

# Введение

В инженерной практике при проектировании и планировании производства расчеты на надежность производятся крайне редко.

Такое положение объясняется  
сложностью математического аппарата теории надежности,  
отсутствием достаточно простых и удобных схем и методик расчета,  
сложностью и большим объемом вычислений,  
ограниченностью статистических и экспериментальных данных.

Значительная часть литературы по надежности технических объектов либо носит узкоспециальный отраслевой характер и содержит сведения или результаты экспериментальных исследований по надежности отдельных видов техники, либо посвящено разработке достаточно сложного математического аппарата теории надежности, ограниченного в применении в инженерной практике.

Для современной техники характерны такие тенденции развития, как

увеличение степени автоматизации,  
интенсификация рабочих параметров (нагрузок, скоростей, температур, давлений и т.д.),  
уменьшение габаритов и массы,  
повышение требований к точности функционирования и эффективности (производительности, мощности, коэффициента полезного действия и т.д.),  
объединение отдельных агрегатов в системы с единым управлением и т.д.

**Повышение сложности и усиление требований приводит к необходимости повышения качества и надежности техники.**

Основная задача теории надежности    выбор оптимальных технических решений при

- проектировании,
- конструировании,
- изготовлении,
- транспортировке,
- хранении,
- монтаже,
- эксплуатации,
- техническом обслуживании и
- ремонте,

обеспечивающих сохранение основных технических характеристик технических объектов и их элементов в течение необходимого промежутка времени в определенных условиях эксплуатации.

Уровень надежности закладывается в процессе проектирования применением соответствующей элементной базы и надлежащих конструктивных решений.

На этой стадии возможен расчет надежности будущего изделия, основанный на статистических данных о надежности элементов и анализе работы аналогичных технических систем с учетом прогнозируемых условий эксплуатации.

Достоверность результатов расчета определяется полнотой и точностью исходной информации.

Отклонения режимов технологических процессов снижают надежность по сравнению с расчетным уровнем. Поэтому достоверное суждение о надежности проектируемых и выпускаемых машин и оборудования возможно только на основе экспериментального исследования реальных образцов серийной продукции в реальных эксплуатационных условиях.

Решение этой задачи является сущностью экспериментальных исследований и испытаний на надежность.

В настоящее время в теории надежности получены фундаментальные результаты в двух основных направлениях исследований:

вероятностно-статистическом (для технических систем со сложной структурой и сложными связями между элементами) и

детерминированном, связанным с исследованием физики отказов.

В рамках первого направления разработаны математические методы оценки надежности, статистической обработки результатов испытаний и эксплуатации, разработки высоконадежных структур технических систем, планирования испытаний, контроля и прогнозирования надежности, совершенствования системы эксплуатации.

.

В рамках второго направления изучены механизмы процессов, оказывающих основное влияние на надежность, разработаны методы расчета на прочность и износ, разрабатываются новые технологические методы повышения надежности материалов, элементов и объектов в целом.

В настоящее время наметился процесс слияния этих двух направлений, при этом методы и результаты из одной области используются в другой и на этой основе возникает единая общая наука о надежности технических объектов.



Современная теория надежности базируется на фундаментальных законах математики и естественных наук.

Математический аппарат теории надежности позволяет разрабатывать методы расчета характеристик надежности техники практически любой сложности.

Второй теоретической основой науки о надежности являются результаты исследований физикохимических процессов разрушения, износа, старения и изменения свойств материалов и сред, т.е. "физика отказов".

Третьей основой теории надежности является совокупность методов и алгоритмов расчета, проектирования и оптимизации конкретных видов техники и элементов (уравнения и зависимости, описывающие рабочие процессы).

# Основные понятия надежности

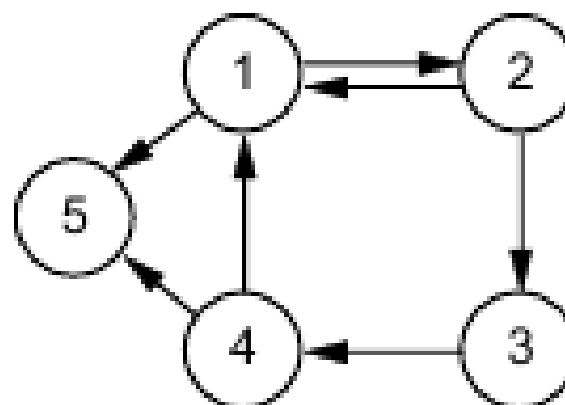
В теории надежности используется обобщенное понятие объекта, которое в зависимости от решаемых задач может обозначать изделие, элемент или систему элементов.

Изделие - единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках (экземплярах).

Элемент - простейшая при данном рассмотрении составная часть изделия.

Система - совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для самостоятельного выполнения заданных функций.

