

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

К показателям надёжности восстанавливаемых объектов могут быть отнесены: параметр потока отказов, наработка на отказ, коэффициент готовности, коэффициент вынужденного простоя, интенсивность восстановления.

Параметром потока отказов называется отношение числа отказавших объектов в единицу времени к числу испытываемых объектов при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).

Статистически этот показатель оценивается по следующей формуле: $\omega(t) = n(\Delta t)/(N \cdot \Delta t)$,

где $n(\Delta t)$ – число отказавших образцов в интервале времени от $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$;

N – число испытываемых образцов;

Δt – интервал времени.

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Для любого момента времени независимо от закона распределения времени безотказной работы параметр потока отказов больше чем частота отказов, т.е. $\omega(t) > a(t)$.

Интенсивность восстановления μ оценивается по формуле

$$\mu = 1 / t_{\text{в}}$$

где $t_{\text{в}}$ – время восстановления.

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами.

Эта характеристика определяется по статистическим данным об отказе по формуле

$$\hat{t}_{\text{ср.}} = (\sum_{i=1}^n t_i) / n$$

где t_i – время исправной работы изделия между $(i-1)$ -м и i -м отказами;
 n – число отказов за некоторое время t .

Наработка на отказ является характеристикой надёжности, которая получила широкое распространение на практике.

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Параметр потока отказов и наработка на отказ характеризуют надёжность ремонтируемого изделия и не учитывает времени, необходимого на его восстановление. Поэтому они не характеризуют готовность изделия к выполнению своих функций в нужное время. Для этой цели вводятся такие критерии (признак, мерило по которому оценивается надёжность объекта), как коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя.

Коэффициент готовности K_r используется в качестве показателя надёжности, если кроме факта отказа необходимо учитывать время восстановления.

Коэффициент готовности определяется как вероятность того, что в произвольный заданный момент времени t объект находится в состоянии работоспособности (кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекты по назначению не предусматривается)

$$K_r = t_{cp.} / (t_{cp.} + t_v)$$

где $t_{cp.}$ – наработка на отказ,
 t_v – среднее время восстановления.

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Статистическая оценка коэффициента готовности $\hat{K}_r(t) = N_g(t)/N_0$
где N_g – число объектов, находящихся в рабочем состоянии в момент времени t .

Разность $N_0 - N_g$ – выражает количество объектов, находящихся в момент времени t в состоянии восстановления (ремонта).

Для пользователей сложных информационных систем понятие их надёжности ощущается по коэффициенту готовности системы K_g , то есть по отношению времени работоспособного состояния системы к времени её незапланированного простоя.

Для типичного современного сервера $K_g = 0,99$, что означает примерно 3,5 суток простоя в год. За рубежом часто используется классификация систем по уровню надёжности, показанная в следующей таблице.

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Коэффициент готовности	Максимальное время простоя в год	Тип системы
0,99	3,5 суток	Обычная (Conventional)
0,999	8,5 часов	Высокой надёжности (High availability)
0,9999	1 час	Отказоустойчивая (Fault resilient)
0,99999	5 минут	Безотказная (Fault tolerant)

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и ремонтов за тот же период эксплуатации.

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{ср.}}}{T_{\text{ср.}} + T_{\text{в}} + T_{\text{п}}}$$

где $T_{\text{п}}$ – время простоя системы, обусловленное выполнением планового технического обслуживания и ремонта, пересчитанное на один отказ.

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Коэффициентом вынужденного простоя называется отношение времени восстановления к сумме времен наработки на отказ и времени восстановления взятых за один и тот же календарный срок.

$$K_{\pi} = t_{\text{в}} / (t_{\text{сп.}} + t_{\text{в}}).$$

Коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя связаны между собой зависимостью.

$$K_{\pi} = 1 - K_{\text{г}}.$$

1. Показатели надёжности восстанавливаемых устройств

Коэффициент оперативной готовности $K_{o.g.}$ – 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, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

$$K_{o.g.} = \frac{T_{cp.}}{T_{cp.} + t_v} \cdot P(t_x, t)$$

где $P(t_x, t)$ – условная вероятность безотказной работы системы на интервале $(t_x, t_x + t)$ при условии, что в момент t_x система была работоспособна.

2. Выбор показателей надёжности

Показатели надёжности в каждом конкретном случае необходимо выбирать так, чтобы они наилучшим образом характеризовали надёжность объекта по его целевому назначению. Существуют специальные методики по выбору показателей надёжности, приведем некоторые краткие рекомендации:

1. Если невосстанавливаемый объект работает однократно в течение небольшого заданного отрезка времени $t_{зад.} \ll t_{ср.}$, то в качестве показателя надёжности целесообразно выбрать вероятность безотказной работы $P(t_{зад.})$ за заданное время. Этот же показатель используется в случае периодически обслуживаемых КС и их подсистем, например на борту самолета, когда во время полета ремонт невозможен. В этом случае показатель характеризует отсутствие отказов во время полета.

2. Если отказ невосстанавливаемого объекта не влечет за собой опасных последствий и объект эксплуатируется до наступления отказа, тогда целесообразно характеризовать его надёжность через среднюю наработку до отказа $t_{ср.}$ (электромеханических устройств).

3. Если невосстанавливаемый объект характеризуется постоянством интенсивности отказов, тогда в качестве надёжности целесообразно использовать её значение λ . Этот показатель используется для характеристики невосстанавливаемых электронных узлов (ИС и БИС).

4. Если время восстановления восстанавливаемого объекта мало по сравнению с временем безотказной работы целесообразно использовать показатели надёжности $\omega(t)$ и $t_{ср.}$, когда $\omega(t)=const$.

