

# Лекция 2

# КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ

# Классификация и причины возникновения отказов

Основным явлением, изучаемым в теории надежности, является отказ. Отказ объекта можно представить как постепенный или внезапный выход его состояния за пределы области работоспособности. Состояние объекта характеризуется параметрами функционирования, определяющими его работоспособность. Так как определяющие параметры являются функциями времени, то и работоспособность объекта также изменяется во времени.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Характер и скорость изменения определяющих параметров технического объекта, как правило, определяется большим количеством внешних и внутренних факторов. Многообразие объектов по назначению, конструктивным и технологическим параметрам, характеру протекающих в них процессов, внешних и внутренних воздействий и т.д. привело к необходимости классификации отказов по нескольким признакам.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Признак деления	Виды отказов
Характер изменения параметра	внезапный, постепенный
Связь с другими отказами	независимый, зависимый
Возможность последующего использования	полный, частичный
Характер устранения отказа	устойчивый, самоустраняющийся, перемежающийся, сбой

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Признак деления	Виды отказов
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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

По характеру изменения параметров объекта до момента возникновения отказы делятся на внезапные и постепенные. *Внезапные отказы* характеризуются скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров, *постепенные* - постепенным изменением параметров. При внезапных отказах обычно отсутствуют видимые признаки их приближения, момент же наступления постепенного отказа может прогнозироваться на основе анализа характера изменения параметров объекта или его элементов.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Поэтому внезапные отказы считаются случайными событиями, вызванными неконтролируемыми изменениями параметров элемента. Постепенные отказы обычно являются следствием процессов износа и старения элементов. Деление отказов на внезапные и постепенные относительно, поскольку основано на возможностях контроля и измерения параметров и при более полном изучении процессов, происходящих в элементах, и увеличении числа контролируемых параметров некоторые внезапные отказы могут оказаться постепенными.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

По степени изменения параметров объекта отказы делятся на отказы функционирования и параметрические отказы. *Отказы функционирования* приводят к невозможности выполнения объектом своих функций (например, насос не подает топливо, двигатель не запускается, редуктор не передает движения и т.д.).

*Параметрические отказы* приводят к выходу основных характеристик объекта за допустимые пределы (например, снижение подачи топлива насосом, уменьшение мощности двигателя).

# Классификация и причины возникновения

## отказов

### Классификация отказов

По наличию причинно-следственной взаимосвязи между отказами отказы делятся на независимые и зависимые. *Независимые отказы* не обусловлены отказами других объектов или элементов, *зависимые* являются следствием отказов других объектов или элементов. В более широком смысле отказы являются зависимыми, если при появлении одних из них вероятность появления других изменяется, и независимыми - если вероятность их появления не зависит от других отказов. Для выделения отказов-причин и отказов-следствий иногда первые называют *первичными*, а вторые - *вторичными* или *результатирующими*.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

По устойчивости неработоспособного состояния и возможности устранения отказы делятся на устойчивые (окончательные) и самоустраняющиеся. *Устойчивый отказ* устраняется только путем восстановления работоспособного состояния объекта, *самоустраняющийся* ликвидируется без внешнего вмешательства. *Сбой* - однократно возникающий самоустраняющийся отказ, *систематический отказ* - многократно возникающий сбой, *перемежающийся отказ* - многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

По возможности использования объекта после возникновения отказа отказы делятся на *полные* и *частичные*, по значимости - на *критические*, *существенные* и *несущественные*, по характеру обнаруживаемости - на *очевидные (явные)* и *скрытые (неявные)*, по происхождению - на *естественные* и *искусственные*, по возможности восстановления - на *устранимые* и *неустранимые*.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

По причинам возникновения отказы делятся на конструкционные (проектно-конструкционные), производственные (производственно-изготовительные), эксплуатационные (эксплуатационно-технологические) и деградационные (износосовые). *Конструкционные отказы* возникают в результате несовершенства или нарушения установленных правил и норм конструирования объекта, *производственные* - в результате несовершенства или нарушения процесса изготовления или ремонта, *эксплуатационные* - в результате нарушения правил и условий эксплуатации, *деградационные* - в результате необратимых процессов или явлений в объекте.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

