

Основы надежности объектов транспорта нефти и газа

Кандидат технических наук

Доцент кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов»

БЕРГ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

Основные понятия теории надежности

Надежность объектов как комплексное свойство



Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки

В зависимости от условий решаемой задачи один и тот же объект может именоваться системой или элементом

Под **системой** (системой элементов) обычно понимают объект, в котором необходимо и возможно различать определенные взаимозависимые части, соединенные воедино



Элемент – определенным образом ограниченный объект, рассматриваемый как часть другого объекта



Надежность объектов как комплексное свойство

Надежность как сложное свойство в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости



Безотказность — одно из самых важных свойств надежности элементов и систем

Безотказность — это свойство объектов сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Обычно безотказность рассматривается применительно к режиму эксплуатации объекта.

Безотказность характеризуется техническим состоянием объекта:

- исправностью,
- неисправностью,
- работоспособностью,
- неработоспособностью,
- дефектом,
- повреждением
- и отказом.

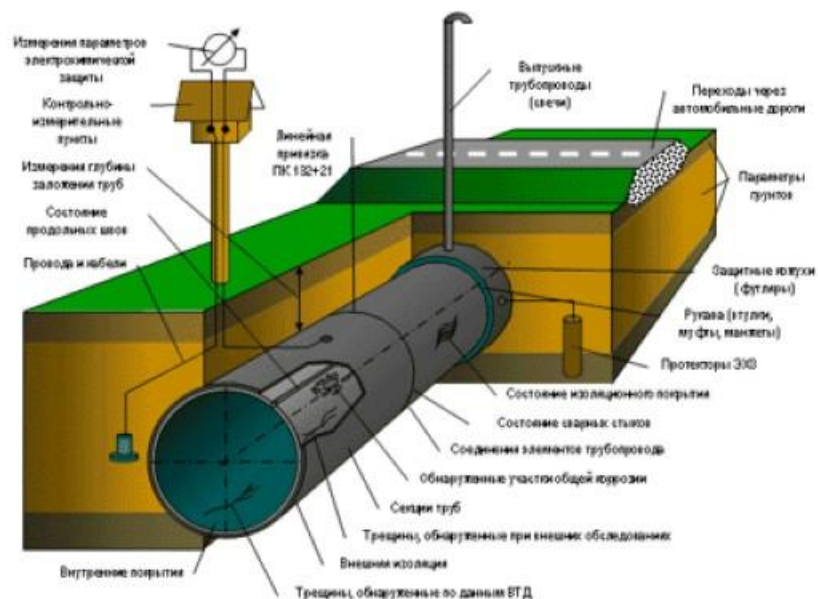
Техническое состояние объекта

Исправное состояние объекта - это такое состояние, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

В противоположность этому, **неисправное состояние объекта** - это состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и конструкторской документации.



Техническое состояние объекта



При работоспособном состоянии объекта значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Если значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность элемента объекта выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации, то такое состояние называется **неработоспособным**.

Техническое состояние объекта

Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, называется **отказом**. Событие, состоящее в нарушении исправного состояния объекта, но сохраняющего его работоспособность, носит название **повреждения (дефекта)**.

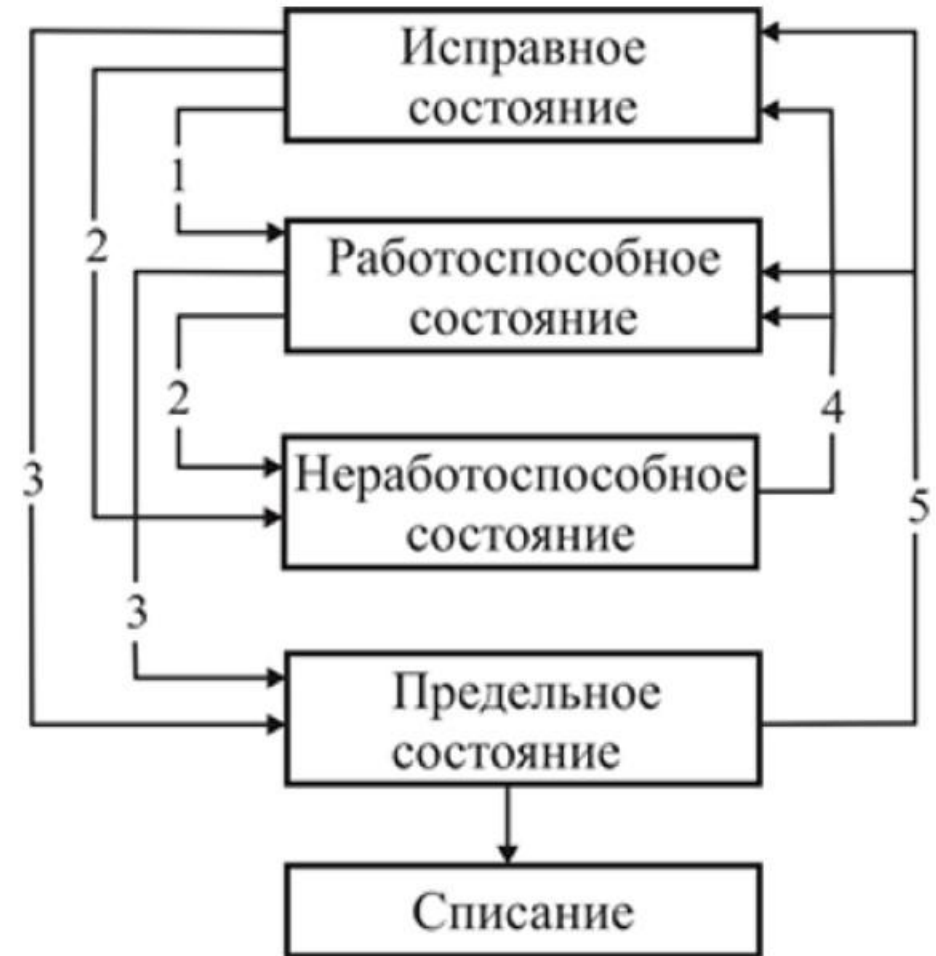


Техническое состояние объекта

Переход объектов из одного состояния в другое обычно происходит вследствие повреждения или отказа

Рис. Схема постоянных состояний и событий объектов:

- 1 — повреждение;
- 2 — отказ;
- 3 — переход объекта в предельное состояние;
- 4 — восстановление;
- 5 — ремонт



Техническое состояние объекта



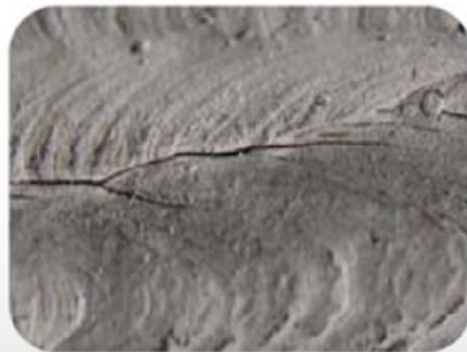
Язвенная коррозия и питтинг



Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)



Глубокая трещина



Трещина в сварном шве

Термин «дефект» применяют, в основном, на этапах изготовления и ремонта. В этих случаях требуется учитывать отдельно каждое конкретное несоответствие объекта требованиям, установленным нормативной документацией.

Техническое состояние объекта

Термин **«неисправность»** применяется при эксплуатации объектов, когда требуется учитывать изменения технического состояния элементов, независимо от числа обнаруженных дефектов. Находясь в неисправном состоянии, объект имеет один или несколько определенных дефектов.



Ремонтопригодность



Ремонтопригодность - это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность

Отсюда происходит относительность деления объектов на **восстанавливаемые** и **невосстанавливаемые** применительно к определенным внешним условиям (точнее, на подлежащие и не подлежащие восстановлению). Один и тот же элемент в зависимости от окружающих условий и этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым.