2. Выбор показателей надёжности

Для ответственных управляющих технических систем, отказ которых влечет за собой тяжелые последствия, несмотря на скорость восстановления, целесообразно использовать в качестве показателя надежности параметр потока отказов $\omega(t)$ или наработку на отказ $t_{cp.}$ (если $\omega(t)=const$).

5. Если существенное значение имеет полезное время работы восстанавливаемого объекта, в качестве показателя надежности целесообразно использовать коэффициент готовности K_r . Этот показатель применяется для универсальных КС, где существенное значение имеют потери машинного времени.

6. Если важное значение имеет безотказная работа в периоды выполнения операции, то как показатель надежности применяется коэффициент оперативной готовности.

3. Зависимость надёжности от времени

Из рассмотренных выше выражений для оценки количественных характеристик надежности видно, что все характеристики, кроме средней наработки до первого отказа являются функциями времени. Время между соседними отказами для элементов аппаратуры является непрерывной случайной величиной, которая характеризуется некоторым законом распределения. Зависимость надежности от времени описывается с помощью математической модели надежности (ММН) – математического выражения (формулы, алгоритма, уравнения, системы уравнений), позволяющего определить показатели надежности. Простейшие ММН в виде формул носят название *статистических моделей распределения*. При исследовании надежности применяются следующие модели распределения: экспоненциальный, нормальный, Рэлея, Пуассона, Вейбулла и др.

3. Зависимость надёжности от времени

Наиболее распространенной статистической моделью надежности является *экспоненциальная модель распределения времени до отказа*, по которой вероятность безотказной работы объекта выражается зависимостью

$$P_3(t) = e^{-\lambda t}$$

где λ – параметр модели.

Частота отказа при экспоненциальной модели

$$a_3(t) = -dP(t)/dt = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}.$$

Функция интенсивности отказов при экспоненциальной модели

$$\lambda_3(t) = a_3(t)/P_3(t) = \lambda = \text{const.}$$

3. Зависимость надёжности от времени

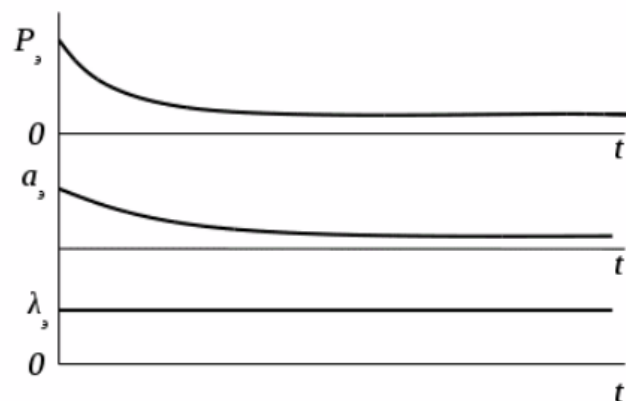


График зависимости показателей надёжности от времени для экспоненциальной модели распределения.

Наработка до отказа при экспоненциальной модели

$$T_{cp.} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \cdot dt = 1/\lambda$$

Экспоненциальная модель может быть использована в случае, когда интенсивность отказов постоянная величина ($\lambda = const$), а также как характеристика достаточно сложных восстанавливаемых объектов в период эксплуатации II, если исключить период приработки I и период интенсивного старения III (см. рисунок).

3. Зависимость надёжности от времени

С экспоненциальной моделью тесно связана модель Пуассона. Она основана на представлении о потоке случайных событий, называемого пуассоновским, если выполнены условия стационарности, ординарности и отсутствия последействия.

Стационарность – свойство потока, выражающееся в том, что параметры потока не зависят от времени.

Ординарность – свойство потока, выражающееся в том, что в один и тот же момент времени может произойти только одно событие.

Отсутствие последействий – свойство потока, выражающееся в том, что вероятность наступления данного события не зависит от того, когда произошли предыдущие события и сколько их было.

3. Зависимость надёжности от времени

Таким образом модель Пуассона позволяет выразить вероятность $P(t, n)$ того, что на заданном интервале времени произошло равно n событий (отказов), если время между отдельными событиями (отказами) распределено экспоненциально с параметром λ . По модели Пуассона

$$P(t, n) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda t}$$

Модель Вейбулла находит практическое применение благодаря своей простоте и гибкости, так как в зависимости от значений параметров характер модели видоизменяется в широких пределах. Модель надежности Вейбулла, называемая также *моделью Вейбулла-Гнеденко*, была предложена шведским ученым В. Вейбуллом в качестве модели прочности материалов, а затем обоснована математически российским ученым Б.В. Гнеденко. Вероятность безотказной работы по модели надежности Вейбулла выражается формулой.

$$P_B = e^{-\alpha \cdot t^\beta}$$

где α и β – параметры модели.

Ориентировочно значение $\beta=0,2 \div 0,4$ для электронных устройств с убывающей функцией интенсивности отказов и $\beta=1,2 \div 1,4$ для механических устройств и возрастающей функцией интенсивности отказов.

3. Зависимость надёжности от времени

Выбор модели надежности – сложная научно-техническая проблема. Она может быть удовлетворительно решена стандартными методами математической статистики, если имеется большой статистический материал об отказах исследуемых объектов. Из-за высокой надежности КС и их компонентов, как правило, статистических данных об отказах немного. В последнем случае при выборе модели руководствуются результатами ускоренных испытаний, проводимыми в утяжеленных условиях работы объекта, физическими соображениями, предыдущим опытом.

В случае приближенных оценок часто выбирается экспоненциальная модель как наиболее удобная с точки зрения аналитических преобразований. Экспоненциальную модель рекомендуется применить при выполнении расчетов надежности в случае отсутствия других исходных данных для расчета, кроме интенсивности отказов. В случае наличия более полных исходных данных целесообразно пользоваться другой, более точной моделью, например моделью Вейбулла.