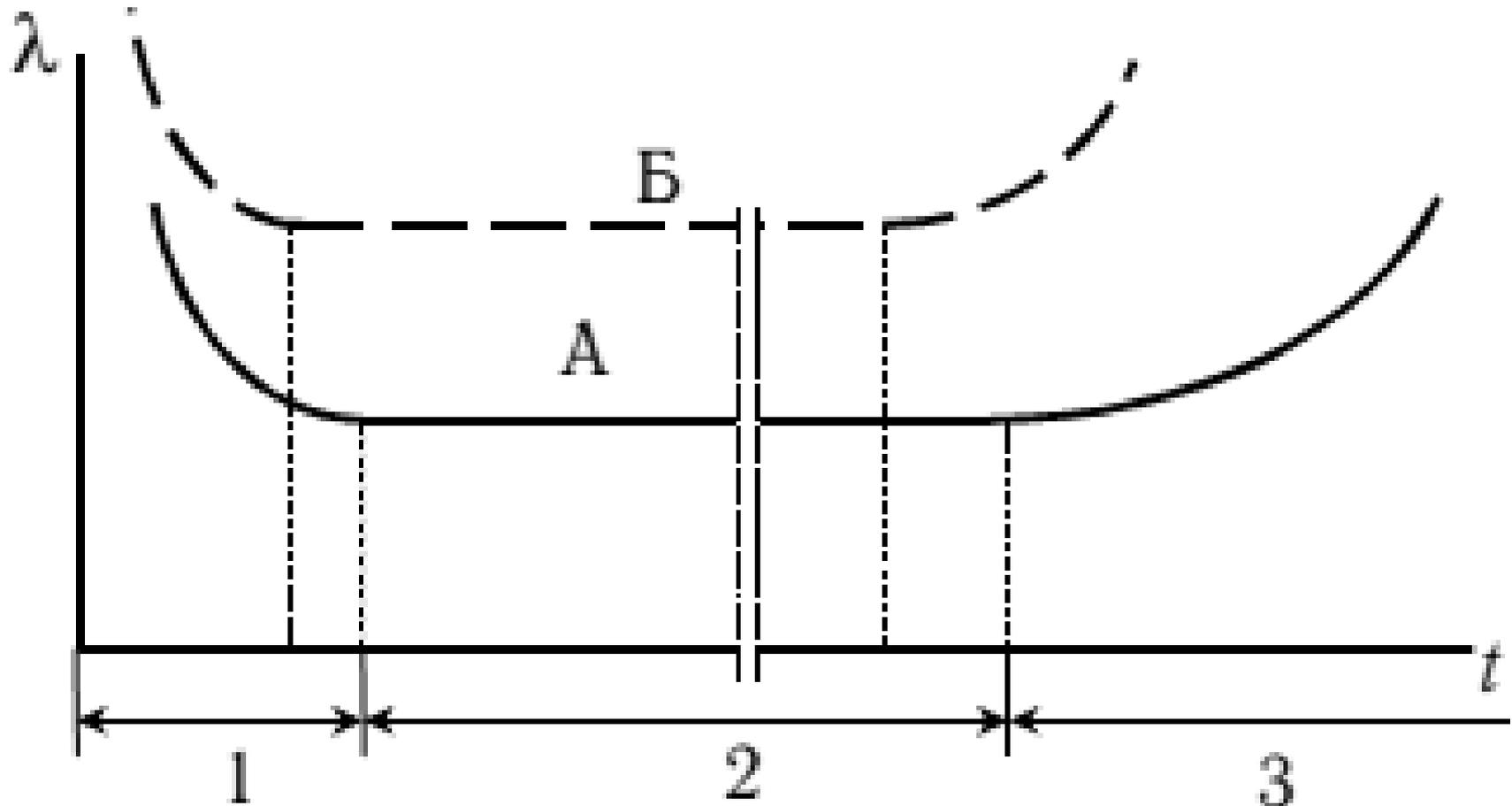
### Классификация отказов

Классификация отказов по времени возникновения основана на анализе характера изменения интенсивности отказов объекта в процессе его эксплуатации и соответствующей модели изменения надежности по времени. Согласно этой модели период работы 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов



# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Значения интенсивности отказов в каждом из этих периодов и продолжительность периодов зависят от интенсивности нагрузок: при повышенных режимах интенсивность отказов увеличивается и границы участков смещаются в сторону меньших значений наработки.

В соответствии с характером изменения значений интенсивности  $\lambda(t)$  отказы делятся на *прирабочные*, *внезапные* и *износосвые*. Кроме того, для объектов, которые проходят испытания и обкатку на заводе-изготовителе, *отказы при испытаниях* иногда выделяются в отдельную группу.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Изменения параметров и характеристик технических объектов во времени, обусловленные происходящими в них физико-химическими процессами, являются наиболее общей причиной отказов. Возникновение отказа представляет собой, как правило, некоторый кинетический процесс, внутренний механизм и скорость которого определяются структурой и свойствами материала, напряжениями, вызванными нагрузкой, температурой, давлением и другими параметрами.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Вследствие этого классификация отказов технических объектов по их физической природе может представлять собой *классификацию физико-химических процессов*, непосредственно или косвенно влияющих на работоспособность элементов и возникновение отказов, а также классификацию условий протекания процессов. Такая классификация может быть проведена по типу (классу) материала элемента, по месту протекания процессов, влияющих на работоспособность объекта, по виду энергии, определяющей характер процесса, по типу эксплуатационного воздействия, по характеру (внутреннему механизму) процесса.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Для анализа и прогнозирования отказов важно определить признаки, по которым устанавливается факт нарушения работоспособного состояния, т.е. *критерии отказа*. Для внезапных отказов роль критерия отказа играет, как правило, отсутствие одной или нескольких функций, для постепенных отказов - выход одного или нескольких основных (определяющих) параметров за пределы допустимых значений (за пределы поля допуска).

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Если объект и его работоспособность и надежность характеризуются несколькими основными параметрами  $X_i$  (т.е. определяющий параметр является векторной величиной и имеет несколько составляющих:  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ ), то анализ и расчет надежности должен производиться по всем параметрам. Ресурс объекта при этом будет определяться не только запасами надежности по всем параметрам, но и скоростью их изменения во времени.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Классификация отказов

Поскольку для каждого из параметров  $X_i$  законы изменения во времени могут быть различными, то в процессе эксплуатации в каждый момент надежность может лимитироваться то одним, то другим из них. Если ввести понятие коэффициента запаса надежности по каждому из параметров (аналогичного коэффициенту запаса прочности)  $K_i(t) = X_{imax} / X_i(t)$  (или  $K_i(t) = X_i(t) / X_{imin}$ , если параметр ограничен снизу), то ресурс элемента  $T$  будет определяться временем достижения любым определяющим параметром значения, при котором  $K_i = 1$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Анализ причин возникновения отказов

Нагрузки, испытываемые техническими объектами и их составными частями, можно разделить на механические, электрические, магнитные, электромагнитные, радиационные, акустические, гидравлические, пневматические, тепловые, климатические и химические. Для каждого класса объектов типичны определенные виды нагрузок (для деталей машин - механические и тепловые, для электрических элементов - электрические, электромагнитные и тепловые).