Долговечность



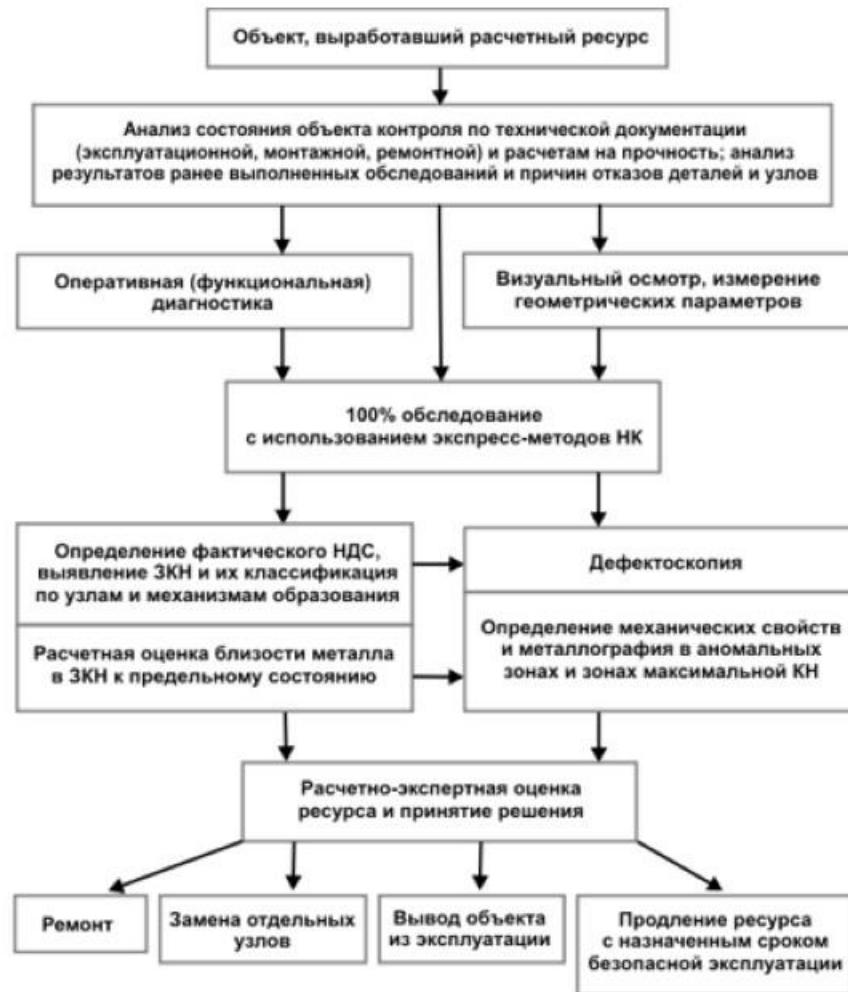
Долговечность – это свойство объектов сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность

Предельное состояние объекта характеризуется таким состоянием, при котором дальнейшее его применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление исправного или работоспособного состояний невозможно или нецелесообразно.



Долговечность



Критерием предельного состояния служит признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленных в нормативно-технической и конструкторской документации. Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности или эффективности.

Долговечность

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение его эксплуатации.

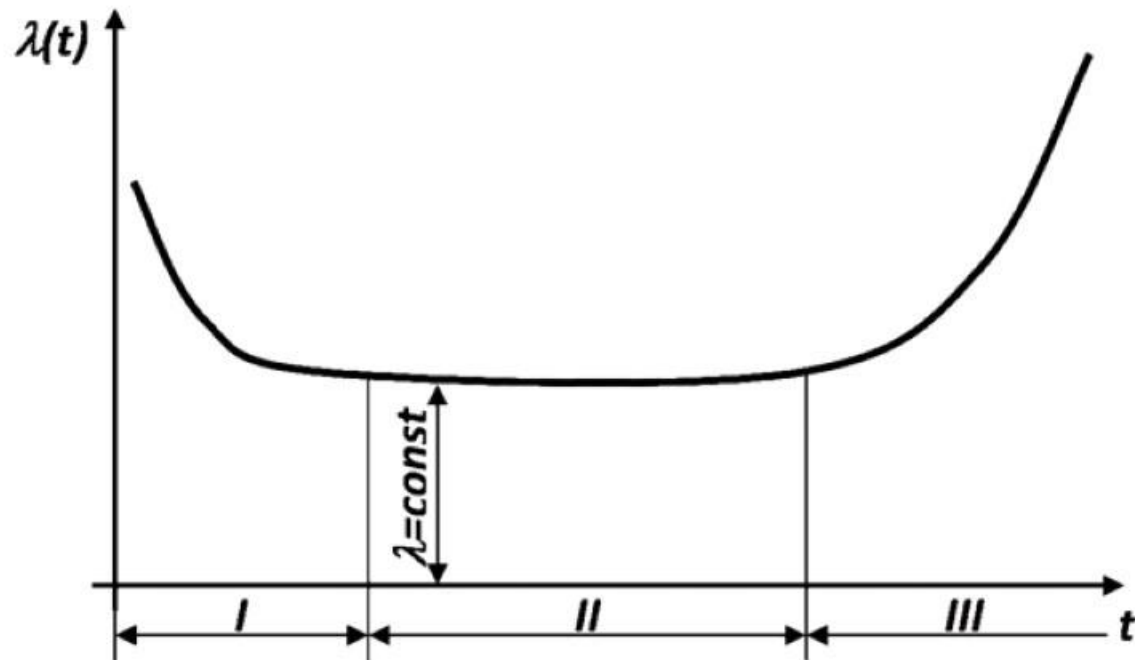
Для неремонтируемых объектов имеет место предельное состояние двух видов:

- первый совпадает с неработоспособным состоянием;
- второй вид предельного состояния обусловлен тем обстоятельством, что, начиная с некоторого момента времени, дальнейшая эксплуатация пока еще работоспособного элемента согласно определенным критериям оказывается недопустимой в связи с безопасностью.

Переход ремонтируемого объекта в предельное состояние второго вида происходит раньше момента возникновения отказа.



Долговечность



Таким образом, в общем случае *долговечность объектов*, измеряемая техническим ресурсом либо сроком службы, ограничена не отказом объекта, а переходом в предельное состояние, что означает возникновение необходимости в капитальном или среднем ремонтах, либо вообще невозможность дальнейшей эксплуатации.

Долговечность

Одним из центральных понятий теории надежности является понятие «**наработка**», так как отказы и переходы в предельное состояние объектов обусловлены, в основном, их работой.

Под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта.

Нарработка измеряется в единицах времени и единицах объема выполненной работы.



Долговечность

Кроме упомянутых видов наработки применяют термины «наработка до отказа», «наработка на отказ», «ресурс», «срок службы».

Наработка до отказа – это наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа.

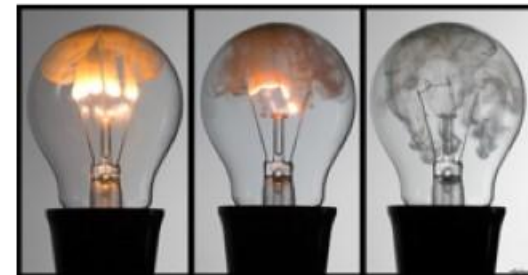
Под техническим ресурсом (ресурсом) понимается наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Долговечность

Наработка до отказа, наработка между отказами и ресурс - всегда случайные величины. Параметры их распределений служат показателями безотказности и долговечности.

Наработка до отказа характеризует безотказность как неремонтируемых (невосстанавливаемых), так и ремонтируемых (восстанавливаемых) объектов. *Наработка на отказ* определяется продолжительностью работы объекта от i -го до $(i+1)$ -го отказа, где $i = 1, 2, \dots$. Эта наработка относится только к восстанавливаемым объектам.



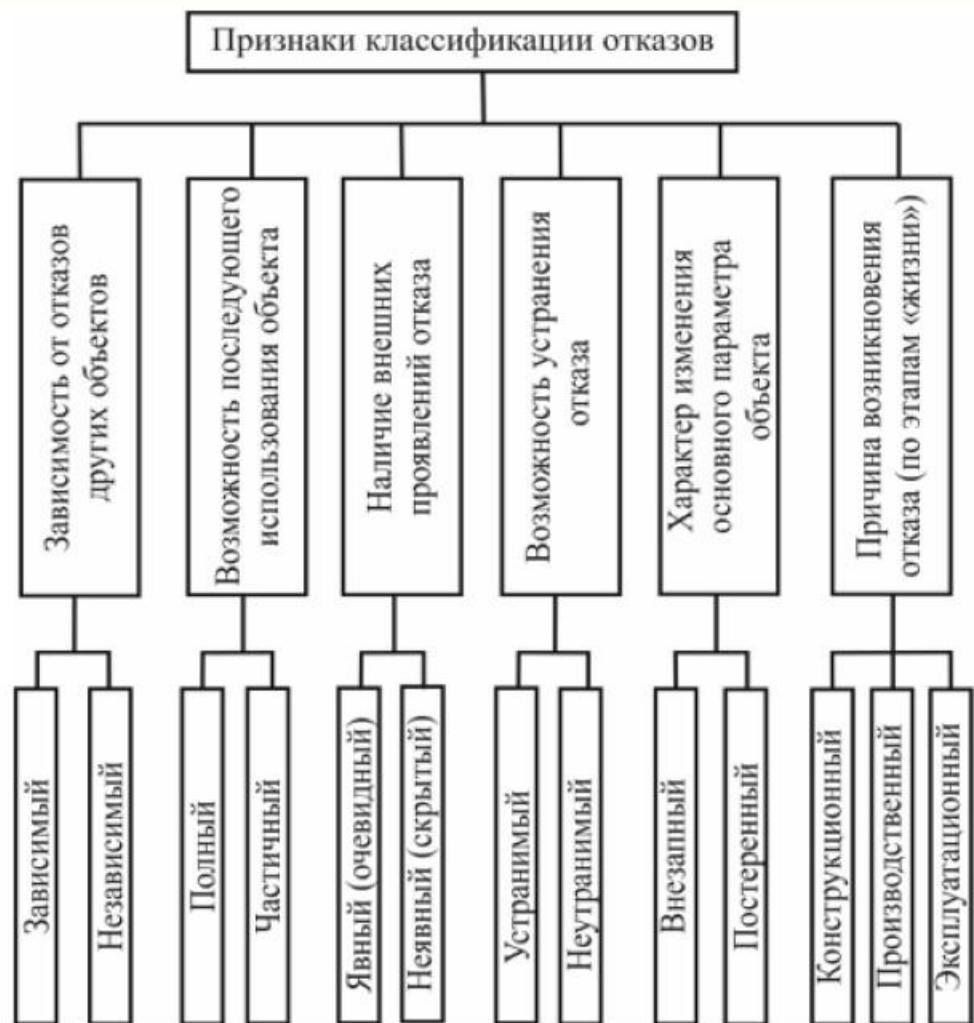
Сохраняемость



это свойство объекта сохранять значение показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования. Проблема сохраняемости для большинства объектов, работающих непрерывно, не стоит достаточно остро по сравнению с обеспечением трех первых свойств надежности. Однако для подвижных объектов вопросы обеспечения надежности при транспортировании весьма важны.

