – выключатель, $P4$ - лампочка
1 вариант нам уже известен. Его надёжность = **0.796**

При втором варианте построения системы:

$$P_{\text{системы}} = 1 - [(1 - 0.92) * (1 - 0.92) * 0.95 * 0.99] = \mathbf{0.9344808}$$

Вывод очевиден: везде, где это возможно и необходимо – используйте параллельные соединения. Возможно поэтому в нашем теле 2 почки.



Параллельное соединение

Кроме того, рассмотрим пример системы, состоящей из 10 идентичных компонентов, соединенных параллельно.

Надёжность каждого компонента = 0.6

Для 10 параллельных компонентов:

$$P_{\text{системы}} = 1 - (1 - 0.6)^{10} = 0.999895$$

Обратите внимание: использование большого числа низконадёжных, но как правило дешёвых компонентов при параллельном соединении даёт высокую надёжность, которую можно достигнуть так же за счёт малого числа высоконадёжных, но крайне дорогих компонентов. Которых иногда невозможно или крайне сложно купить или создать.



Анализ надёжности многокомпонентных систем

В реальной жизни только последовательные или только параллельные системы крайне редки. На практике имеет место комбинации этих двух видов соединений. При анализе таких систем их пошагово разбивают на блоки, так же, как мы делали в примере с фонариком.

Как легко можно предположить, анализ сложных систем, которые не являются комбинациями рядов и параллельных элементов, может быть весьма сложным занятием.



Проверьте свои знания

Выберите правильный вариант:

Системы строятся из компонентов, которые могут быть соединены друг с другом:

1. Последовательно
2. Параллельно
3. И так и так
4. Ни одним из этих способов



Проверьте свои знания

Правильный вариант:

Системы строятся из компонентов, которые могут быть соединены друг с другом:

И так и так



Повышение надёжности системы



Методы повышения надёжности системы

Всё многообразие способов повышения надёжности можно свести к следующим:

1. Упростить систему – исключить лишние компоненты
2. Использовать более надёжные компоненты
3. Использовать резервирование компонентов
4. Сократить времени работы системы/компонента
5. Проводить регулярное техническое обслуживание
6. Заменить/отремонтировать устаревшее оборудование



Упрощение системы

Очевидно, что чем система проще, тем она надёжнее и наоборот. Отсюда вполне очевидно, что если мы хотим повысить надёжность – надо сократить количество компонентов. Как частные случаи этого принципа – сокращение длины кабелей, трубопроводов и иных магистралей. Сокращение числа режимов, функций в системе управление. Сокращение числа промежуточных звеньев (в том числе операторов) при анализе и передаче энергии/данных.

Упрощение так же благотворно влияет на снижение массы/габаритов/энергопотребления и стоимости всей системы.

Всё в этом принципе хорошо кроме одного – зачастую его крайне трудно применить на практике. Тем не менее, всегда стоит о нём помнить.



Использование более надёжных компонентов

С этим принципом так же всё достаточно очевидно: чем компоненты надёжнее, тем надёжнее система. Если мы не можем сократить время работы системы, мы можем использовать более высоконадёжный компонент. Итак, пусть время работы системы = 10000 часов.

Вспомним основную формулу надёжности:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Где t – время работы, а λ - интенсивность отказов прибора/агрегата

Рассмотрим два диода: Д1 и Д2.

Д1 имеет $\lambda = 0.1 * 10^{-6}$ 1/ч тогда $P1 = 0.999$

Д2 имеет $\lambda = 0.05 * 10^{-6}$ 1/ч тогда $P2 = 0.9995$



Использование более надёжных компонентов

Понятно, что использовать Д2 более надёжно чем Д1. Однако, легко может оказаться так, что стоимость Д2 будет в **10 раз больше** чем стоимость Д1. Что в данном случае эффективнее? Поставить более дешёвый, но менее надёжный элемент и заменить его в случае отказа или ставить более дорогой, но более надёжный? Это должен решать главный конструктор совместно с экономистами. Для систем, где ремонт невозможен (например космическая станция для исследования Венеры выбор очевиден – Д2).

Кроме того, иногда использовать более надёжные компоненты невозможно. Причины могут быть разные: санкции, ограничения на ввоз зарубежных компонентов, недостаточный уровень развития науки и техники во всем мире.



Использование более надёжных компонентов

Отметим, что в последние годы производители целенаправленно проводят мероприятия понижающие надёжность своих изделий, чтобы покупатель платил снова и снова.



Использование более надёжных компонентов

...одно донимало - что то я все на ней езжу - а она не ломается? Непорядок. Надо бы что-то поменять. Амортизаторы, например. Приезжаю на сервис.

-Вась, глянь - там стойки не текут?