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

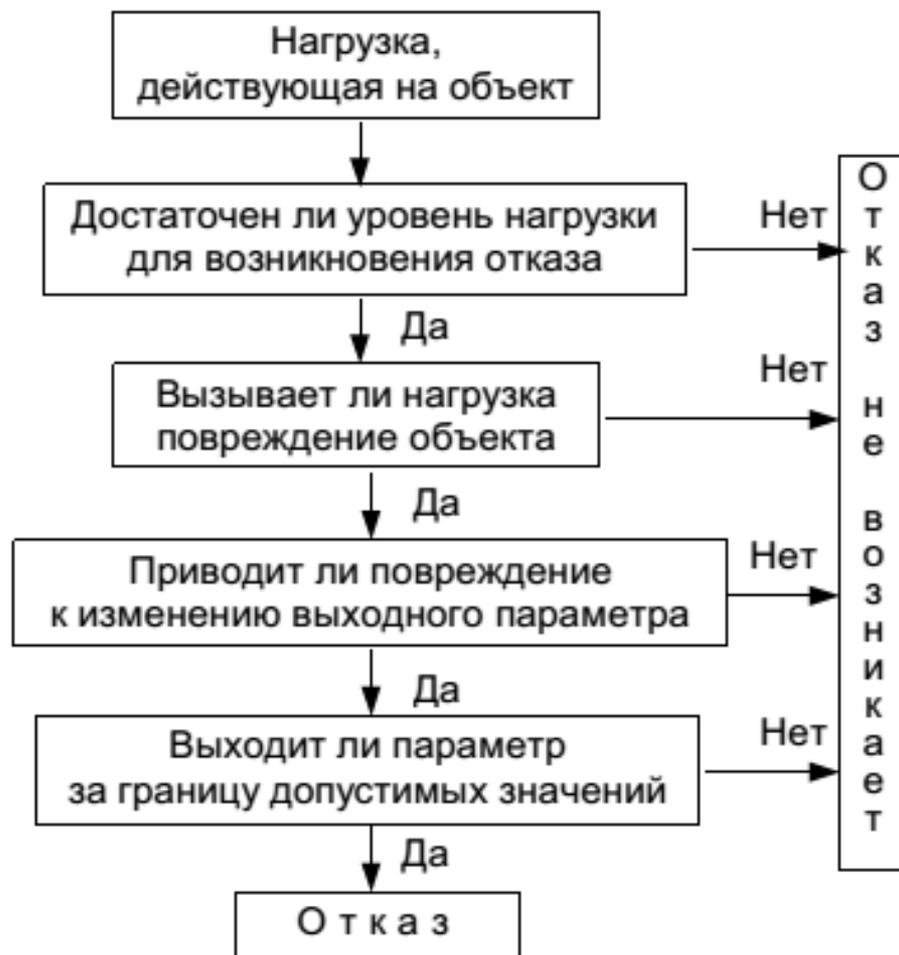
### Анализ причин возникновения отказов

Но, как правило, на элементы технических систем воздействуют одновременно несколько видов нагрузок, тем более что некоторые из них взаимообусловлены: так, тепловые нагрузки часто являются следствием электрических или механических. Поэтому для повышения надежности, разработки методов предотвращения или снижения числа отказов проектируемого и изготавливаемого оборудования, установления обоснованной системы планово-предупредительных ремонтов и работ по обслуживанию для каждого вида отказов необходим подробный анализ причин их возникновения.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Анализ причин возникновения отказов

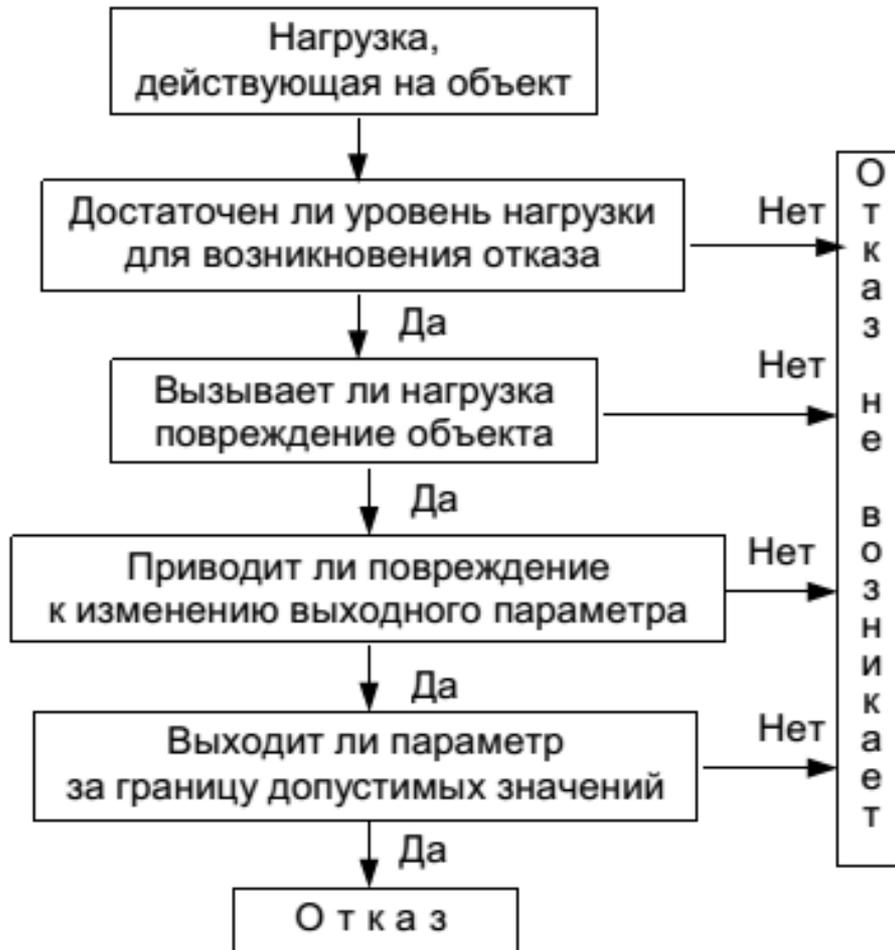


Возникновение отказа - конечный результат ряда последовательных этапов, которые независимо от вида отказа, имеют общие черты. На рисунке слева приведена блок-схема возникновения отказа при превышении уровня допустимых значений нагрузки (*внезапные отказы*)

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Анализ причин возникновения отказов



или при выходе определяющих параметров за пределы допустимых значений (*параметрические отказы*). В зависимости от стадии «жизненного цикла» и глубины конструкторской проработки анализ отказов проводится с использованием различных источников информации и методов.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Анализ причин возникновения отказов

Анализ блок-схемы возникновения отказов показывает, что отказ технического объекта (элемента или системы) может быть предотвращен или отсрочен при выполнении следующих условий:

- Уровень нагрузки (или энергии) не превосходит предельных значений, при которых возникает отказ.
- Действующая нагрузка (или энергия) не приводит к возникновению нежелательных процессов (в частности старения), которые могут привести к отказу.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Анализ причин возникновения отказов

- Протекающие в объекте процессы не приводят к повреждениям, определяющим его безотказность.
- Возникающие повреждения не приводят к выходу определяющих за пределы допустимых значений.

Для обеспечения каждого из этих условий применяется широкий ассортимент методов и средств, направленных на устранение или замедление нежелательных процессов и явлений, приводящих к отказам.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

При определении надежности объектов используются две формы представления показателей - вероятностная и статистическая. Вероятностная форма удобнее для аналитических расчетов, статистическая - при экспериментальных исследованиях и испытаниях. Кроме того, одни показатели надежности лучше интерпретируются в вероятностных терминах, другие - в статистических. С ростом числа испытываемых объектов или числа испытаний статистические показатели в пределе сходятся к вероятностным. Поэтому для характеристики основных показателей надежности удобнее пользоваться вероятностными формами, а статистические использовать для практических расчетов при экспериментальных исследованиях.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

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

### Показатели безотказности

Сложность и часто неопределенность процессов, происходящих в объекте и его элементах, зависимость явлений от большого числа причин (первоначального состояния, особенностей хранения, транспортировки и эксплуатации, технического обслуживания и ремонтов, квалификации обслуживающего персонала и др.) делают задачу точного определения момента отказа объекта практически неразрешимой. Поэтому его безотказность характеризуется вероятностью того или иного состояния.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### 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  $p(\infty) = 0$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Статистическая оценка вероятности безотказной работы может быть получена в результате испытаний на надежность достаточно больших выборок. Способ вычисления зависит от плана испытаний. Для простейшего испытания  $N$  объектов до отказа последнего объекта без замен и восстановлений статистическая оценка

$$p^*(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(t)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t)}{N(0)}, \quad (1.1)$$

где  $N(0)$  и  $N(t)$  - число работоспособных объектов при  $t=0$  и в момент времени или при наработке  $t$ ,  $n(t)$  - число отказавших объектов за время или наработку  $t$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

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:

$$p(t_1, t_2) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)}. \quad (1.2)$$

По аналогии с выражением (1.1) статистическая оценка:

$$p^*(t_1, t_2) = \frac{N(t_2)}{N(t_1)} = \frac{N(0) - n(t_2)}{N(0) - n(t_1)}. \quad (1.3)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

*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:

$$p(t) + q(t) = 1. \quad (1.4)$$

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

Время работы объекта до отказа в теории надежности, как правило, считается случайной величиной.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

*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:

$$p(t) + q(t) = 1. \quad (1.4)$$

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Время работы объекта до отказа в теории надежности, как правило, считается случайной величиной.