Классификация отказов объектов

Отказы принято классифицировать по различным признакам



Классификация отказов объектов

Независимый отказ — это отказ объекта, не обусловленный отказом другого объекта.

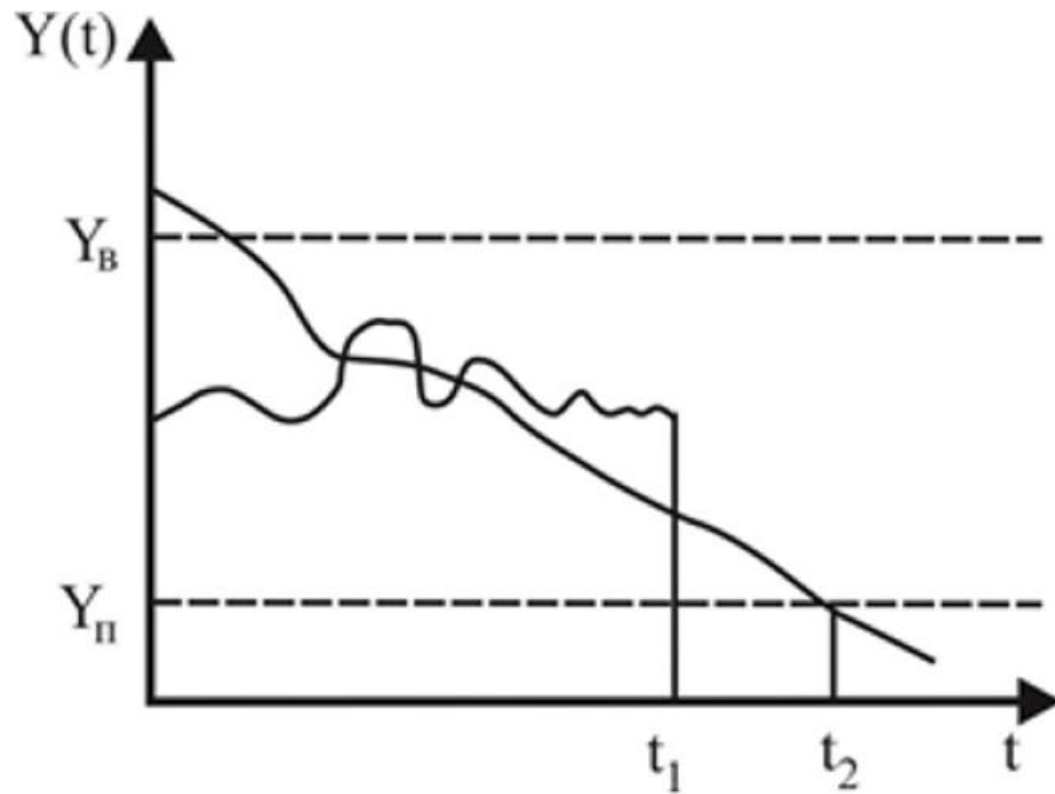
Зависимый отказ — это отказ объекта, обусловленный отказом другого объекта.

При *полном отказе* объект прекращает выполнение всех возложенных на него функций, а при *частичном* — некоторые функции объектом еще выполняются.

Перемежающийся отказ (сбой) - это многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта одного и того же характера.



Классификация отказов объектов



Характер появления внезапного и постепенного отказов

Весьма важным в теории надежности является разделение отказов на внезапные и постепенные.

Внезапный отказ это отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта.

Постепенный отказ характеризуется медленным изменением значений параметра объекта.

Классификация отказов объектов

Деление отказов на внезапные и постепенные весьма условно. Поскольку физико-химические процессы, приводящие к отказам во времени непрерывны, то внезапных отказов, как таковых быть не может. Просто мгновенность быстропротекающих процессов приводит к внезапному проявлению отказов. При наличии совершенной контрольно-измерительной аппаратуры и правильно выбранной частоте контроля объектов можно прогнозировать появление отказа, т.е. относить его к классу постепенных отказов.



Классификация отказов объектов

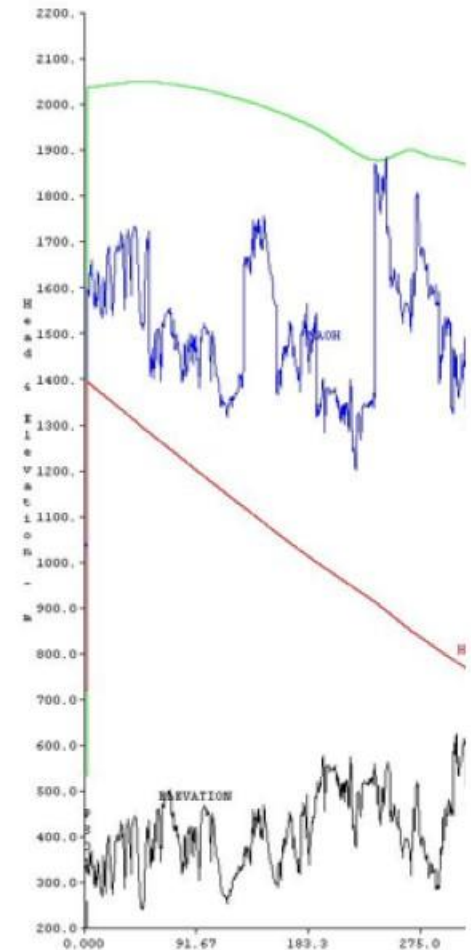
Причинами отказов объектов являются процессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа.

В зависимости от причины возникновения отказа их классифицируют на:

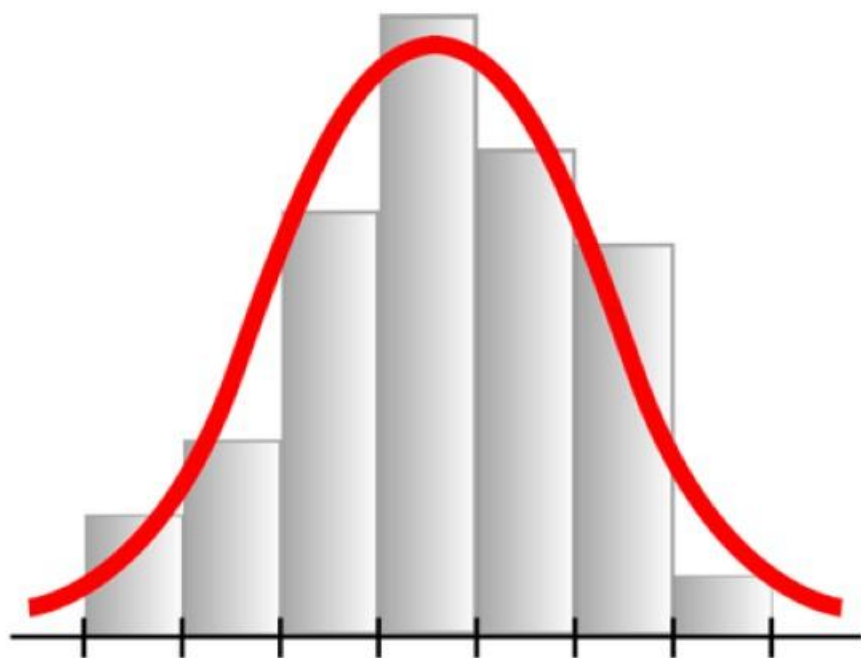
конструкционные - появившиеся в результате несовершенства и нарушения установленных правил и норм конструирования объекта;

производственные - возникшие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления, монтажа, наладки или ремонта объекта, если он выполнялся на ремонтном предприятии;

эксплуатационные - возникшие в результате нарушения установленных правил и условий эксплуатации объекта.



Классификация отказов объектов



При анализе надежности объекта очень важно четко сформулировать критерий отказа. Неполнота сведений об объекте и процессах, протекающих в нем и окружающей среде, приводит к вероятностному характеру отказов.

Сам факт отказа объекта - явление детерминированное, а время появления отказа - величина случайная.

Поэтому основным математическим аппаратом теории надежности является теория вероятностей и математическая статистика.

Показатели надежности

Показатели надежности - это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Если показатель надежности характеризует одно из свойств надежности, то он называется *единичным*, если же несколько свойств - *комплексным* показателем надежности.

