



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Надежность технических систем

2018

Дефект – отдельное несоответствие изделия (его элемента) требованиям.

Повреждение – нарушение исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ – событие, состоящее в полной или частичной утрате работоспособности системы.

Процессы старения – процессы необратимого изменения состояния объекта, обусловленного структурными превращениями, химическими изменениями в материале изделия, а также накоплением в элементах повреждений при эксплуатации.

Исправное – соответствует всем требованиям нормативно-технической и/или проектно-конструкторской документации (НТиПКД).

Неисправное – не соответствует хотя бы одному из требований НТиПКД.

Работоспособное – значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТиПКД.

Неработоспособное – значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТиПКД.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна



СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

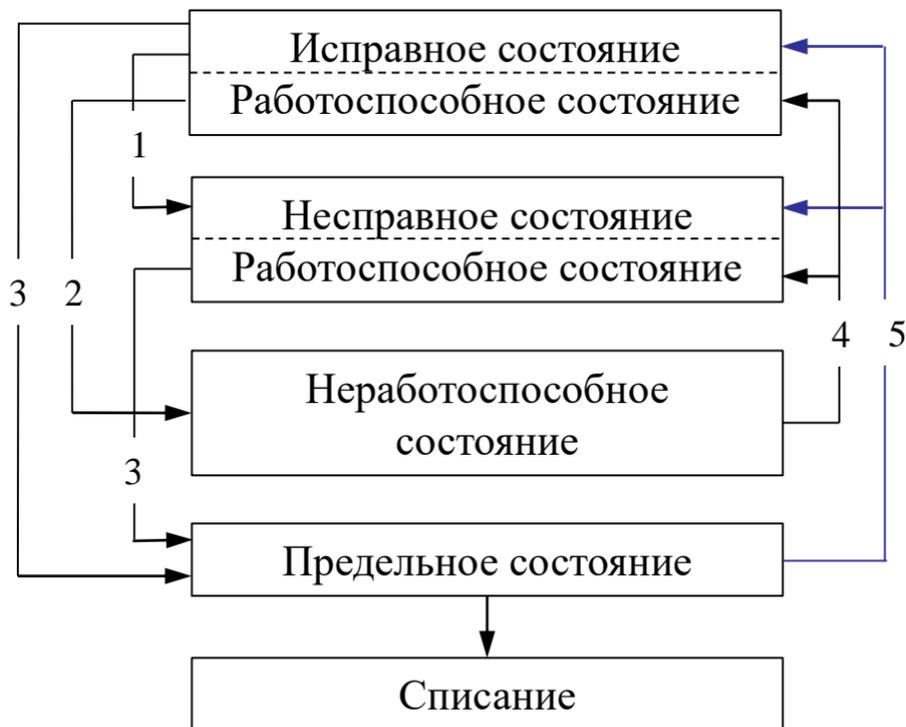


Рис. Схема состояний
событий объектов:
1 – повреждение;
2 – отказ;
3 – переход объекта
в предельное состояние;
4 – восстановление;
5 – ремонт



ТИПЫ ОБЪЕКТОВ





Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в период:

- применения;
- технического обслуживания;
- хранения;
- транспортирования.

Надежность объекта – комплексное свойство

Показатели

Безотказность

... сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени в любом режиме существования.

Долговечность

... сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта.

Ремонто-пригодность

... в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния посредством ТО и ремонта.

Сохраняемость

... непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение хранения, транспортирования и после. ⁷

Функция распределения и плотность вероятности отказа

Время работы до отказа – случайная величина τ :

- при $t=0$ элемент начинает работать;
- при $t=\tau$ происходит его отказ.

В качестве основного показателя надежности можно принять функцию распределения отказа:

$$F(t) = Q(\tau \leq t) \quad (1)$$

Основные показатели надежности ТС

Характеристики свойств объекта, определяющих его надежность:

- вероятностные (по результатам прогноза) – теория;
- статистические (по результатам испытаний либо эксплуатации) – практика.