Вероятность отказа совпадает с интегральной функцией распределения наработки до отказа  $q(t) = F(t)$ .

Статистическая оценка вероятности отказа за время или наработку  $t$

$$q^* = \frac{N(0) - N(t)}{N(0)} = \frac{n(t)}{N(0)}. \quad (1.5)$$

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

*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:

$$t_{cp} = M(t) = \int_0^{\infty} [1 - q(t)] dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt = \int_0^{\infty} p(t) dt. \quad (1.6)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Статистическая оценка средней наработки до отказа

$$t_{\text{ср}}^* = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i, \quad (1.7)$$

где  $t_i$  - наработка до отказа  $i$ -го объекта.

*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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

*Средняя наработка на отказ  $t_0$*  - 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:

$$t_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1.8)$$

где  $n$  - число отказов,  $t_i$  - наработка от окончания  $(i-1)$ -го восстановления до  $i$ -го отказа:

$$t_i = \int_0^{\infty} [1 - q_i(t)] dt = \int_0^{\infty} [1 - F_i(t)] dt = \int_0^{\infty} p_i(t) dt, \quad (1.9)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

где  $q_i(t)$  и  $p_i(t)$  - вероятности отказа и безотказной работы объекта от окончания  $(i - 1)$ -го восстановления до  $i$ -го отказа,  $F_i(t)$  - интегральная функция распределения вероятности наработки между  $(i - 1)$  и  $i$ -м отказами.

Статистическая оценка средней наработки на отказ

$$t_0^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i. \quad (1.10)$$

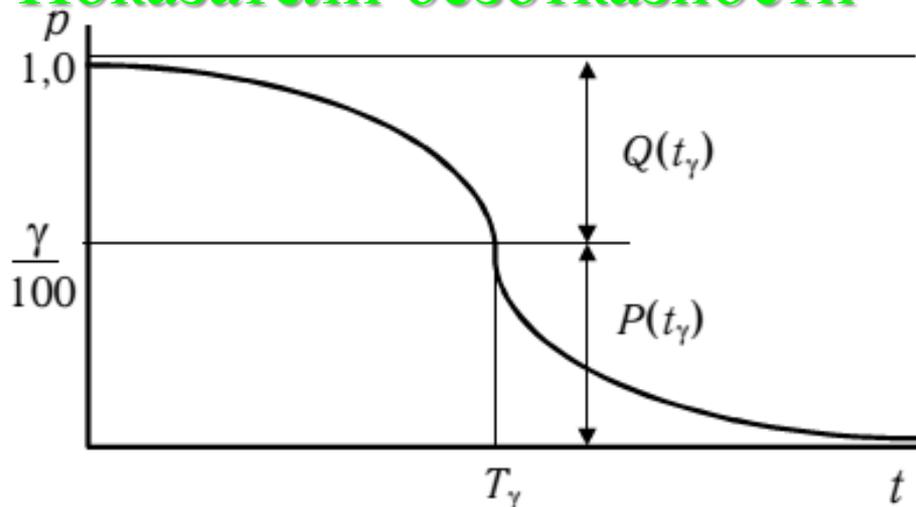
*Гамма-процентная наработка до отказа (на отказ)  $t_g$  - наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $g$  (%).*

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности



$p(t) = g/100 \%$ . При  $g = 100 \%$  гамма-процентная наработка называется *установленной наработкой*, при  $g = 50 \%$  - *медианной*.

В качестве меры продолжительности безотказной работы может быть выбран любой неубывающий параметр, характеризующий объем эксплуатации.

Значение гамма-процентной наработки можно определить из графика вероятности безотказной работы или уравнений (1.6) и (1.9) при

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

В соответствии с этим все виды наработок могут выражаться в единицах времени или в единицах объема работы объекта (например, единицах количества продукции: для автомобилей естественной единицей измерения может служить пробег в километрах, для прокатных станов - масса прокатанного металла в тоннах и т.д.). Однако с точки зрения теории и общей методологии объективно лучшими и универсальными единицами измерения наработки являются единицы времени.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

*Интенсивность отказов  $\lambda(t)$*  - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}, \quad (1.11)$$

где  $f(t)$  - плотность распределения наработки до отказа (частота отказов):

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dp(t)}{dt}. \quad (1.12)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Очевидно,

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{1 - q(t)} = \\ &= -\frac{1}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt} = -[\ln p(t)].\end{aligned}\quad (1.13)$$

Тогда вероятность безотказной работы

$$p(t) = 1 - q(t) = \exp \left[ -\int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (1.14)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Уравнение (1.14) - одно из основных в теории надежности. Из него следует, что вероятность безотказной работы представляет собой экспоненциальную монотонно убывающую функцию, которая в интервале времени или наработки  $(0, \infty)$  изменяется от 1 до 0. Соответственно, вероятность отказа в том же интервале изменяется от 0 до 1.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Статистические оценки интенсивности отказов и плотности распределения наработки

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{N(t)\Delta t} = \frac{n(t, t+\Delta t)}{N(t)\Delta t}. \quad (1.15)$$

$$f^*(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(0)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{N(0)\Delta t} = \frac{n(t, t+\Delta t)}{N(0)\Delta t}. \quad (1.16)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

Из сравнения формул (1.15) и (1.16) следует, что интенсивность отказов и плотность распределения есть число отказов в единицу времени, отнесенное к числу работоспособных объектов (формула (1.15)) или к общему числу объектов (формула (1.16)).

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

$$\omega(t) = \frac{dn(t)}{dt}, \quad (1.17)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

где  $n(t)$  - число отказов восстанавливаемого объекта за наработку  $t$ . Статистическая оценка параметра потока отказов

$$\omega^* = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{\Delta t}. \quad (1.18)$$

В теории надежности при определении общих закономерностей для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов интенсивность отказов  $\lambda(t)$  и параметр потока отказов  $\omega(t)$  не различаются, чаще всего используется интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели безотказности

Из формул (1.11), (1.12) и (1.17) следует, что интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , плотность распределения наработки  $f(t)$  и параметр потока отказов  $\omega(t)$  выражаются в единицах, обратных единицам наработки.