Свойство надежности	Единичный показатель надежности объектов
Безотказность	Вероятность безотказной работы Средняя наработка до отказа Средняя наработка на отказ Интенсивность отказов Параметр потока отказов
Долговечность	Средний ресурс Назначенный ресурс Средний срок службы Назначенный срок службы
Ремонтопригодность	Вероятность восстановления в заданное время Среднее время восстановления Интенсивность восстановления
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости

Вероятность безотказной работы

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Согласно определению,

$$P(t) = P(T \geq t)$$

где t – время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы; T – время работы изделия от его первого включения до первого отказа.

Вероятность безотказной работы

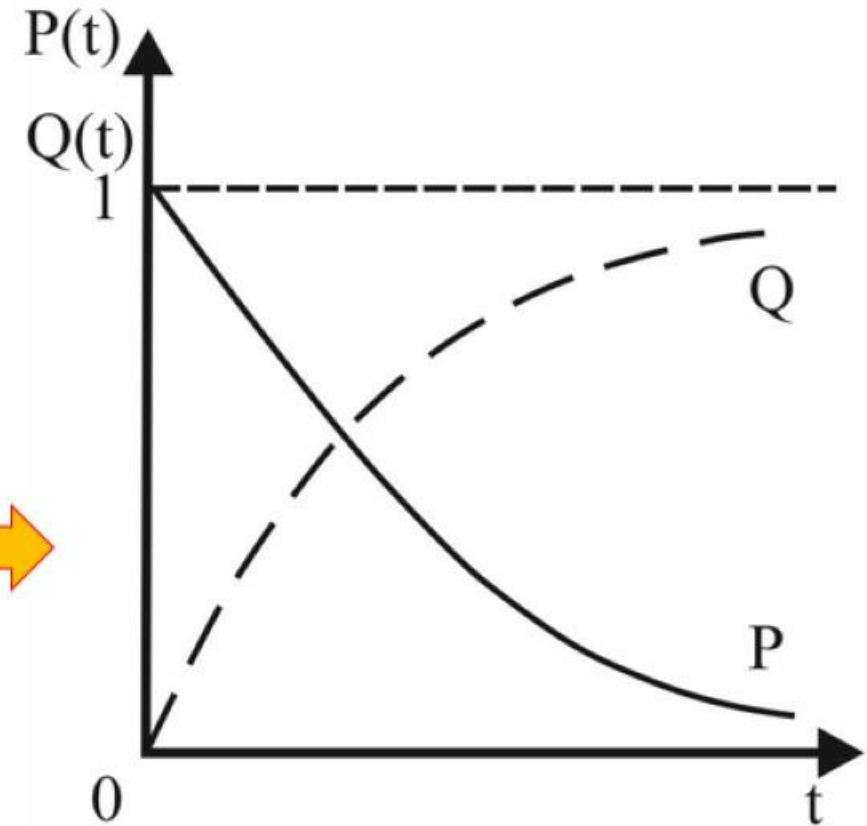
Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением:

$$\bar{P}(t) = (N_0 - n(t)) / N_0$$

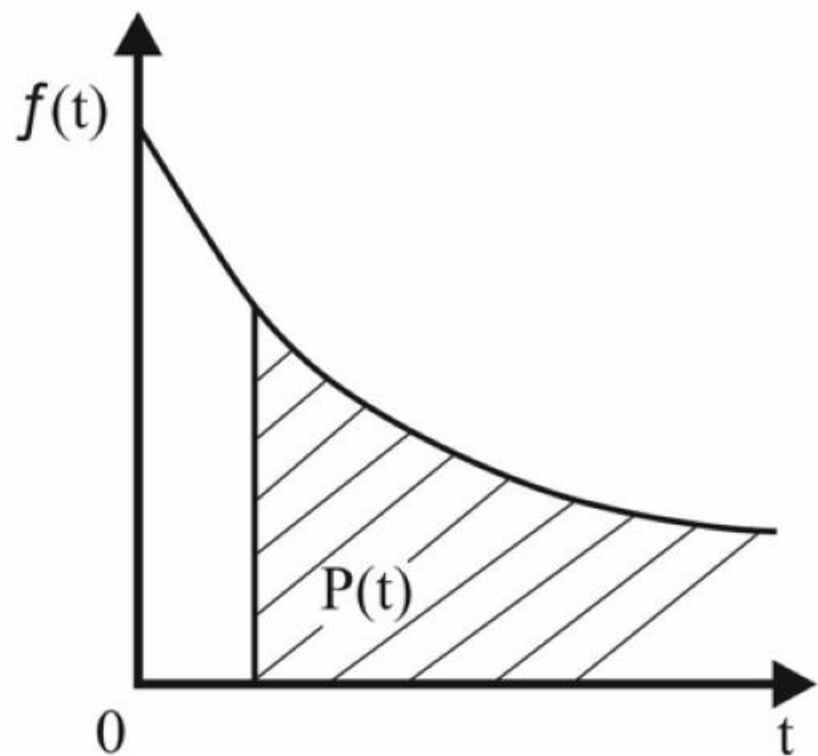
где N_0 - число объектов в начале испытания; $n(t)$ - число отказавших объектов за время t ; $\bar{P}(t)$ - статистическая оценка вероятности безотказной работы.

Вероятность безотказной работы

При большом числе объектов N_0 статистическая оценка $\bar{P}(t)$ практически совпадает с вероятностью безотказной работы. График этой функции



Вероятность безотказной работы



Вероятность безотказной работы объекта также характеризуется плотностью вероятностей момента первого отказа:

$$f(\Delta t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t},$$

где $n(\Delta t)$ - число отказов за интервал времени Δt .

Вероятность отказа

На практике более удобной характеристикой является вероятность отказа $Q(t)$.

Вероятностью отказа называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

Средняя наработка до отказа

Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание времени работы объекта до первого отказа.

Как математическое ожидание, T_{cp} вычисляется через частоту отказов (плотность распределения времени безотказной работы):

$$M = T_{cp} = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot \alpha(t) dt$$

Так как t положительно и $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$, то

$$T_{cp} = \int_0^{+\infty} P(t) dt$$

Средняя наработка до отказа

По статистическим данным об отказах средняя наработка до первого отказа вычисляется по формуле:

$$\overline{T}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}$$

где t_i - время безотказной работы i -го объекта; N_0 - число испытываемых объектов.

Средняя наработка до отказа

Как видно из предыдущей формулы, для определения средней наработки до первого отказа необходимо знать моменты выхода из строя всех испытываемых объектов.

Поэтому для вычисления \overline{T}_{cp} пользоваться указанной формулой неудобно. Имея данные о количестве вышедших из строя элементов n_i в каждом i -ом интервале времени, среднюю наработку до первого отказа лучше определять из уравнения:

$$\overline{T}_{cp} \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{cpi}}{N_0}$$

Средняя наработка до отказа

В выражении $t_{\text{ср}i}$ и m находятся по следующим формулам:

$$t_{\text{ср}i} = (t_{i-1} - t_i) / 2,$$

$$m = t_k / \Delta t,$$

где t_{i-1} - время начала i -го интервала; t_i - время конца i -го интервала; t_k - время, в течении которого вышли из строя все элементы; $\Delta t = t_{i-1} - t_i$ интервал времени.

Наработка на отказ

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами.

Эта характеристика определяется по статистическим данным об отказах по формуле

$$T_0 = \left(\sum_{i=1}^n t_{cpi} \right) / n,$$

где t_{cpi} - время исправной работы изделия между $(i-1)$ -м и i -м отказами; n - число отказов за некоторое время t .

Из формулы видно, что в данном случае наработка на отказ определяется по данным испытания одного элемента объекта.

Наработка на отказ

Если на испытании находится N элементов в течении времени t , то наработка на отказ вычисляется по формуле:

$$T_0 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M t_{cpj}$$

где M - число объектов.



Интенсивность отказов

это отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, исправно работающих в данный отрезок времени.

Согласно определению:

$$\lambda(t) = n(\Delta t) / N_0 \Delta t,$$

где $n(\Delta t)$ - число отказавших объектов в интервале времени от $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$; $N_0 = (N_{i-1} + N_i) / 2$ - среднее число исправно работающих объектов в течение периода Δt ; N_{i-1} - число объектов, исправно работающих в начале интервала Δt ; N_i - число объектов исправно работающих в конце интервала времени Δt

Параметр потока отказов

Параметром потока отказов называется отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за малую его наработку к значению этой наработки.

Параметр потока отказов характеризует среднее число отказов, ожидаемых на малом интервале времени.

Статистически параметр потока отказов определяется по формуле

$$\omega(t) = \Delta n_1(\Delta t) / N_0 \Delta t,$$

где $\Delta n_1(\Delta t)$ - общее число отказов восстанавливаемого объекта за интервал времени от $t - \Delta t / 2$ до $t + \Delta t / 2$

Термины

Средний ресурс T_p - это математическое ожидание ресурса.

Назначенный ресурс $T_{рн}$ - определяется как суммарная наработка объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено.

Средний срок службы $T_{сл}$ - это математическое ожидание срока службы.

Назначенный срок службы $T_{сл.н.}$ - это календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено.

Вероятность восстановления

Момент восстановления работоспособности объекта после отказа является случайным событием. Интервал времени от момента отказа до момента восстановления является случайной величиной и для характеристики ремонтпригодности используется функция распределения этой случайной величины θ

Вероятность восстановления - это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного:

$$P_v(t) = P\{\theta < t\}, \quad 0 \leq t.$$

Функция $P_v(t)$ представляет собой интегральную функцию распределения случайной величины θ .