Основные термины и понятия надежности приведены в ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Термины и определения"



Типичный граф состояний объекта:  
 1 - работоспособное состояние ожидания,  
 2 - использование по назначению, 3- отказ  
 и ожидание ремонта, 4 - ремонт, 5 - пре-  
 дельное состояние.

# Классификация объектов по надежности

В основу классификации технических объектов по надежности могут быть положены различные критерии.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 объекты разделяются на

**восстанавливаемые и  
невосстанавливаемые,  
ремонтируемые и  
неремонтируемые,  
обслуживаемые и  
необслуживаемые.**

Восстанавливаемый объект - объект, для которого проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для невозстанавливаемого объекта восстановление не предусматривается.

Ремонтируемый объект - объект, для которого проведение ремонтов предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для неремонтируемого объекта ремонты не предусматриваются.

Обслуживаемый объект - объект, для которого проведение технического обслуживания предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для необслуживаемого объекта обслуживание не предусматривается.

Классификация технических объектов может отражать серьезность последствий отказа и, соответственно, допускаемую вероятность безотказной работы (табл.1.1).

# Классификация объектов по последствиям отказа [3,13,14]

Последствия отказа	Допустимая вероятность безотказной работы	П р и м е р ы
<b>Катастрофические:</b> аварии, катастрофы, невыполнение ответственного задания.	$p(t) \rightarrow 1,0$	Летательные аппараты, подъемно-транспортные машины, военная техника, химическое и медицинское оборудование.
<b>Экономический ущерб:</b> повышенные простои, работа на пониженных режимах или с ухудшенными показателями.	$p(t) > 0,9$ (при значительном ущербе $p(t) > 0,99$ )	Технологическое оборудование, сельскохозяйственные и бытовые машины.
<b>Без серьезных последствий</b> (ремонтные затраты в пределах нормы)	$p(t) < 0,9$	Отдельные узлы и элементы оборудования.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ДОЛГОВЕЧНОСТИ [3]

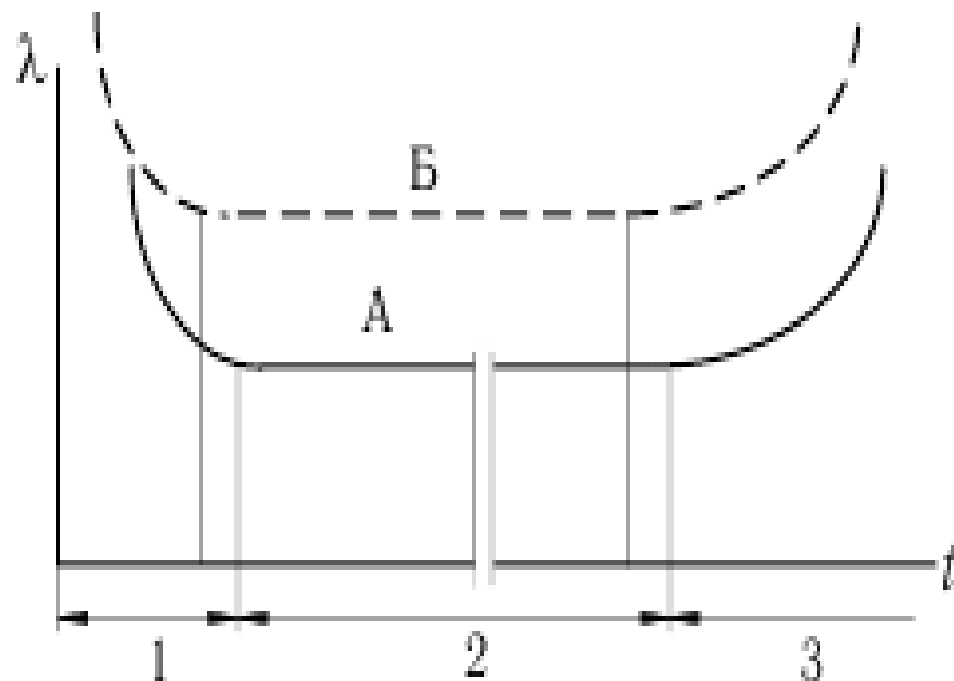
Категории оборудования	Назначение	Основные параметры
<b>Технологическое:</b> станки, прессы, сварочные агрегаты, текстильное, пищевое, полиграфическое оборудование, сельскохозяйственные и дорожно-строительные машины	Изменение формы и свойств объектов труда	Качество продукции, производительность
<b>Химико-технологическое:</b> машины и аппараты химических производств, металлургическое оборудование	Получение новых веществ и материалов	Качество продукции, производительность, безопасность
<b>Транспортное:</b> автомобили, самолеты, железнодорожный и водный транспорт, подъемно-транспортные машины	Перемещение объектов	Скорость, безопасность, грузоподъемность
<b>Энергетическое:</b> электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, реактивные двигатели, турбины	Преобразование энергии	Коэффициент полезного действия, мощность
<b>Контрольно-измерительное:</b> измерительные приборы, сортировочные автоматы, испытательные машины	Контроль параметров объекта	Точность измерений
<b>Счетно-решающее:</b> электронно-вычислительные цифровые и аналоговые машины, компьютеры, калькуляторы	Решение математических задач и вычисления	Правильность и точность решений
<b>Военное:</b> орудия, ракеты, танки, военная авиация	Поражение объекта	Выполнение боевого задания
<b>Медицинское:</b> искусственные органы, хирургические агрегаты	Восстановление здоровья человека	Точность функционирования, безотказность