Показатели:

- для восстанавливаемых изделий;
- для невосстанавливаемых изделий;
- комплексные.

Основные показатели безотказности объектов

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что на заданном интервале времени отказ объекта не возникает.

Выражается функцией надежности:

$$p(t) = P(\tau > t) \quad (2)$$

$\tau > t$ – наработка до первого отказа τ превышает величину t

Статистическая оценка вероятности безотказной работы изделия $P(t)$

$$P(t) = \frac{N_p}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (3)$$

где N_p , $n(t)$ – соответственно, число работоспособных и отказавших к моменту времени t изделий;

N_0 – число изделий, поставленных на испытания.



Вероятность отказа – вероятность того, что отказ произойдет через время, не превышающее данной величины $P(t_0 \leq t)$:

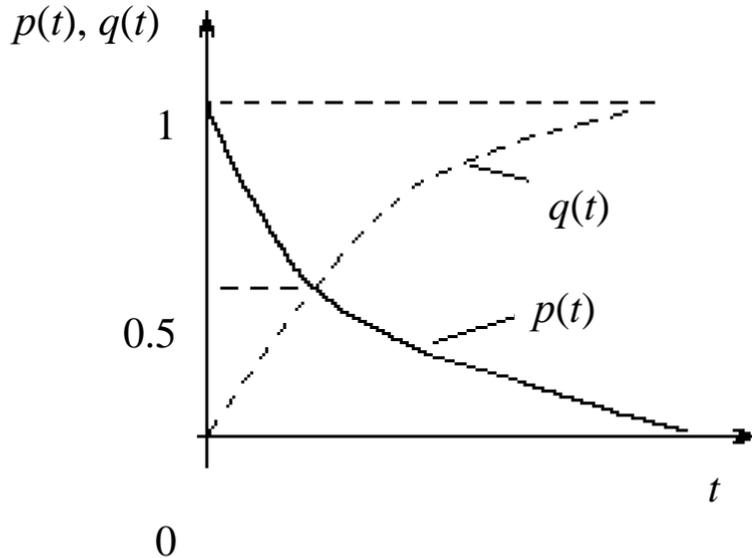
$$q(t) = P(t_0 \leq t) = 1 - p(t) * \quad (4)$$

*Т.к. работоспособность и отказ являются состояниями:

- несовместимыми;
- противоположными;
- полной группы событий.



Принимая $p(t_0=0)=1$ и понимая, что $p(t_0 \rightarrow \infty)=0$, получим



Статистическая оценка вероятности отказа

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}. \quad (5)$$

Рис. Вероятности безотказной работы и отказа



Плотность вероятности отказа (в единицу времени)

Вероятностная оценка

$$f(t) = \frac{F(t)}{dt} = Q'(t) = -P'(t). \quad (6)$$



$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt. \quad (7)$$



$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt. \quad (8)$$



Статистическая оценка:

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (9)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших объектов в интервале Δt ;

N_0 – число изделий, поставленных на испытания.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта

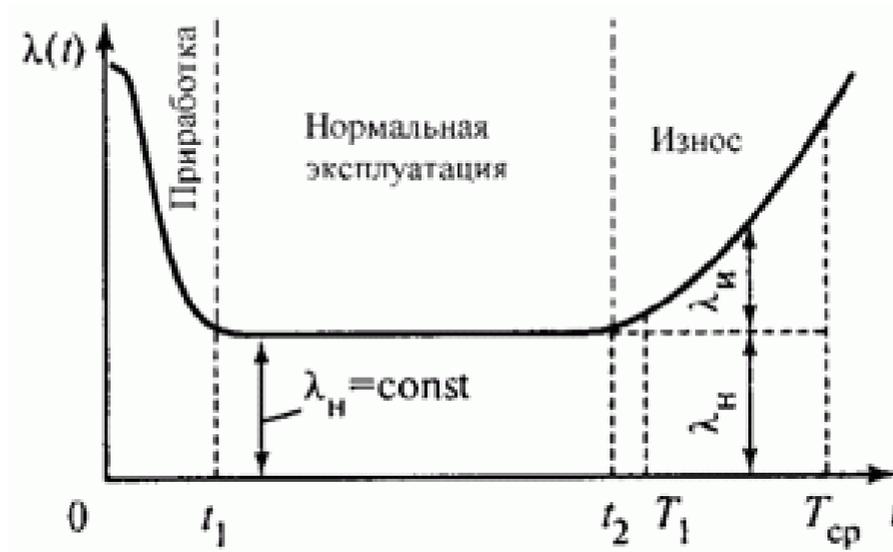
Вероятностная оценка

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Статистическая оценка

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \cdot \Delta t},$$

$N_{\text{ср}}$ – среднее число исправно работающих объектов в интервале Δt



Закон: Вейбулла Экспоненциальный Нормальный

Рис. Кривая интенсивности износа

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа

$$T_1 = \int_0^{\infty} tf(t)dt.$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} tQ'(t)dt = -\int_0^{\infty} tP'(t)dt = \int udv = uv - \int vdu = \left. \begin{array}{l} t = u, dt = du \\ P'(t)dt = dv, v = P(t) \end{array} \right| = \\ &= -tP(t)\Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt. \end{aligned}$$

Статистическая оценка

$$T_1(t) = \frac{1}{N_0} \sum_i^{N_0} t_i,$$

где N_0 – число работоспособных однопипных невосстанавливаемых объектов при $t = 0$ (в начале испытания);

t_i – наработка до отказа i -го объекта.

Средняя наработка на отказ

Этот показатель относится к восстанавливаемым объектам, при эксплуатации которых допускаются многократно повторяющиеся отказы.

$$T_o(t) = \frac{1}{n(t)} \sum_i^n t_i,$$

где t_i – наработка i -го объекта между отказами, ч;

$n(t)$ – суммарное число отказов за время t .

Основные показатели долговечности

Технический ресурс – наработка объекта до начала эксплуатации или ее возобновления после среднего или капитального ремонтов до наступления предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после среднего или капитального ремонтов до наступления предельного состояния.

Средний срок службы (средний ресурс, средний срок службы)

Математическое ожидание срока службы

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} tf(t)dt,$$

где \bar{t} – средняя наработка до отказа (средний ресурс, средний срок службы);

$f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа (ресурса, срока службы);

$F(t)$ – функция распределения наработки до отказа (ресурса, срока службы).

Еще:

- гамма-процентный ресурс;
- средний ресурс;
- средний ресурс между средними (капитальными) ремонтами;
- средний ресурс до списания;
- средний ресурс до среднего (капитального) ремонта;
- гамма-процентный срок службы;
- средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами;
- средний срок службы до среднего (капитального) ремонта;
- средний срок службы до списания.

Основные показатели ремонтпригодности

Время восстановления – это время, затраченное на обнаружение, поиск причины отказа и устранения последствий отказа.

Вероятность восстановления работоспособного состояния – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превысит заданного.

$$p_B(t) = P(\tau > t)$$

Среднее время восстановления – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{m} \sum_i^m t_{\text{в}i},$$

m – число отказов последствия которых устранены;

$t_{\text{в}i}$ – время восстановления работоспособного состояния после i -го отказа.

Основные показатели сохраняемости

Гамма-процентный срок сохраняемости – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью, выраженной в процентах.

Средний срок сохраняемости – математическое ожидание срока сохраняемости.



Комплексные показатели

Комплексные, так как они количественно характеризуют одновременно:

- безотказность
- ремонтпригодность.

Коэффициент готовности

Вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольный момент времени, кроме периодов, когда применение изделия по назначению исключено.

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B},$$

где T_o – средняя наработка на отказ;

T_B – среднее время восстановления одного отказа.

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

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{в}} + t_{\text{р}} + t_{\text{о}}},$$

где $t_{\text{н}}$ – суммарная наработка изделия в рассматриваемый промежуток времени;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{р}}$ и $t_{\text{о}}$ – суммарное время, затраченное на восстановление, ремонт и ТО изделия за тот же период.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Надежность технических систем

2018