-Макс. Для того что бы тут потекли стойки-их сюда надо поставить.

-В смысле?

*-Их тут **ВООБЩЕ** нет.*

-Аааа. Эээээ. А как я ездил?

-С удовольствием. Тут торсионная подвеска.

-Это что?

-Гнутый лом, проще говоря. Кстати, тут можно дорожный просвет менять.

-Как?!

-Вооон тот винт видишь? Влево крутишь - внедорожник получится. Вправо - заниженный гоночный аппарат.

-И что - подвеску менять не надо?

-Ты сначала лом сломай - а потом меняй.

-Аааа...почему больше так не делают?

-А потому что нам, мастерам, кушать хочется. Ну и заводу запчасти продавать охота.

<http://vinauto777.livejournal.com/53613.html>



Использование резервирования компонентов

Хоть описанные выше подходы и хороши, на практике как правило вводят резервирование.

Как уже отмечалось выше, использование параллельного соединения является действенным способом повысить надёжность системы.

Резервирование имеет значительный потенциал для повышения надёжности, но так же **значительно** влияет на размеры, массу, энергопотребление и стоимость всей системы. Грамотное использование резервирования в некотором роде сродни искусству.



Использование резервирования компонентов

В самом общем случае можно выделить три типа резервирования:

- **Холодное резервирование**, при котором резервирующие элементы выключены до тех пор, пока не понадобятся.
- **Теплое резервирование**, при котором резервирующий элемент включен, но находится в режиме холостого хода
- **Горячий резерв**, когда резервирующий компонент включен и используется по назначению



Использование резервирования компонентов

Холодное и тёплое резервирование предусматривают перестройку структуры системы при отказе её элемента. Поэтому эти типы резервирования называются динамическими или резервирование замещением. Частный случай динамического резервирования – **скользящее резервирование**, при котором группа основных элементов резервируется одним элементом, который может заменить собой любые основные.

Например, специалист широкого профиля Геннадий, который может подменить и токаря Степана, и фрезеровщика Аркадия, и сварщика Николая является скользящим резервом.



Использование резервирования компонентов

Основной недостаток динамического резервирования заключается в необходимости переключающих устройств, которые сами могут отказать и **снизить надёжность** системы.

Отдельно стоит упомянуть мажоритарное резервирование, при котором применяется дополнительный логический (мажоритарный) элемент. Этот элемент выполняет сравнение сигналов, поступающих от одинаковых элементов. При совпадении результатов они считаются исправными и показания передаются дальше, на выход устройства.



Сокращение времени работы системы/компонента

Здесь всё просто – чем меньше работает система/компонент, тем выше её надёжность. Вспомним наш пример про диоды Д1 и Д2. Пусть теперь они имеют одинаковую интенсивность отказов: $\lambda = 0.1 * 10^{-6}$ 1/ч, но при это Д1 работает 10000 часов, а Д2 работает 1000 часов.

Тогда, по основной формуле надёжности:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Где t – время работы, а λ – интенсивность отказов прибора/агрегата

Д1 имеет надёжность $P1 = 0.999$

Д2 имеет надёжность $P2 = 0.9999$



Сокращение времени работы системы/компонента

Сокращение времени работы – хороший способ повысить надёжность, который непременно стоит иметь в виду и использовать при разработке своей системы.

Это достигается за счёт рационализации и оптимизации времени работы компонентов.



Техническое обслуживание и ремонт

Здесь нужно сказать, что системы бывают **восстанавливаемые** и **невосстанавливаемые**, которые не предполагают восстановления работоспособного состояния. Конечно, когда у нас есть возможность провести техническое обслуживание и ремонт и это обслуживание проводится – надёжность такой системы будет существенно выше.



Техническое обслуживание и ремонт

Существует распространённая ошибка, когда путают понятия **исправного** и **работоспособного** состояния агрегата или системы. С точки зрения отечественной науки об отказах, агрегат является работоспособным, когда он способен выполнять требуемые функции с требуемым качеством. Исправным агрегат считается, когда он работоспособен и полностью соответствует всей документации на данный агрегат.

Пример: на корпусе насоса облупилась краска, но он продолжает успешно качать воду. Насос **работоспособен**, но **неисправен**, поскольку в документации сказано, что он должен быть покрашен черной краской.



Техническое обслуживание и ремонт

Таким образом, понятие исправности является более широким чем понятие работоспособности.

Помимо исправного/неисправного, работоспособного/неработоспособного существует понятие **предельного** состояния.

Предельным называется состояние, когда его дальнейшая эксплуатация становится невозможной, нецелесообразной или просто опасной. По сути изделие переходит в предельное состояние когда оно попадает на 3 участок [кривой отказов](#).