## Классификация отказов [13,15-19]

Признак деления	Виды отказов
Характер изменения параметра	внезапный, постепенный
Связь с другими отказами	независимый, зависимый
Возможность последующего использования	полный, частичный
Характер устранения отказа	устойчивый, самоустраниющийся, перемежающийся, сбой
Наличие внешних проявлений	очевидный (явный), скрытый (неявный)
Причины возникновения	конструкционный, технологический, эксплуатационный
Происхождение	естественный, искусственный
Время (период) возникновения	при испытаниях, периода приработки, периода нормальной эксплуатации, периода износа и старения

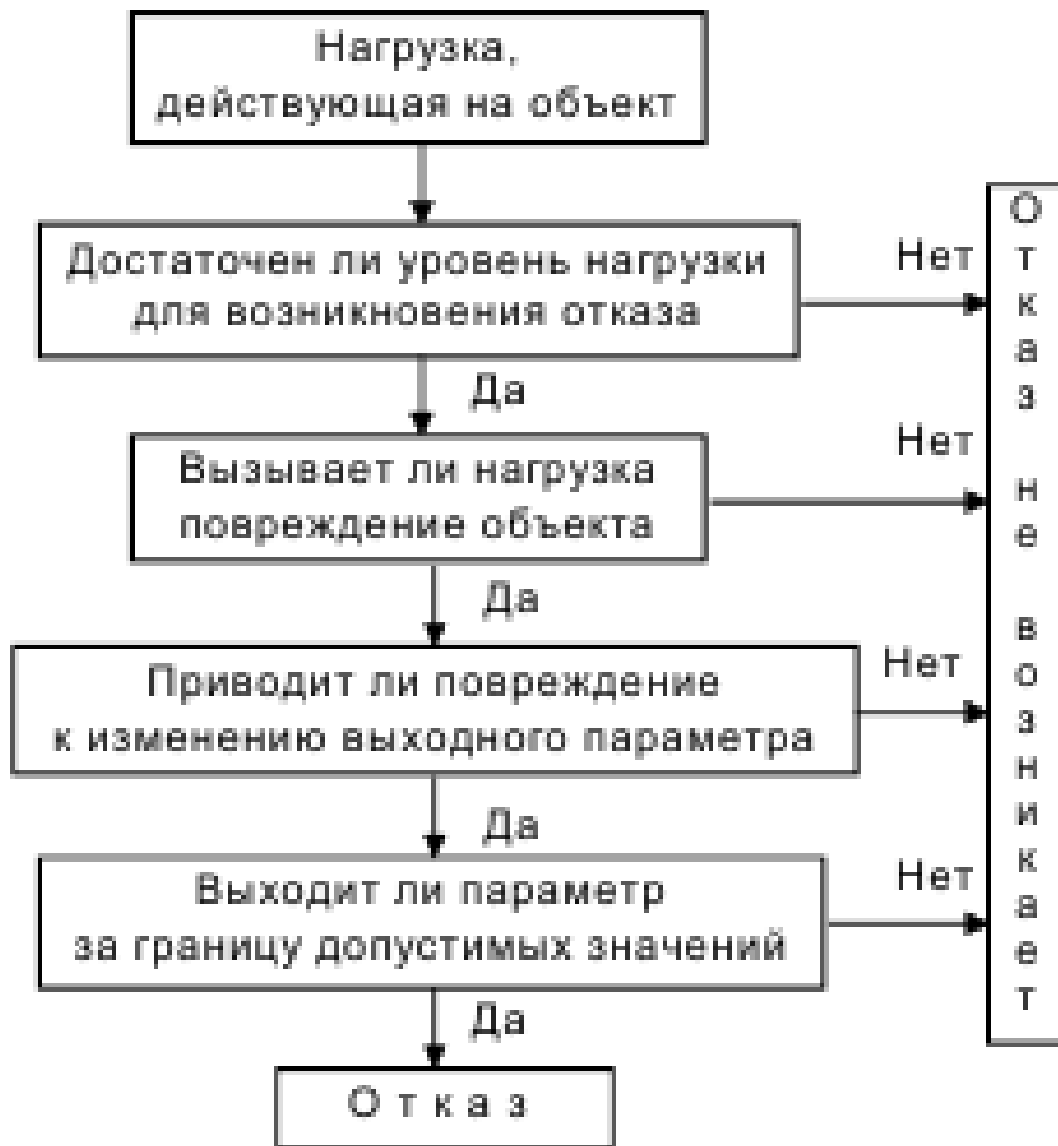


Согласно модели период функционирования объекта можно разделить на три части: период пуска и приработки, когда в основном проявляются конструкционные и производственные отказы, в технических системах выходят из строя дефектные элементы; период нормальной эксплуатации, для которого характерно появление внезапных отказов с примерно постоянной (или слабо увеличивающейся) интенсивностью; период износа и старения с постепенно увеличивающейся интенсивностью.