Для современных технических объектов средние наработки на отказ составляют тысячи и миллионы часов, что соответствует интенсивности отказов  $10^{-3}-10^{-6} \text{ ч}^{-1}$  и менее. Поэтому если наработка объекта измеряется в часах, то иногда, особенно в зарубежной литературе, для упрощения записей в качестве единицы измерения интенсивности отказов используется внесистемная единица  $1 \text{ фит} = 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели безотказности

Функциональные связи между основными показателями безотказности сведены в таблицу.

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### 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 списания) ресурсы.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели долговечности

*Средний ресурс* – математическое ожидание технического ресурса. *Гамма-процентный ресурс* - наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью  $\gamma$  (%). При  $\gamma = 100$  % гамма-процентный ресурс называется *установленным ресурсом*, при  $\gamma = 50$  % - *медианным*. *Назначенный ресурс* – суммарная наработка, при достижении которой применение объекта должно быть прекращено. Кроме того, предприятие-изготовитель или ремонтное предприятие могут установить *гарантийный ресурс*, в течение которого гарантируется выполнение установленных требований к объекту (при соблюдении правил его эксплуатации, хранения и транспортировки).

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели долговечности

Все виды ресурса измеряются в единицах наработки, чаще всего – в единицах времени.

*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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Показатели долговечности

*Средний срок службы  $T_{сл}$*  – математическое ожидание срока службы. *Гамма-процентный срок службы  $T_\gamma$*  – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, в течение которой он не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$  (%). При  $\gamma = 100\%$  гамма-процентный срок службы называется *установленным сроком службы*, при  $\gamma = 50\%$  – *медианным*. *Назначенный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение его по назначению должно быть прекращено.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели долговечности

Целью установления назначенного срока или назначенного ресурса является обеспечение заблаговременного прекращения применения объекта исходя из требований безопасности или по экономическим соображениям. После достижения назначенного срока службы или выработки назначенного ресурса объект может быть списан, направлен в ремонт, передан для использования не по назначению, законсервирован для хранения или может быть принято решение о продолжении эксплуатации.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели долговечности

Предприятие-изготовитель или ремонтное предприятие могут установить *гарантийный срок службы* (эксплуатации), в течение которого гарантируется выполнение установленных требований к объекту (при соблюдении правил его эксплуатации, хранения и транспортировки).

Все сроки службы измеряются в единицах календарного времени.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### 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  $t$

$$p_v^*(t) = \frac{n(t)}{n(0)}, \quad (1.19)$$

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели ремонтпригодности

Вероятность восстановления – безразмерная величина.

*Время восстановления работоспособного состояния  $t_v$*  – продолжительность восстановления объекта. *Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления:

$$t_v = \int_0^{\infty} [1 - p_v(t)] dt. \quad (1.20)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели ремонтпригодности

Статистическая оценка среднего времени восстановления

$$t_{\text{в}}^* = \frac{1}{n(0)} = \sum_{i=1}^{n(0)} t_{\text{в}i}, \quad (1.21)$$

*Интенсивность восстановления работоспособного*

*состояния  $\mu(t)$*  – условная плотность вероятности

восстановления объекта, определяемая для

рассматриваемого момента времени при условии, что до

этого момента восстановление не произошло:

$$\mu(t) = \frac{f(t_{\text{в}})}{1 - p_{\text{в}}(t)}, \quad (1.22)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели ремонтпригодности

где  $f(t_B) = \frac{dp_B(t)}{dt}$  – плотность распределения времени восстановления. Тогда вероятность восстановления за время  $t$

$$p_B(t) = 1 - \exp \left[ - \int_0^t \mu(t) dt \right]. \quad (1.23)$$

Статистические оценки интенсивности восстановления и плотности распределения времени восстановления

$$\mu^* = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t)\Delta t}, \quad f^*(t_{\%00}) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(0)\Delta t}. \quad (1.24)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели ремонтпригодности

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

Тогда

$$p_v = 1 - \exp(-mt). \quad (1.25)$$

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Показатели 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

При оценке эксплуатационной надежности технических систем широко используются комплексные показатели, характеризующие одновременно несколько свойств надежности (безотказность, ремонтпригодность, долговечность). Наиболее распространенными комплексными показателями являются коэффициенты готовности, оперативной готовности и технического использования.

*Коэффициент готовности  $K_2$*  – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

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:

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

$$K_{\Gamma} = \frac{t}{t + t_{\text{в}}}, \quad (1.26)$$

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

*Коэффициент оперативной готовности  $K_{\text{ог}}$*  - 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

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. Коэффициент оперативной готовности

$$K_{ог} = K_r \times p(t_0, t). \quad (1.27)$$

Здесь  $t_0$  – момент, когда возникает необходимость применения объекта;  $t$  – момент, когда его применение прекращается.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

*Коэффициент технического использования*  $K_{\text{ТИ}}$  — 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:

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{t}{t + t_{\text{В}} + t_{\text{ТО}}}. \quad (1.28)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

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  $K_{\text{п}}$*  – 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

*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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Комплексные показатели надежности

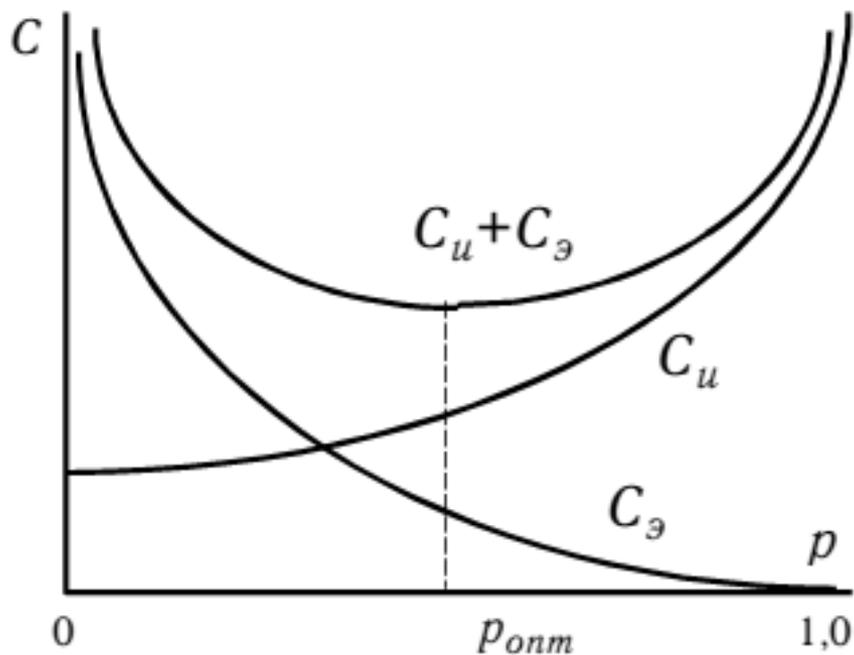
*Показатель эффективности* – показатель качества, характеризующий выполнение объектом его функций, он может выражаться в единицах объема произведенной продукции или ее качества, единицах наработки. При отсутствии отказов коэффициент сохранения эффективности равен единице, в реальных случаях он определяется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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Зависимость капитальных  $C_u$  и эксплуатационных  $C_э$  затрат от вероятности безотказной работы