Среднее время восстановления

- математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта.

Статистически среднее время восстановления равно:

$$T_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{ei}$$

где T_{ei} - время обнаружения и устранения i -го отказа.

Интенсивность восстановления аналогична показателю безотказности – интенсивности отказов.

Средний срок сохраняемости – математическое ожидание срока сохраняемости.

Комплексные показатели надежности

Для оценки нескольких свойств надежности используются комплексные показатели.

Коэффициент технической готовности – это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_{Г} = \frac{T_0}{T_0 + T_e}$$

Пример: Коэффициент готовности ГПА, определяемый как отношение времени нахождения ГПА в работоспособном состоянии к сумме времени нахождения его в рабочем состоянии и времени вынужденного простоя

Комплексные показатели надежности

Коэффициент оперативной готовности определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается и, начиная с этого момента времени, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени $t_{ог}$.

$$K_{ог} = K_{Г} \cdot P(t_{ог})$$

Коэффициент простоя определяется по выражению:

$$K_{п} = 1 - K_{Г} = \frac{T_{е}}{T_{0} + T_{е}}$$

Комплексные показатели надежности

Коэффициент технического использования – это отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объектов в состоянии простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами, за тот же период эксплуатации:

$$K_{ТИ} = \frac{t_P}{t_P + t_{ТО} + t_{РЕМ}}$$

где t_P - математическое ожидание наработки восстанавливаемого объекта; $t_{ТО}$ - математическое ожидание интервалов времени простоя при техническом обслуживании; $t_{РЕМ}$ - математическое ожидание времени, затрачиваемое на плановые и неплановые ремонты.

Комплексные показатели надежности

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации.

Вероятность застать систему в исправном состоянии определяется по соотношению

$$P_{\Gamma}(t) = K_{\Gamma} + (1 - K_{\Gamma}) \cdot e^{-t/K_{\Gamma}T_{\sigma}}$$

где t – заданный момент времени; K_{Γ} – коэффициент готовности; T_{σ} – среднее время восстановления.

Модели надежности

Зачастую определить конкретный закон распределения времени до отказа элемента или системы очень сложно или невозможно.

В этих случаях подразумевают, что случайная величина – время до отказа – распределена по известному закону, т.е. что закон распределения известен априорно. В качестве таких законов может быть использовано любое распределение, определенное на положительной полуоси времени (или комбинация распределений).

Наиболее часто в теории надежности используются экспоненциальный закон распределения, распределения Вейбулла и Рэлея, логнормальный закон распределения и др.

Выбрав конкретный закон распределения, говорят, что для элемента (системы) справедлива соответствующая модель надежности.

Экспоненциальная модель надежности (ЭМН)

подразумевает, что интенсивность отказов объекта (системы) постоянна:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \quad \lambda > 0.$$

а время до отказа является непрерывной случайной величиной, распределенной экспоненциально, т.е. функция вероятности отказа принимает вид

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

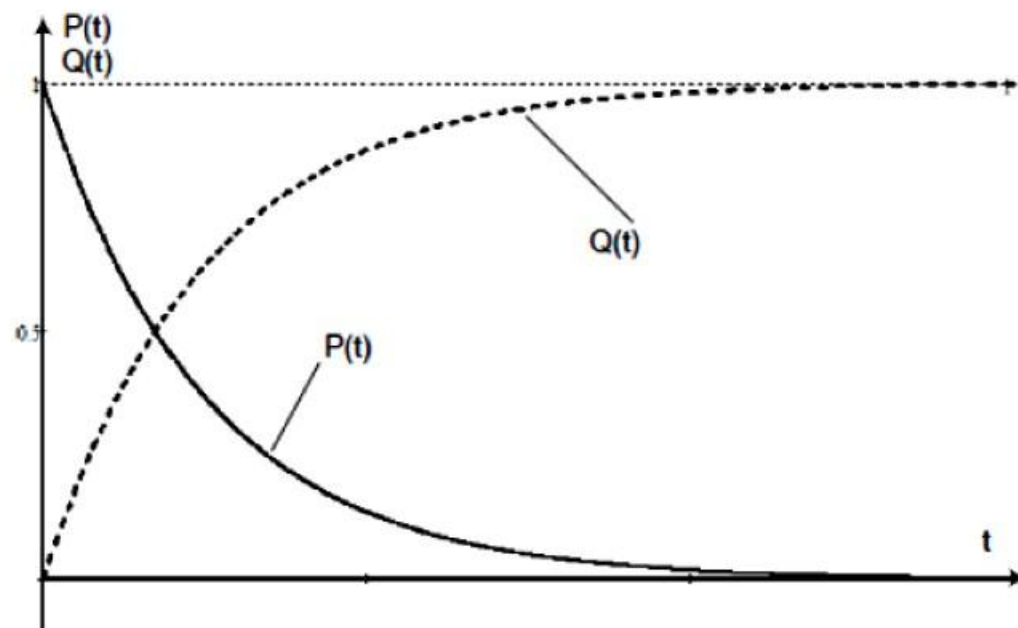
Экспоненциальная модель надежности (ЭМН)

Выражения для функций ВБР, плотности отказов, а также для среднего времени до отказа:

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

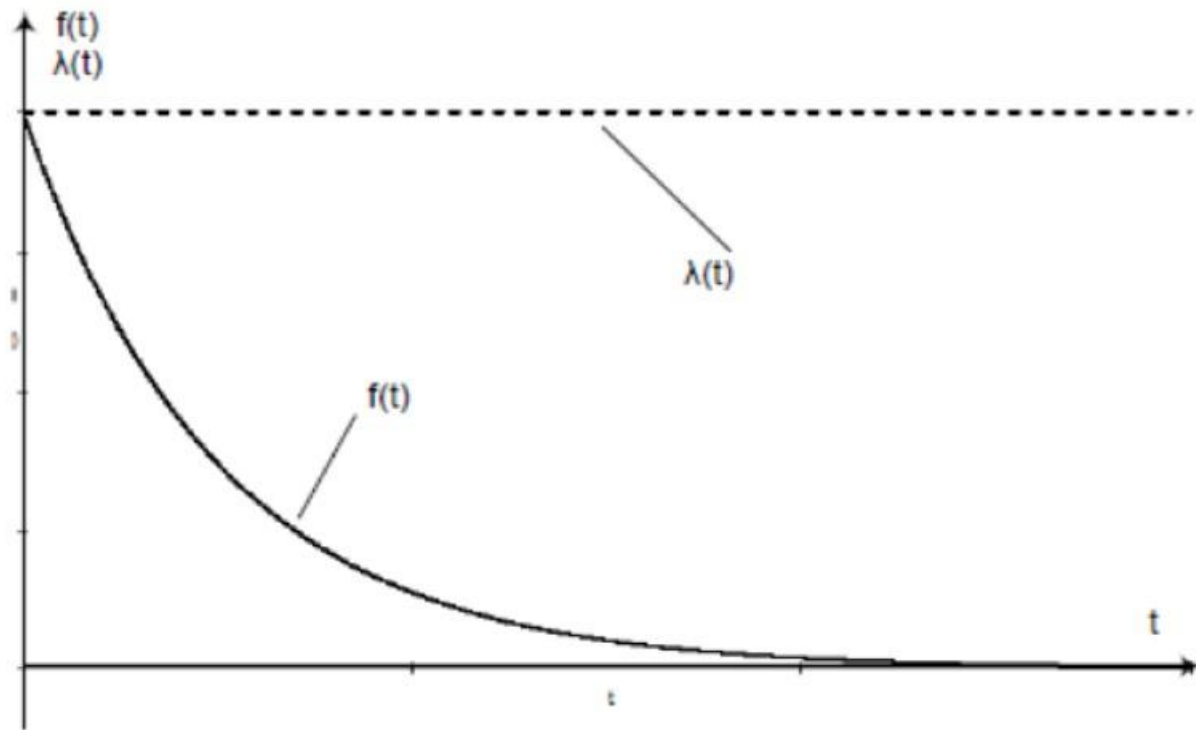
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t};$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}.$$



Графики функций ВБР и вероятности отказа для ЭМН

Экспоненциальная модель надежности (ЭМН)



Графики функций плотности и интенсивности отказов для экспоненциальной МН

Экспоненциальная модель надежности (ЭМН)

Несомненным достоинством ЭМН является простота зависимостей между показателями надежности, а также простота расчета надежности для сложных систем.

Однако ЭМН не может похвастаться аккуратностью. В самом деле, достаточно сравнить график функции интенсивности для ЭМН с характерной формой кривой на рис. 2, чтобы убедиться: экспоненциальная модель адекватна только в период нормальной эксплуатации объекта (системы), т.к. игнорирует периоды приработки и износа.

Модель надежности Рэлея (МНР)

подразумевает, что время до отказа является непрерывной случайной величиной, распределенной по закону Рэлея:

$$Q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right), \quad \sigma > 0.$$

где σ – параметр распределения, имеющий размерность времени.