Изменение интенсивности отказов во времени при нормальном (А) и повышенном (В) режимах эксплуатации [20]:  
1- период пуска и приработки; 2- период нормальной эксплуатации; 3- период износа и старения.

# Анализ причин возникновения



На рис.приведена блок-схема возникновения отказа при превышении уровня нагрузки допустимых значений (внезапные отказы) или при выходе определяющих параметров за пределы допустимых значений (параметрические отказы).

# Показатели надежности

Показатель надежности - количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта. Показатель надежности количественно характеризует, в какой степени объекту присущи определенные свойства надежности.

Уровень надежности технического объекта определяется совокупностью значений нескольких характеристик надежности как его отдельных элементов (деталей, узлов, систем и т.д.), так и объекта в целом.

В зависимости от того, сколько свойств надежности характеризуют показатели, различаются единичные и комплексные показатели надежности: единичные характеризуют одно из свойств, комплексные - не менее двух.

Определения основных показателей надежности приведены в ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Термины и определения".

# Показатели безотказности

Основным показателем безотказности является вероятность безотказной работы  $p(t)$  - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

В общем случае величина вероятности безотказной работы зависит от наработки объекта и ее конкретное значение должно быть поставлено в соответствие с определенной наработкой или временем эксплуатации объекта.

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени (при нулевой наработке) объект работоспособен:  $p(0) = 1$ . Очевидно  $p(\infty) = 0$ .

В ряде случаев бывает необходимо определять вероятность безотказной работы в интервале времени (или наработки) от  $t_1$  до  $t_2$ , представляющую собой условную вероятность того, что объект не откажет в этом интервале, при условии что он безотказно проработал до его начала:

$$p(t_1, t_2) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)}$$

Вероятность отказа  $q(t)$  - вероятность того, что в течение заданного времени работы или заданной наработки объект откажет хотя бы один раз.

Отказ и работоспособное состояние - противоположные несовместные события, образующие полную совокупность возможных состояний объекта, поэтому в любой момент времени или при любой наработке:

$$p(t) + q(t) = 1.$$

Очевидно также, что  $q(0) = 0$  и  $q(\infty) = 1$ .

Вероятность безотказной работы и вероятность отказа - безразмерные величины, выражаются в долях единицы (иногда - в процентах).

Наработка до отказа - наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. Наработка до отказа используется для характеристики надежности как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых объектов.

Средняя наработка до отказа  $t_{cp}$  - математическое ожидание наработки до отказа:

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} p(t) dt$$

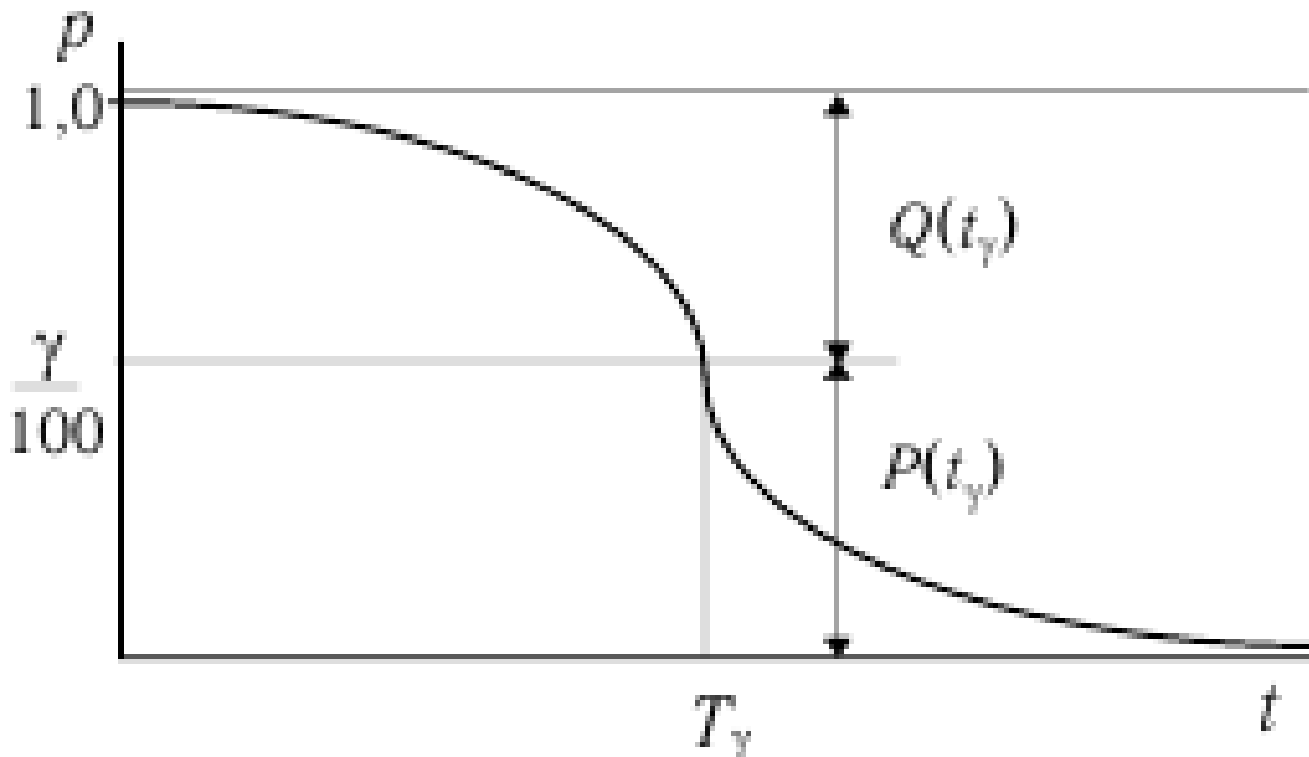
Наработка между отказами - наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа. Очевидно наработка между отказами характеризует надежность только восстанавливаемых объектов.

Средняя наработка на отказ  $t_o$ - отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки, т.е. наработка, приходящая в среднем на один отказ, в рассматриваемом интервале наработки или определенной продолжительности эксплуатации:

$$t_o = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Гамма-процентная наработка до отказа (на отказ)  $t_g$ - наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $g(\%)$ .

Значение гамма-процентной наработки можно определить из графика вероятности безотказной работы. При  $g=100\%$  гамма-процентная наработка называется установленной наработкой, при  $g = 50\%$  - медианной.



Определение значения  
гамма-процентной наработки.



Параметр потока отказов  $w(t)$  - отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки:

$$\omega(t) = \frac{dn(t)}{dt}$$

где  $n(t)$  - число отказов восстанавливаемого объекта за наработку  $t$ .

# СООТНОШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ

Функции	$p(t)$	$q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$p(t)$	–	$1 - p(t)$	$-dp(t) / dt$	$-[dp(t) / dt] / p(t)$
$q(t)$	$1 - q(t)$	–	$dq(t) / dt$	$[dq(t) / dt] / [1 - q(t)]$
$f(t)$	$\int_t^{\infty} f(t) dt$	$\int_0^t f(t) dt$	–	$f(t) / \int_t^{\infty} f(t) dt$
$\lambda(t)$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$	$\lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$	–

# Показатели долговечности

Технический ресурс - наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Технический ресурс представляет собой запас возможной наработки объекта. Для неремонтируемых объектов он совпадает с наработкой до отказа.

Для ремонтируемых объектов различаются доремонтный, межремонтный, послеремонтный и полный (до описания) ресурсы. Средний ресурс - математическое ожидание технического ресурса.

Гамма-процентный ресурс - наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью  $g(\%)$ . При  $g=100\%$  гамма-процентный ресурс называется установленным ресурсом, при  $g=50\%$  - медианным.

Назначенный ресурс - суммарная наработка, при достижении которой применение объекта должно быть прекращено.

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

Для ремонтируемых объектов различаются доремонтный, межремонтный, послеремонтный и полный (до списания) сроки службы.

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

Гамма-процентный срок службы  $T_g$  – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, в течение которой он не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $g(\%)$ .

При  $g=100\%$  гамма-процентный срок службы называется установленным сроком службы, при  $g=50\%$  -медианным. Назначенный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение его по назначению должно быть прекращено.

Все сроки службы измеряются в единицах календарного времени.

# Показатели ремонтпригодности

Вероятность восстановления работоспособного состояния  $p_v(t)$  - вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного.

Эта вероятность представляет собой значение интегральной функции распределения времени восстановления.

Статическая оценка вероятности восстановления за время  $t$

$$p_v^*(t) = \frac{n(t)}{n(0)}$$

где  $n(0)$  - число объектов при  $t=0$ ,  $n(t)$  - число восстановленных объектов за время  $t$ .

Вероятность восстановления - безразмерная величина.

Время восстановления работоспособного состояния  $t_B$  - продолжительность восстановления объекта.