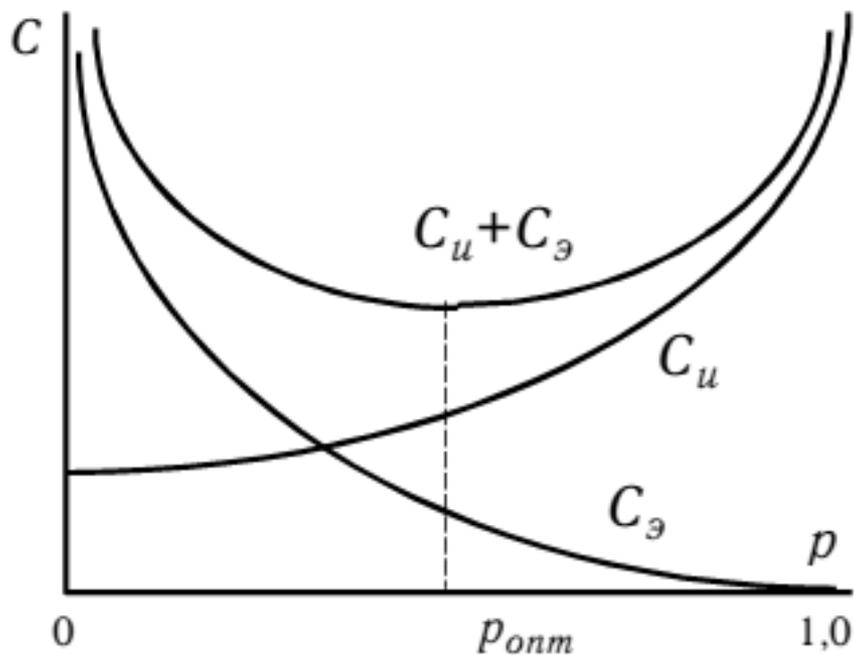
Надежность технических объектов существенно сказывается на экономических показателях их эксплуатации: повышение безотказности и долговечности с одной стороны приводит к увеличению материальных затрат, затрат на проектирование и изготовление, а с другой — к снижению эксплуатационных издержек.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Зависимость капитальных  $C_u$  и эксплуатационных  $C_э$  затрат от вероятности безотказной работы

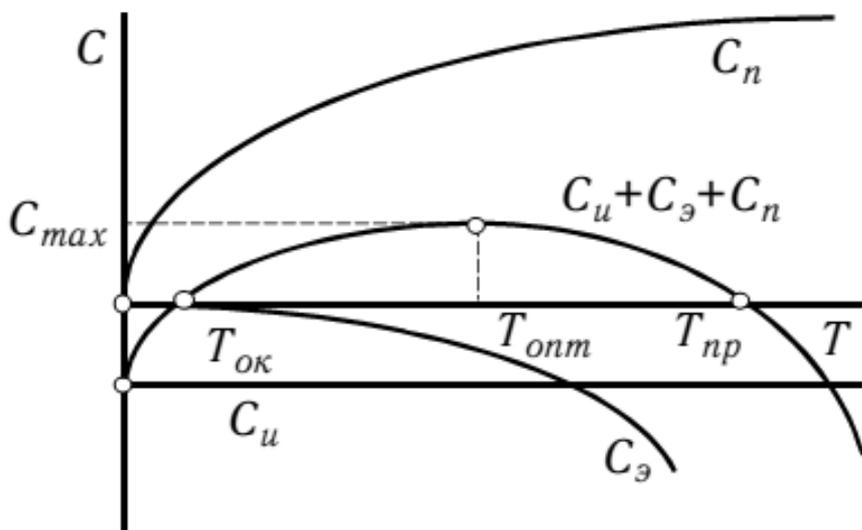
Понятно, что существует оптимальный уровень надежности с минимальными суммарными затратами на изготовление и эксплуатацию объекта. Положение минимума зависит от вида объекта (так, для общепромышленных измерительных устройств он приходится на уровень вероятности безотказной работы 0,8-0,9).

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Изменение затрат на изготовление  $C_u$ , эксплуатационных затрат  $C_э$  и прибыли  $C_n$  от времени (срока службы)

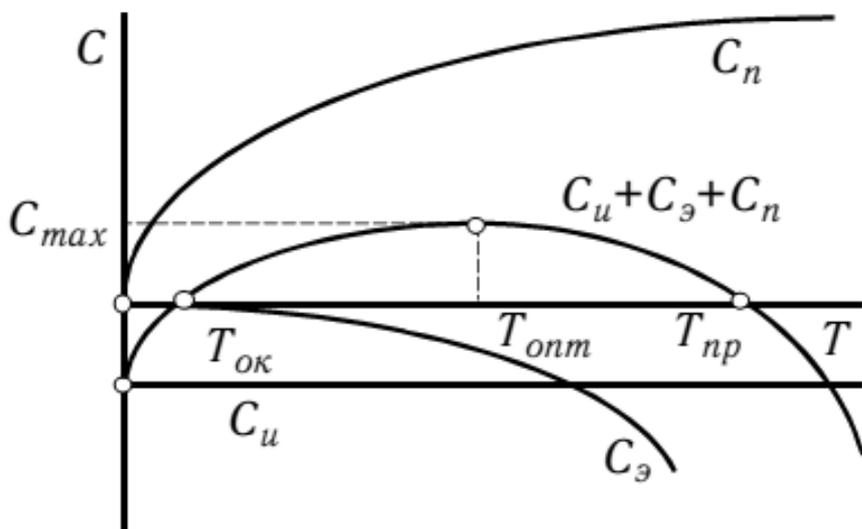
Экономический эффект от эксплуатации объекта изменяется во времени под влиянием трех факторов: затрат на изготовление  $C_u$  (включая проектирование, монтаж, отладку и т.д.), эксплуатационных затрат  $C_э$  (включая техническое обслуживание, ремонт, профилактические мероприятия и т.д.) и прибыли  $C_n$  — полезного эффекта, получаемого от эксплуатации.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Изменение затрат на изготовление  $C_u$ , эксплуатационных затрат  $C_э$  и прибыли  $C_n$  от времени (срока службы)

Первые две величины снижают общий баланс эффективности эксплуатации, третья — увеличивает. Затраты на изготовление не изменяются от момента начала эксплуатации до списания.