Модель надежности Рэля (МНР)

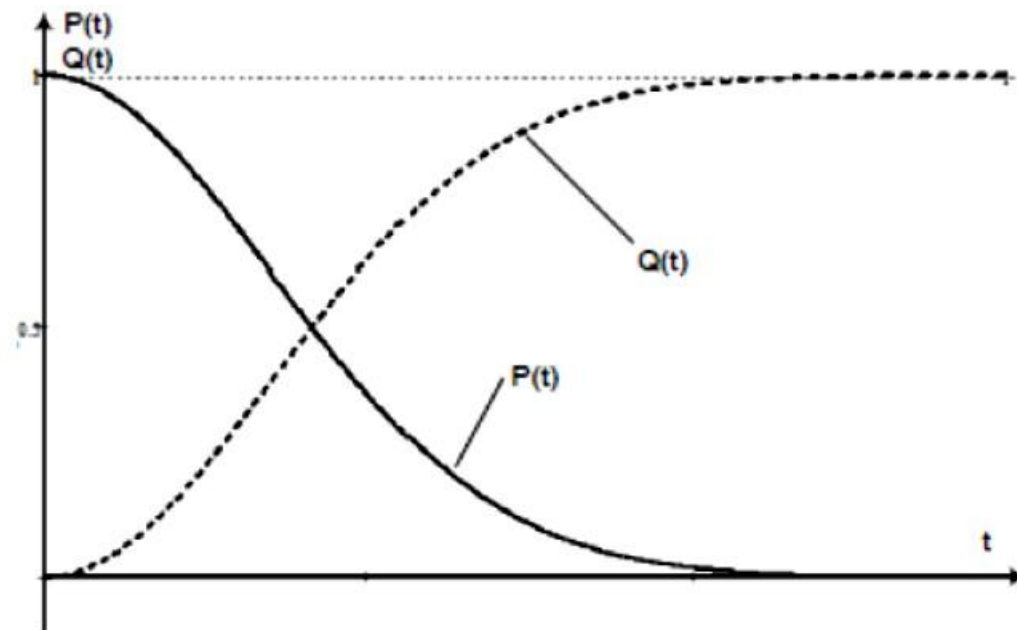
Тогда, остальные показатели надежности будут выражаться следующими зависимостями:

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right);$$

$$f(t) = \frac{t}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right);$$

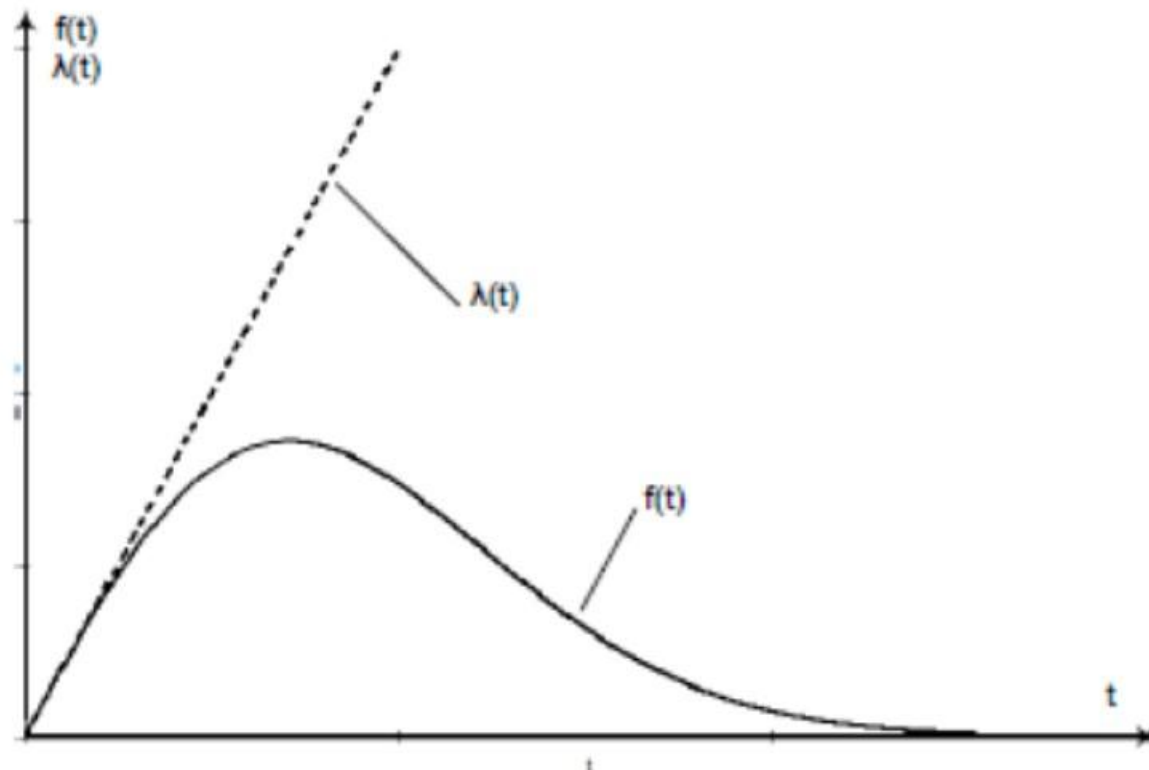
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{t}{\sigma^2};$$

$$T_{cp} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}.$$



Графики функций ВБР и вероятности отказа для МНР

Модель надежности Рэля (МНР)



Графики функций плотности и интенсивности отказов для МНР

Такая форма функции интенсивности определяет ограничения по использованию этой модели – отказы механических систем (где в силу трения интенсивность постоянно возрастает) или моделирование процессов износа.

Модель надежности Вейбулла (МНВ)

подразумевает, что время до отказа является непрерывной случайной величиной, распределенной по закону Вейбулла:

$$Q(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right], \quad \eta \cdot \beta > 0.$$

где β – безразмерный параметр формы, η – параметр масштаба, измеряемый в единицах времени (часах).

Модель надежности Вейбулла (МНВ)

Остальные показатели надежности будут выражаться следующими зависимостями:

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right];$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right];$$

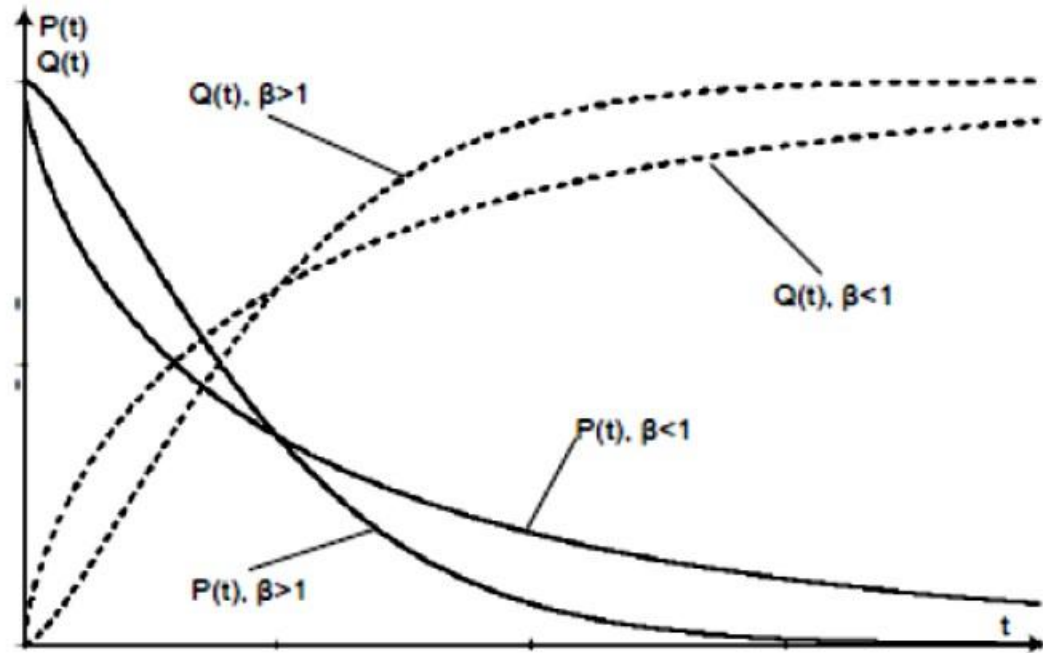
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1};$$

$$T_{cp} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right),$$

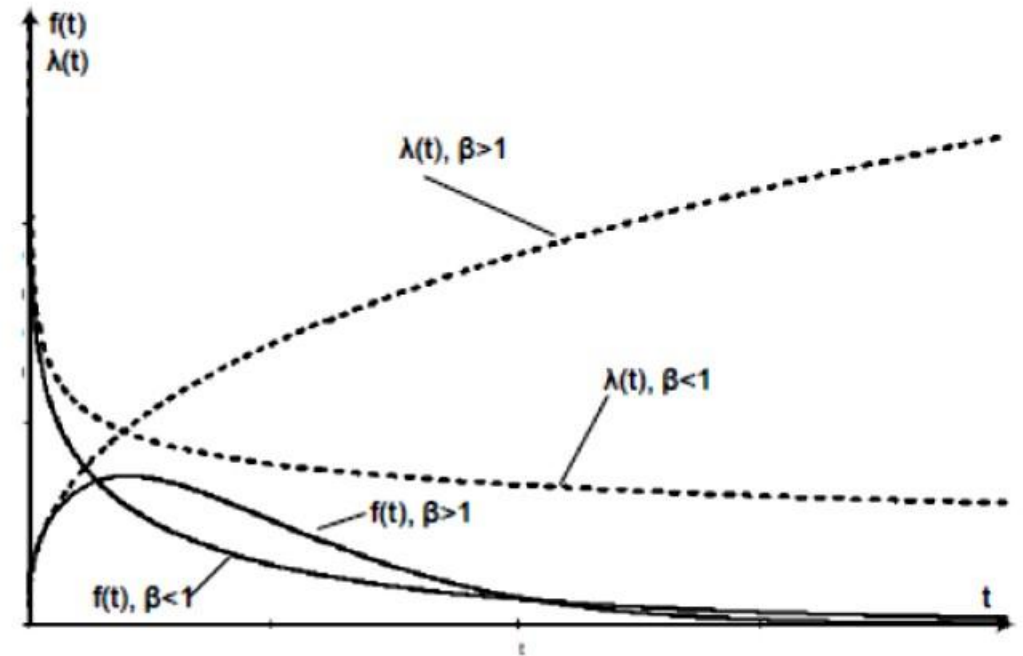
где – $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$