Среднее время восстановления - математическое ожидание времени восстановления:

$$t_B = \int_0^{\infty} [1 - p_B(t)] dt$$

Статистическая оценка среднего времени восстановления

$$t_B^* = \frac{1}{n(0)} \sum_{i=1}^{n(0)} t_{Bi}$$

где  $t_{Bi}$  - время восстановления  $i$ -го объекта.

Интенсивность восстановления работоспособного состояния  $m(t)$  - условная плотность вероятности восстановления объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не произошло:

$$\mu(e) = \frac{f(t_e)}{1 - p_e(t)}$$

где  $f(t_e) = dp_e(t)/dt$  - плотность распределения времени восстановления.

В теории надежности часто принимается  $m = \text{const}$ . Тогда

$$p_e(t) = 1 - \exp(-\mu t)$$

Время восстановления выражаются в единицах времени, интенсивность восстановления и плотность распределения - в единицах, обратных единицам времени.

# Показатели сохраняемости

Срок сохраняемости - календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение и после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

Различают срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию и срок сохраняемости в период эксплуатации.

Средний срок сохраняемости  $t_c$  - математическое ожидание срока сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma(\%)$ . При  $\gamma=100\%$  гамма-процентный срок сохраняемости называется установленным сроком сохраняемости, при  $\gamma=50\%$  - медианным.

Сроки сохраняемости измеряются в единицах календарного времени.



# Комплексные показатели надежности

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

Коэффициент готовности характеризует готовность объекта к применению только в отношении его работоспособности и, следовательно, означает вероятность застать объект в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, причем этот момент не может быть выбран в тех интервалах времени, где применение объекта исключено.

Коэффициент определяется как отношение математического ожидания времени нахождения объекта в работоспособном состоянии к сумме математических ожиданий этого времени и времени внеплановых ремонтов:

$$K_g = \frac{t}{(t + t_{\text{в}})}$$

где  $t$  - средняя наработка на отказ,  
 $t_{\text{в}}$  - среднее время восстановления.

Коэффициент оперативной готовности  $K_{ог}$ - 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.

Коэффициент характеризует надежность объектов, необходимость применения которых возникает в произвольный момент времени, после которого требуется определенная безотказная работа. До этого момента объекты могут находиться в режиме дежурства или выполнять другие функции, возможно возникновение отказов и восстановление работоспособности.

$$K_{ог} = K_z p(t_o, t)$$

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

$$K_{ми} = \frac{t}{\left( t + t_v + t_{мо} \right)}$$

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии в течение рассматриваемого периода эксплуатации, включая периоды всех видов технического обслуживания и ремонтов.

Коэффициент планируемого применения  $K_p$ - доля периода эксплуатации, в течение которого объект не должен находиться на плановом техническом обслуживании и ремонте.

Коэффициент планируемого применения - отношение заданной продолжительности плановых технических обслуживаний и ремонтов за этот период к его продолжительности.

Коэффициент сохранения эффективности  $K_{эф}$  - отношение значения показателя эффективности за определенную продолжительность эксплуатации к его номинальному значению, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода эксплуатации не возникают.

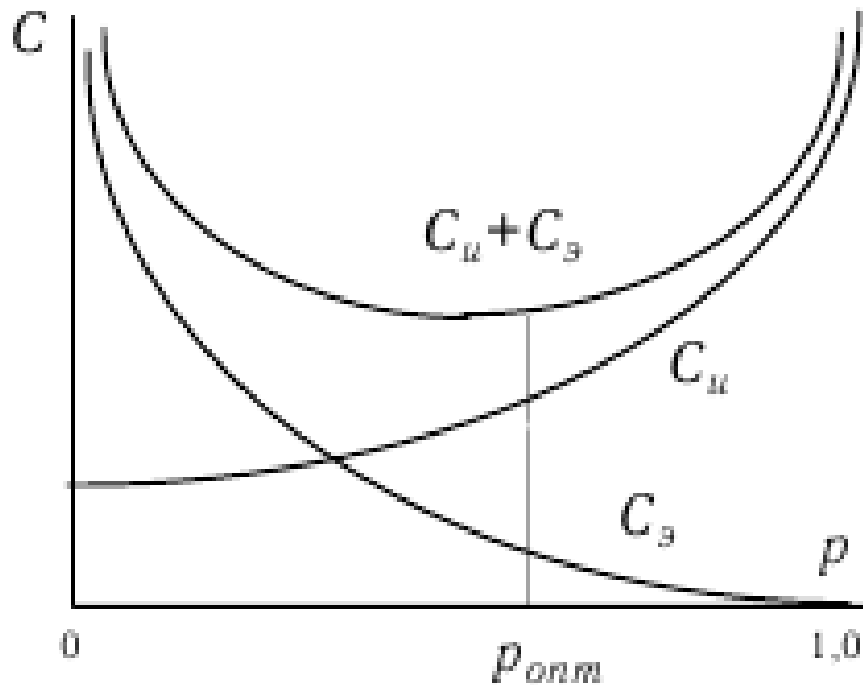
Коэффициент характеризует степень влияния отказов объекта на эффективность его применения по назначению. При этом под эффективностью понимается свойство создавать некоторый полезный результат (выходной эффект), характеризующийся соответствующими показателями.