Объединение методов

Мы рассмотрели методы повышения надёжности системы. Каждый обладает своими достоинствами и недостатками. Лучше всего для повышения надёжности использовать комбинацию методов. Какую комбинацию методов выбрать и как её организовать – задача инженера по надёжности. В некотором роде это искусство.

В некоторых случаях целью работы является **максимизация** надёжности системы, при условии жёстких ограничений на стоимость системы, размер, вес и т. д.

В других случаях уровень надёжности уже задан и определён и цель работы заключается в **минимизации** затрат, размеров, веса и т.д. при сохранении заданного уровня надёжности



Некоторые определения

Надёжность — свойство объекта 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 — одно из важнейших качеств любого объекта.

Расчёт надёжности — процедура определения значений показателей надёжности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надёжности элементов объекта, по данным о надёжности объектов-аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчёта. В результате расчёта определяются количественные значения показателей надёжности.



Некоторые определения

ВБР — вероятность безотказной работы элемента, агрегата, системы. Вероятность безотказной работы — это вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданном интервале времени отказ объекта не произойдёт. Иногда называется просто надёжностью. Как правило задаётся буквой P .

Ресурс — суммарная наработка устройства до перехода в предельное состояние.

На упаковках техники (например на лампочках) указывается средний ресурс — математическое ожидание, основанное на экстраполивании результатов тестирований оборудования.

Срок службы — время, за которое средний ресурс будет исчерпан.

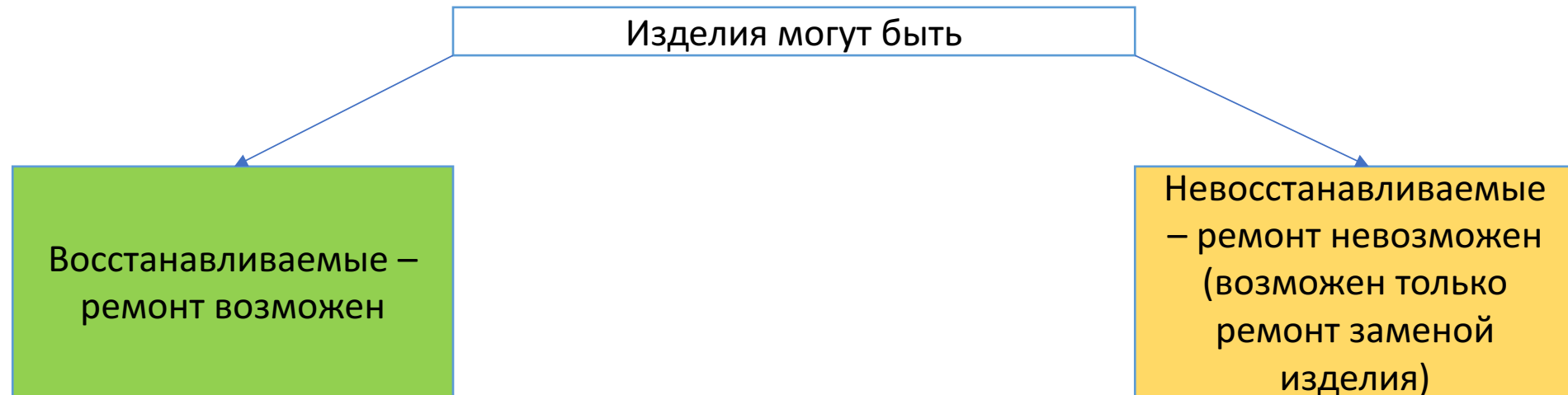


Некоторые определения





Некоторые определения





Параметры надёжности

$P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t . $0 < P(t) < 1$

λ – интенсивность отказов прибора. Как правило имеет размерность ч^{-1}

MTBF – mean time between failures, наработка на отказ – для восстанавливаемых изделий

MTTF – mean time to failure, наработка на отказ – для невосстанавливаемых изделий



Некоторые определения

Основные нормативные документы по надёжности

ГОСТ 27.002-2015 – Надёжность в технике. Термины и определения

ГОСТ 27.301-95 – Расчёт надёжности. Основные положения

ГОСТ Р 51901.14-2007 – Структурная схема надёжности и булевы методы

ГОСТ 27.003-2016 – Надёжность в технике. Состав и общие правила задания требований по надёжности



Некоторые определения

Важные зарубежные документы по надёжности:

MIL-HDBK-217F — Reliability prediction of electronic equipment

NPRD-2011 — Non-electronic parts reliability data



Конец

Для расчётов надёжности заходите на мой сайт:

<http://areliability.com/calk/>

Пусть эти знания принесут благо вам и миру вокруг вас!

С уважением, Алексей Глазачев