гамма-функция, задаваемая обычно в табличном виде

Модель надежности Вейбулла (МНВ)



Графики ВБР и вероятности отказа для МН Вейбулла при различных β



Графики функций плотности и интенсивности отказов для МНВ при различных β

Модель надежности Вейбулла (МНВ)

Параметр формы β значительно влияет на форму функций плотности и интенсивности отказов: при $\beta > 1$ функция интенсивности монотонно возрастает, а функция плотности имеет характерный «горб»; при $\beta < 1$ функция интенсивности монотонно убывает, также как и функция плотности отказов.

Такая «гибкость» и относительная простота МНВ позволила заслужить ей славу профессионального стандарта в области надежности. Хотя и не лишенная недостатков, МНВ широко используется для анализа и расчета надежности технических систем, превосходя по адекватности ЭМН и МНР.

Вдобавок ко всему, можно легко увидеть, что ЭМН и МНР являются частными случаями МНВ.

Классификация методов резервирования систем

Достигнутый в настоящее время уровень надежности элементной базы электроники, радиотехники, механических элементов, электротехники характеризуется значениями интенсивности отказов $\lambda=10^{-6} \dots 10^{-7} \text{ ч}^{-1}$. В ближайшем будущем следует ожидать повышения этого уровня до $\lambda=10^{-8} \text{ ч}^{-1}$. Это даст возможность поднять наработку на отказ системы, состоящей из $N=10^6$ элементов, до значения 100 ч, что явно недостаточно.

Необходимая надежность сложных систем может быть достигнута только при использовании различных видов резервирования.
Резервирование – это одно из основных средств обеспечения заданного уровня надежности объекта при недостаточно надежных элементах.

Классификация методов резервирования систем

В соответствии с [ГОСТ 27.002-2015](#) *резервированием* называется применение дополнительных средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

Таким образом, *резервирование* — это метод повышения надежности объекта путем введения избыточности.

В свою очередь, *избыточность* — это дополнительные средства и (или) возможности сверхминимально необходимые для выполнения объектом заданных функций. Задачей введения избыточности является обеспечение нормального функционирования объекта после возникновения отказа в его элементах.

Классификация методов резервирования систем

Существуют разнообразные методы резервирования. Их целесообразно разделять по следующим признакам: вид резервирования, способ соединения элементов, кратность резервирования, способ включения резерва, режим работы резерва, восстанавливаемость резерва.



Классификация методов резервирования систем

Структурное резервирование, иногда называемое аппаратным (элементным, схемным), предусматривает применение резервных элементов структуры объекта. Суть структурного резервирования заключается в том, что в минимально необходимый вариант объекта вводятся дополнительные элементы. Элементы резервированной системы носят следующие названия. *Основной элемент* — элемент структуры объекта, необходимый для выполнения объектом требуемых функций при отсутствии отказов его элементов. *Резервный элемент* — элемент объекта, предназначенный для выполнения функций основного элемента, в случае отказа последнего.

Определение основного элемента не связано с понятием минимальности основной структуры объекта, поскольку элемент, являющийся основным в одних режимах эксплуатации, может служить резервным в других условиях.

Резервируемый элемент — основной элемент, на случай отказа которого в объекте предусмотрен резервный элемент.

Классификация методов резервирования систем



Временное резервирование связано с использованием резервов времени. При этом предполагается, что на выполнение объектом необходимой работы отводится время, заведомо большее минимально необходимого. Резервы времени могут создаваться за счет повышения производительности объекта, инерционности его элементов и т.д.

Классификация методов резервирования систем

Информационное резервирование – это резервирование с применением избыточности информации. Примерами информационного резервирования являются многократная передача одного и того же сообщения по каналу связи; применение при передаче информации по каналам связи различных кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки, которые появляются в результате отказов аппаратуры и влияния помех; введение избыточных информационных символов при обработке, передаче и отображении информации. Избыток информации позволяет в той или иной мере компенсировать искажения передаваемой информации или устранять их.



Классификация методов резервирования систем

Функциональное резервирование – резервирование, при котором заданная функция может выполняться различными способами и техническими средствами. Например, функция быстрой остановки энергетического реактора может быть осуществлена вводом в активную зону стержней аварийной защиты или впрыском борного раствора. Или функция передачи информации в АСУ может выполняться с использованием радиоканалов, телеграфа, телефона и других средств связи. Поэтому обычные усредненные показатели надежности (средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы и т.п.) становятся малоинформативными и недостаточно пригодными для использования в данном случае. Наиболее подходящие показатели для оценки функциональной надежности: вероятность выполнения данной функции, среднее время выполнения функции, коэффициент готовности для выполнения данной функции.

Классификация методов резервирования систем

Нагрузочное резервирование — это резервирование с применением нагрузочных резервов. Нагрузочное резервирование, прежде всего, заключается в обеспечении оптимальных запасов способности элементов выдерживать действующие на них нагрузки. При других способах нагрузочного резервирования возможно введение дополнительных защитных или разгружающих элементов.

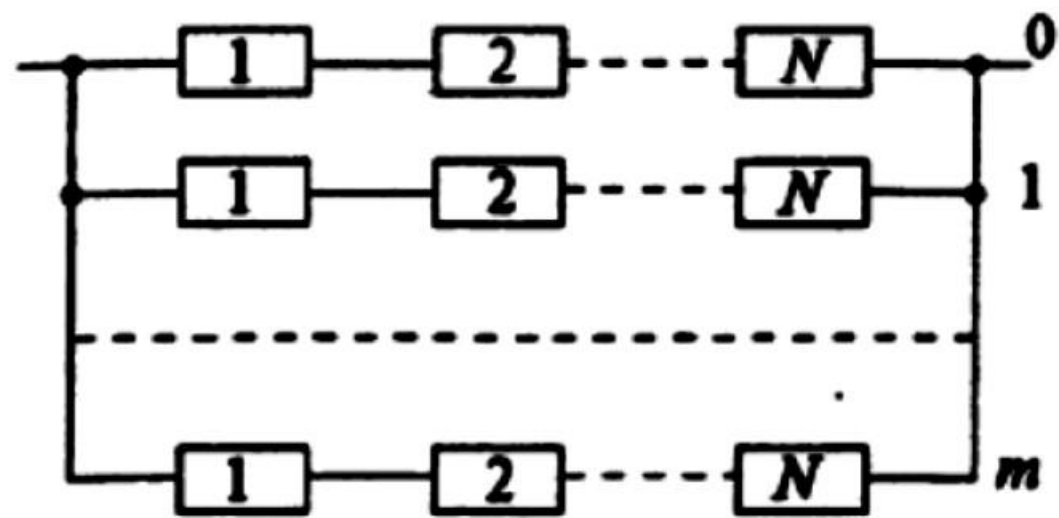
Перечисленные виды резервирования могут быть применены либо к системе в целом, либо к отдельным элементам системы или к их группам. В первом случае резервирование называется общим, во втором — отдельным. Сочетание различных видов резервирования в одном и том же объекте называется смешанным.

Классификация методов резервирования систем

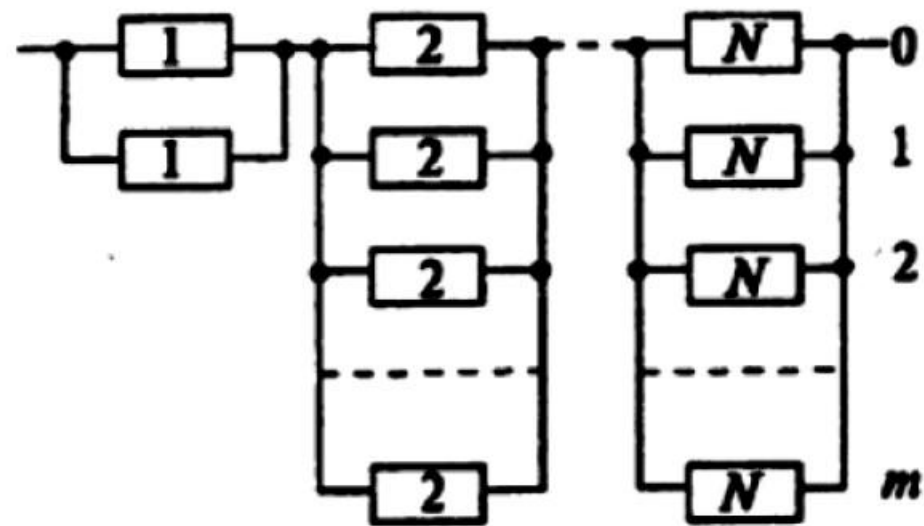
По способу включения резервных элементов различают постоянное, динамическое, резервирование замещением, скользящее и мажоритарное резервирование.