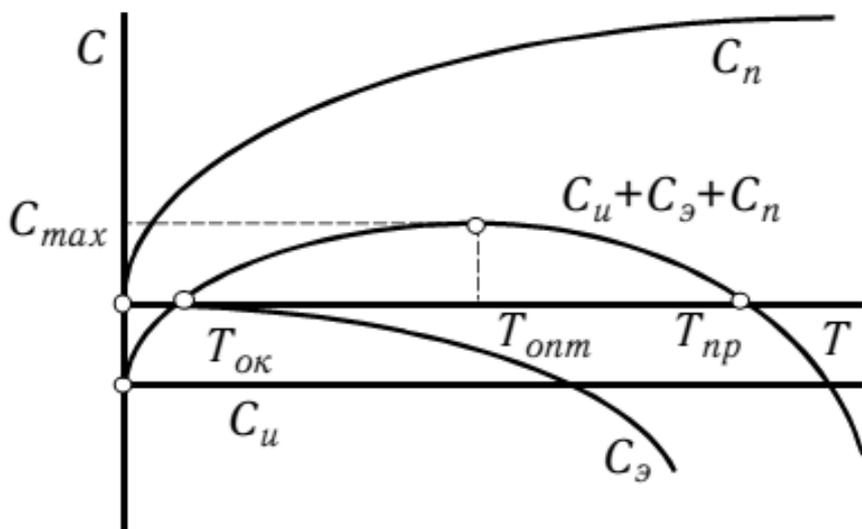
Эксплуатационные затраты имеют тенденцию к все более быстрому росту из-за процессов старения и износа.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Изменение затрат на изготовление  $C_u$ , эксплуатационных затрат  $C_э$  и прибыли  $C_n$  от времени (срока службы)

Изменение прибыли во времени, наоборот, имеет тенденцию к уменьшению, поскольку все более частые простои при ремонте и техническом обслуживании снижают производительность объекта.

Поэтому кривая суммарной эффективности

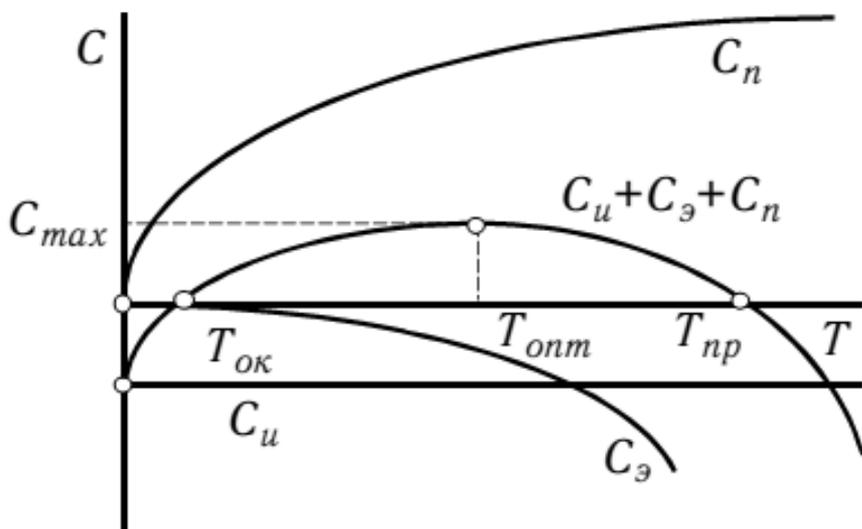
$$C = C_u + C_э + C_n \quad (1.29)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Экономические показатели надежности



Изменение затрат на изготовление  $C_u$ , эксплуатационных затрат  $C_э$  и прибыли  $C_n$  от времени (срока службы)

имеет максимум  $C_{max}$  и дважды пересекает ось времени. Продолжительность экономически целесообразного срока эксплуатации лежит между этими двумя точками: сроком окупаемости  $T_{ок}$  и предельным  $T_{пр}$ , после которого эксплуатация объекта убыточна.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Экономические показатели надежности

Таким образом, показатели надежности связаны с экономическими показателями. Так как экономические показатели характеризуют сразу несколько свойств надежности, то их можно считать комплексными.

Экономическим критерием надежности могут служить *удельные затраты* на изготовление и эксплуатацию:

$$K_{\text{э}} = \frac{C_{\text{и}} + C_{\text{э}}}{T_{\text{э}}}, \quad (1.30)$$

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Экономические показатели надежности

*Коэффициент эксплуатационных издержек  $K_{из}$*

характеризует соотношение между стоимостью изготовления и эксплуатации изделия:

$$K_{из} = \frac{C_{и}}{C_{и} + C_{э}}. \quad (1.31)$$

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

$$C_{и} = C_{к} + C_{н}. \quad 1.32)$$

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Экономические показатели надежности

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

$$C_H = C_{H0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^\alpha, \quad (1.33)$$

где  $C_{H0}$  - 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  $\alpha \approx 0,5 \div 1,5$ .

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Экономические показатели надежности

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### 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*.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

*Требования по надежности* – совокупность 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

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*.

Номенклатура нормируемых показателей надежности устанавливается для каждого объекта в зависимости от его вида и назначения, с учетом особенностей использования, последствий отказов, принятой системы технического обслуживания и ремонта. Для разных

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели 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;

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- 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.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

Показатели надежности, включаемые в проектно-конструкторскую документацию объекта, должны соответствовать режиму его использования и конструкции, при этом должны также учитываться возможные последствия потенциальных отказов и предусмотрена возможность проверки показателей при испытаниях и эксплуатации.

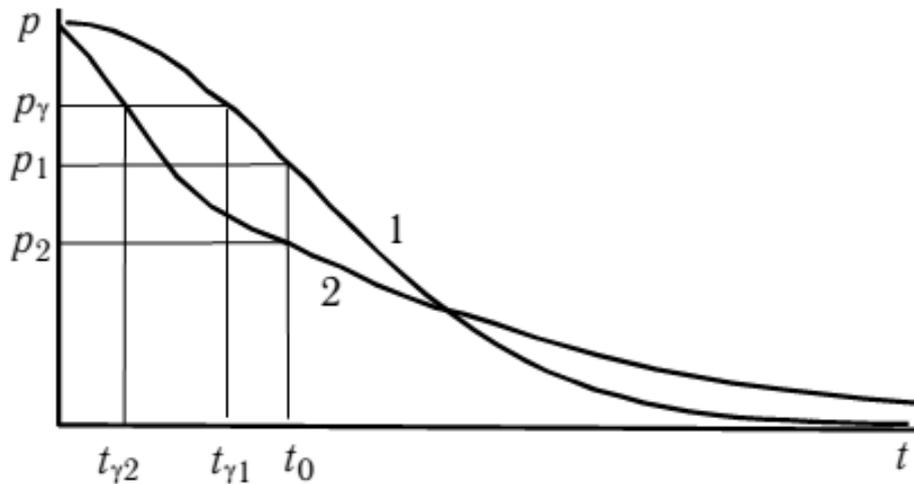
Правильный выбор основных показателей надежности часто определяет общую оценку качества объекта.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Нормируемые показатели надежности