Показатель эффективности - показатель качества, характеризующий выполнение объектом его функций, он может выражаться в единицах объема произведенной продукции или ее качества, единицах наработки. При отсутствии отказов коэффициент сохранения эффективности равен единице, в реальных случаях он определяется с учетом надежности объекта.

# Экономические показатели надежности

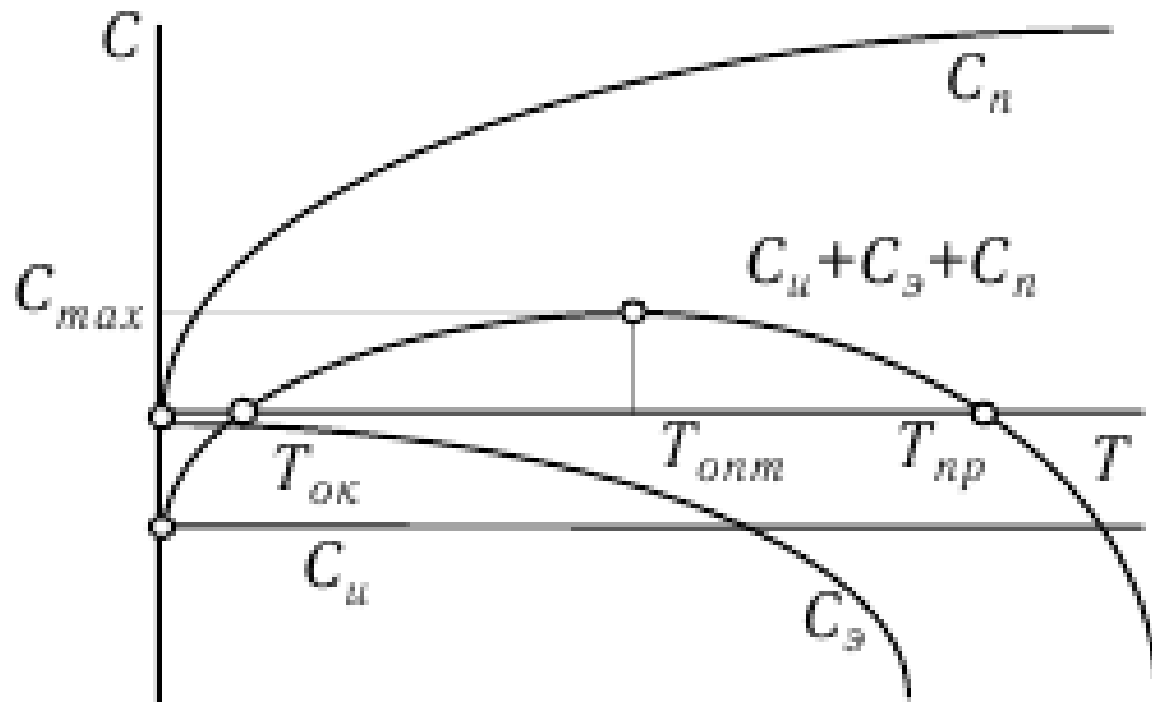
Надежность технических объектов существенно сказывается на экономических показателях их эксплуатации:

повышение безотказности и долговечности с одной стороны приводит к увеличению материальных затрат, затрат на проектирование и изготовление, а с другой - к снижению эксплуатационных издержек



. Зависимость капитальных  $C_k$  и эксплуатационных  $C_z$  затрат от вероятности безотказной работы

Экономический эффект от эксплуатации технического объекта изменяется во времени под влиянием трех основных факторов: затрат на изготовление  $C_{и}$  (включая проектирование, монтаж, отладку и т.д.), эксплуатационных затрат  $C_{э}$  (включая техническое обслуживание, ремонт, профилактические мероприятия и т.д.) и прибыли  $C_{п}$  - полезного эффекта, получаемого от эксплуатации. Первые две величины снижают общий баланс эффективности эксплуатации, третья - увеличивает.



Изменение затрат на изготовление  $C_{и}$ ,  
эксплуатационных затрат  $C_{э}$  и прибыли  $C_{п}$   
от времени (срока службы)

Экономическим критерием надежности могут служить удельные затраты на изготовление и эксплуатацию

$$K_{\text{Э}} = \frac{(C_u + C_{\text{Э}})}{T_{\text{Э}}}$$

где  $C_u$ - стоимость изготовления объекта,  $C_{\text{Э}}$ - затраты на эксплуатацию, ремонт и обслуживание,  $T_{\text{Э}}$ - период целесообразной эксплуатации.