Постоянное резервирование – это резервирование без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента. Для постоянного резервирования существенно, что в случае отказа основного элемента не требуется специальных устройств, вводящих в действие резервный элемент, а также отсутствует перерыв в работе. Постоянное резервирование в простейшем случае представляет собой параллельное соединение элементов без переключающих устройств.

Классификация методов резервирования систем



Общее резервирование с постоянно включенным резервом

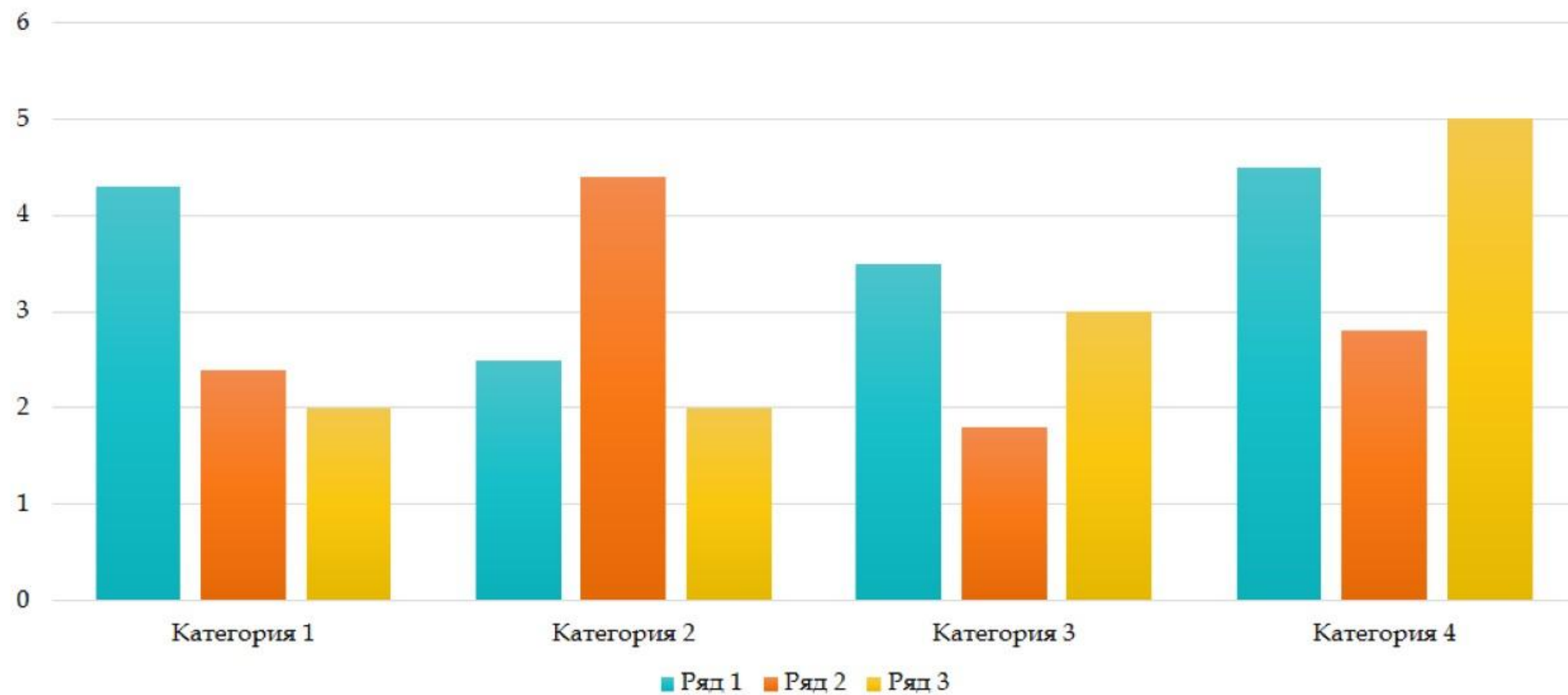


Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом

Классификация методов резервирования систем

Классификация методов резервирования систем

Макет заголовка и объектов с диаграммой



Макет двух объектов с таблицей

- Первый пункт списка
- Второй пункт списка
- Третий пункт списка

Предмет	Группа А	Группа Б
Предмет 1	82	95
Предмет 2	76	88
Предмет 3	84	90

Макет заголовок и объекта со SmartArt

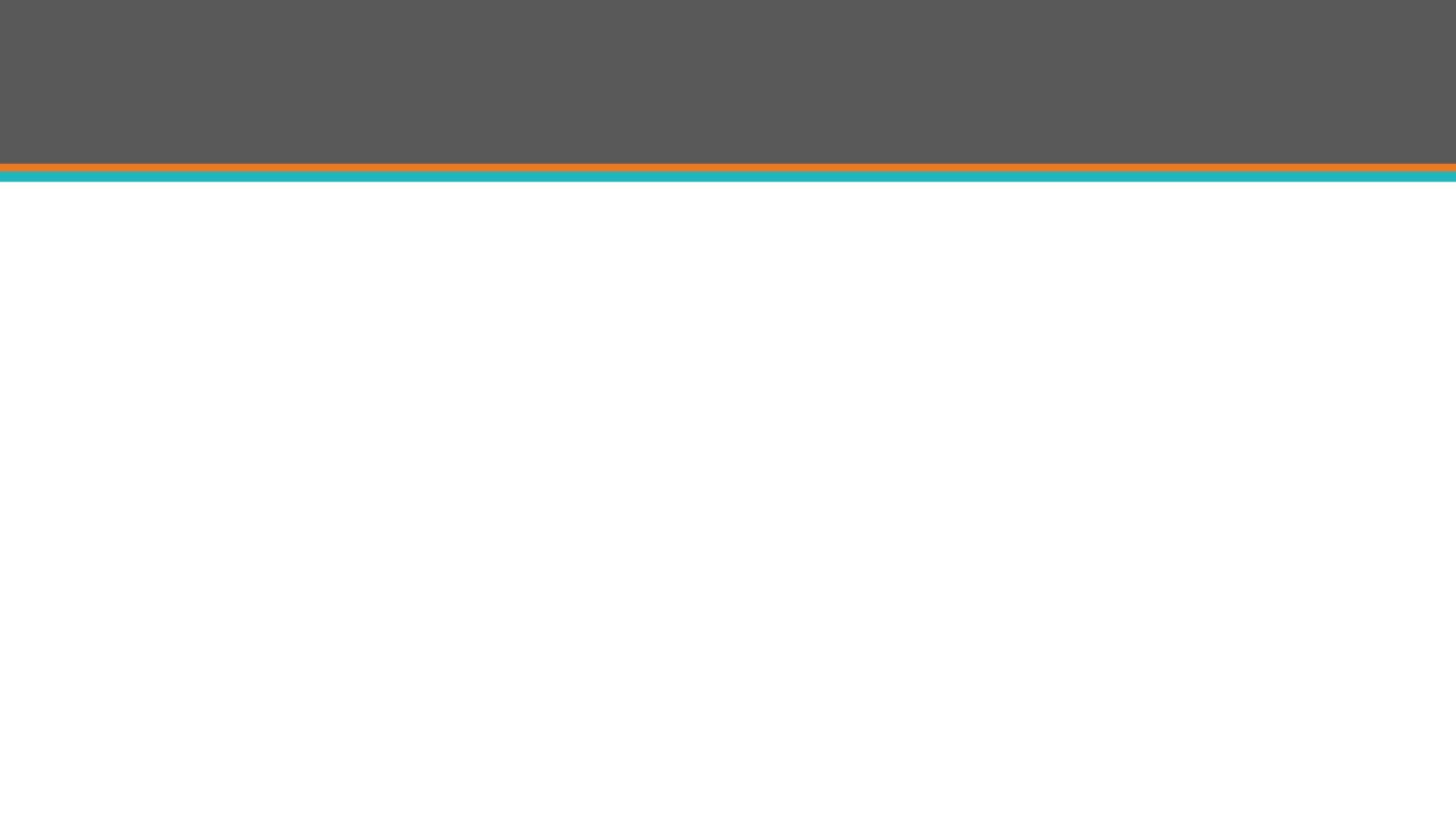


Добавить заголовок
слайда — 1

Добавить заголовок слайда – 2

Добавить заголовок слайда — 3

Добавить заголовок слайда — 4



Добавить заголовок слайда — 5

Добавить заголовок слайда — 6

Добавить заголовок слайда – 7