На рисунке приведены графики изменения вероятности безотказной работы двух однотипных объектов. Если в качестве основного показателя надежности принять вероятность безотказной работы объекта в течение заданной наработки  $t_0$  (или ресурса) или  $\gamma$ -процентную наработку, то более надежным будет считаться первый объект, если в качестве показателя принять среднюю наработку до отказа, то предпочтительнее выглядит второй.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

При выборе нормируемых показателей надежности необходимо исходить из назначения объекта и условий его использования. При этом все объекты можно разделить на три группы: объекты, предназначенные для работы в системах, эффективность функционирования которых может быть оценена экономическими критериями; объекты, функционирование которых связано с обеспечением безопасности; объекты, для которых нельзя заранее определить условия их использования.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

Для объектов первой группы выбор показателей надежности определяется режимом их применения. Поэтому на первом этапе необходимо конкретизировать режим применения, отнести объект к одному из классов: невозстанавливаемые, восстанавливаемые вне процесса применения, восстанавливаемые в процессе применения с допустимыми перерывами в работе и с недопустимыми перерывами в работе. На втором этапе выбирается тип показателей надежности:

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- интервальные, относящиеся к заданному интервалу наработки или времени;
- мгновенные, соответствующие заданному значению времени или наработки;
- числовые, не связанные с расположением заданного интервала или момента времени (или наработки).

При этом учитываются и экономические соображения: тип показателя экономической эффективности и его зависимость от режима применения.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Нормируемые показатели надежности

#### ВЫБОР НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Показатели надежности	Восстанавливаемые		
	вне процесса применения	в процессе применения	
		перерывы допускаются	перерывы не допускаются
Интервальные	$p_{cp}(t, t+\Delta t), p_{cp}(t_1, t_2)$	—	$p_{cp}(t_1, t_2)$
Мгновенные	$\omega(t)$	$K_{oe}(t)$	$\omega(t)$
Числовые	$t_{cp}, \omega_{cp}$	$t_{cp}, t_{в}, K_2$	$t_{cp}, \omega_{cp}$

В таблице обозначены:  $t_{cp}$  - средняя наработка до отказа,  $t_p$  - средний ресурс,  $t_{в}$  - среднее время восстановления,  $p(t), p(t_1, t_2), p_{cp}(t+Dt)$  - 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,  $K_2$  - коэффициент готовности,  $K_{oe}$  - коэффициент оперативной готовности.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

Если полезный эффект может быть получен только при безотказной работе объекта в течение заданного времени, то обычно приходится выбирать интервальные показатели, в остальных случаях можно ограничиться числовыми. Например, для объектов, восстанавливаемых в процессе применения, у которых допустимы перерывы в работе, в качестве основных показателей надежности часто используются средняя наработка на отказ, среднее время восстановления или их сочетания (например, коэффициент готовности), для объектов, у которых перерывы в работе недопустимы, - вероятность безотказной работы в течение заданного времени.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

При построении моделей режимов применения и выборе нормируемых показателей надежности учитываются также принцип действия и режим работы системы контроля работоспособности объекта, так как при непрерывном или достаточно частом контроле возникающие отказы сразу обнаруживаются и быстро принимаются меры к восстановлению работоспособности.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

### Нормируемые показатели надежности

Для обоснованного выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности из условий безопасности выделяются основные факторы, влияющие на показатели безопасности, с учетом процессов, происходящих после появления отказов.

#### НОРМИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

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

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

Для третьей группы объектов в качестве основных показателей целесообразнее всего назначить любую полную характеристику надежности:

- для невозстанавливаемых объектов - функцию вероятности безотказной работы  $p(t)$  или плотность распределения наработки до отказа  $f(t)$ , или интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ;
- для объектов, восстанавливаемых вне процесса применения - вероятность безотказной работы в течение заданного интервала времени  $p(t_1, t_2)$  или параметр потока отказов  $\omega(t)$ ;

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- для объектов, восстанавливаемых в процессе применения если перерывы в работе допустимы, - коэффициент оперативной готовности  $K_{oe}(t)$ ; для объектов, восстанавливаемых в процессе применения, если перерывы в работе не допускаются, - вероятность безотказной работы в течение интервала времени  $p(t_1, t_2)$ .

Конкретные выражения для определения показателей безотказности зависят от вида законов распределения наработки до отказа.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

Наиболее широкое применение в теории и практике надежности нашли экспоненциальное, нормальное и логарифмически-нормальное распределения, распределение Вейбулла и гамма-распределение. Если известен вид распределения времени безотказной работы или наработки до отказа, рекомендуется задавать следующие показатели надежности:

- при однопараметрическом (экспоненциальном) распределении - интенсивность отказов  $\lambda$ , (или параметр потока отказов  $\omega$ ), среднюю наработку до отказа  $t_{cp}$  (или на отказ  $t_0$ ), вероятность безотказной работы в течение заданного интервала времени  $p(t_1, t_2)$ ;

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- при двухпараметрическом распределении (нормальном, логарифмически нормальном, Вейбулла и др.) - два параметра, характеризующих распределение (например, для нормального распределения - среднюю наработку и дисперсию).

В каждом конкретном случае вопрос об определении номенклатуры нормируемых показателей надежности приходится решать индивидуально, однако для большинства объектов при их использовании в установившемся режиме в качестве основных нормируемых показателей надежности можно использовать один из следующих показателей:

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- интенсивность или параметр потока отказов, среднюю или  $u$ -процентную наработку, вероятность безотказной работы в течение заданного времени, коэффициент готовности, среднее или  $\gamma$ -процентное время восстановления. В сложных случаях можно задавать два и более показателей надежности.

Номенклатура нормируемых показателей надежности для многих видов технических объектов приведена в государственных и отраслевых стандартах, технических условиях и других нормативно-технических документах.

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

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.

В соответствии с ГОСТ 27.003-90 номенклатура показателей надежности выбирается на основе следующих основных классификационных признаков:

- определенность назначения изделия (общего или конкретного назначения);

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- число возможных (учитываемых) состояний по работоспособности при эксплуатации (наличие частично неработоспособных состояний);
- режим применения или функционирования;
- возможные последствия отказов или достижения предельного состояния при применении или хранении и транспортировании;
- возможность восстановления;
- характер процессов, определяющих переход в предельное состояние;

# Классификация и причины возникновения

## ОТКАЗОВ

### Показатели надежности

#### Нормируемые показатели надежности

- возможность и способ восстановления ресурса или срока службы;
- возможность и необходимость технического обслуживания;
- возможность и необходимость контроля перед применением;
- наличие в составе средств вычислительной техники.