Коэффициент эксплуатационных издержек  $K_{\text{из}}$  характеризует соотношение между стоимостью изготовления и эксплуатации машины

$$K_{\text{Э}} = \frac{C_u}{(C_u + C_{\text{Э}})}$$



Более высокая надежность объекта обычно достигается за счет дополнительных затрат. Общие затраты на изготовление изделия складываются из постоянных затрат  $C_k$ , не зависящих от уровня надежности, и переменной составляющей  $C_n$ , обусловленной требованиями надежности:

$$C_u = (C_k + C_n)$$

Для прогнозирования значения величины  $C_n$ , которая часто называется "ценой надежности", обычно используется сравнение с прототипом на основании эмпирических зависимостей вида

$$C_n = C_{n0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^\alpha$$

где  $C_{n0}$  - цена надежности прототипа (аналога),  $T$  и  $T_0$  - наработка на отказ или средний срок службы проектируемого объекта и прототипа,  $\alpha$  - эмпирический показатель, характеризующий уровень производства, обычно  $\alpha \gg 0,5 \div 1,5$ .

Экономические показатели надежности часто позволяют наиболее объективно и комплексно оценить надежность объектов и могут использоваться для ее оптимизации и нормирования.

# Нормируемые показатели надежности

Для обеспечения высокого уровня надежности и эффективности важное значение имеет выбор номенклатуры нормируемых показателей, которые должны быть включены в нормативно-техническую, эксплуатационную и ремонтную документацию.

В период эксплуатации любой объект должен соответствовать установленным требованиям по надежности - совокупности количественных и качественных требований к безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, выполнение которых обеспечивает эксплуатацию объекта с заданными показателями эффективности, безопасности, экологичности, живучести и других составляющих качества, зависящими от надежности, или возможность применения данного изделия в качестве составной части другого изделия с заданным уровнем надежности

Нормируемый показатель надежности - показатель, который прямо или косвенно входит в общую оценку функционирования объекта в виде некоторой функции полезности или критерия эффективности, он характеризует количественные показатели надежности с учетом степени и характера их влияния на выполнение возложенных на объект функций.

Нормативное значение показателя надежности - значение показателя надежности, установленное в результате задания требований по надежности или нормирования надежности и внесенное в нормативно-техническую документацию.

Процедура установления номенклатуры и количественных значений показателей надежности, а также требований к точности и достоверности определения показателей исходя из требований по надежности объекта в целом называется нормированием надежности

При выборе нормируемых показателей надежности необходимо придерживаться следующих рекомендаций :

- общее число показателей должно быть минимальным, но они должны характеризовать все этапы эксплуатации объекта;
- единичные показатели предпочтительнее сложных комплексных;
- показатели надежности должны иметь однозначное толкование и простой физический смысл;
- показатели надежности должны допускать возможность проведения подтверждающих (проверочных) оценок на этапе проектирования;
- показатели надежности должны допускать возможность статистической оценки при испытаниях или по результатам эксплуатации;
- показатели надежности должны (по возможности) задаваться количественно.

## ВЫБОР НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Показатели надежности	Восстанавливаемые		
	вне процесса применения	в процессе применения	
		перерывы допускаются	перерывы не допускаются
Интервальные	$p_{ср}(t, t+\Delta t), p_{ср}(t_1, t_2)$	—	$p_{ср}(t_1, t_2)$
Мгновенные	$\omega(t)$	$K_{ог}(t)$	$\omega(t)$
Числовые	$t_{ср}, \omega_{ср}$	$t_{ср}, t_в, K_г$	$t_{ср}, \omega_{ср}$

В таблице приняты следующие обозначения:  $t_{ср}$ - средняя наработка до отказа,  $t_p$ - средний ресурс,  $t_в$ - среднее время восстановления,  $p(t)$ ,  $p(t_1, t_2)$ ,  $p_{ср}(t+\Delta t)$ - вероятность безотказной работы за время или наработку  $t$ , в интервале от  $t_1$  до  $t_2$ , на отрезке  $\Delta t$ ,  $\omega(t)$ - параметр потока отказов,  $K_r$ - коэффициент готовности,  $K_{ог}$ - коэффициент оперативной готовности.

## НОРМИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ [27]

Тип объекта	Показатели надежности, учитывающие требования безопасности
1. С компенсацией последствий отказов	$p(t, t+\Delta t)$
2. С допустимыми остановками	$p(t, t+\Delta t), K_z, p_a$
3. С аварийными отказами	$p(t, t+\Delta t)$
4. Без компенсации последствий отказов	$p(t)$

Номенклатура нормируемых показателей надежности для многих видов технических объектов приведена в государственных и отраслевых стандартах, технических условиях и других нормативно-технических документах. Например, в ГОСТ 4.113-84 в качестве основных показателей для химического оборудования установлены наработка на отказ, установленный ресурс до капитального ремонта и установленный срок службы.