

Детали мехатронных модулей и роботов, их конструирование,
диагностика и надежность

Лабораторная работа №1

Основные показатели надежности.
Статистические модели надежности.

Разработал: А.А. Ефремов

Томский политехнический университет, 2021

Контактная информация

ЕФРЕМОВ Александр Александрович

Старший преподаватель,
Отделение автоматизации и робототехники,
ИШИТР

Ауд. 115а, 10к.

email: alexeyfremov@tpu.ru



Теоретические сведения

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации.

Работоспособность – состояние изделия, при котором оно способно нормально выполнять заданные функции. Работоспособность не касается требований, непосредственно не влияющих на эксплуатационные показатели, напр. повреждение окраски и т.д.

Исправность – состояние изделия, при котором оно удовлетворяет всем не только основным, но и вспомогательным требованиям. Исправное изделие обязательно работоспособно.

Теоретические сведения

Неисправность – состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации. Различают неисправности, не приводящие к отказам, и неисправности и их сочетания, приводящие к отказам.

Отказ – полная или частичная утрата работоспособности.

Причины отказов и их классификация – см. литературу.

Теоретические сведения

Безотказность (надежность в узком смысле слова) – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки.

Надежность (безотказность) характеризуется численными показателями: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов и др.

Теоретические сведения

Вероятность безотказной работы (ВБР) – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет.

Средняя наработка до отказа (среднее время безотказной работы) – математическое ожидание наработки до отказа невозстанавливаемого изделия. Под наработкой понимают продолжительность или объем выполненной работы.

Интенсивность отказов – показатель надежности невозстанавливаемых изделий, равный отношению среднего числа отказавших в единицу времени объектов к числу объектов, оставшихся работоспособными.

Теоретические сведения

Будем считать, что отказ объекта – это случайное событие.

Время до отказа – непрерывная случайная величина X , распределенная в соответствии с некоторым распределением $F_X(t)$.

Функция $F_X(t)$ называется вероятностью отказа и представляет собой функцию распределения случайной величины:

$$F_X(t) = \Pr\{X \leq t\}$$

Свойства: $F_X(0) = 0$;

$$F_X(\infty) = 1;$$

$F_X(t)$ не убывает на всей числовой прямой.

Теоретические сведения

Поскольку ВБР - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет, т.е. $\Pr\{X > t\}$,

$$P(t) = R(t) = 1 - F_X(t) = 1 - \Pr\{X \leq t\}$$

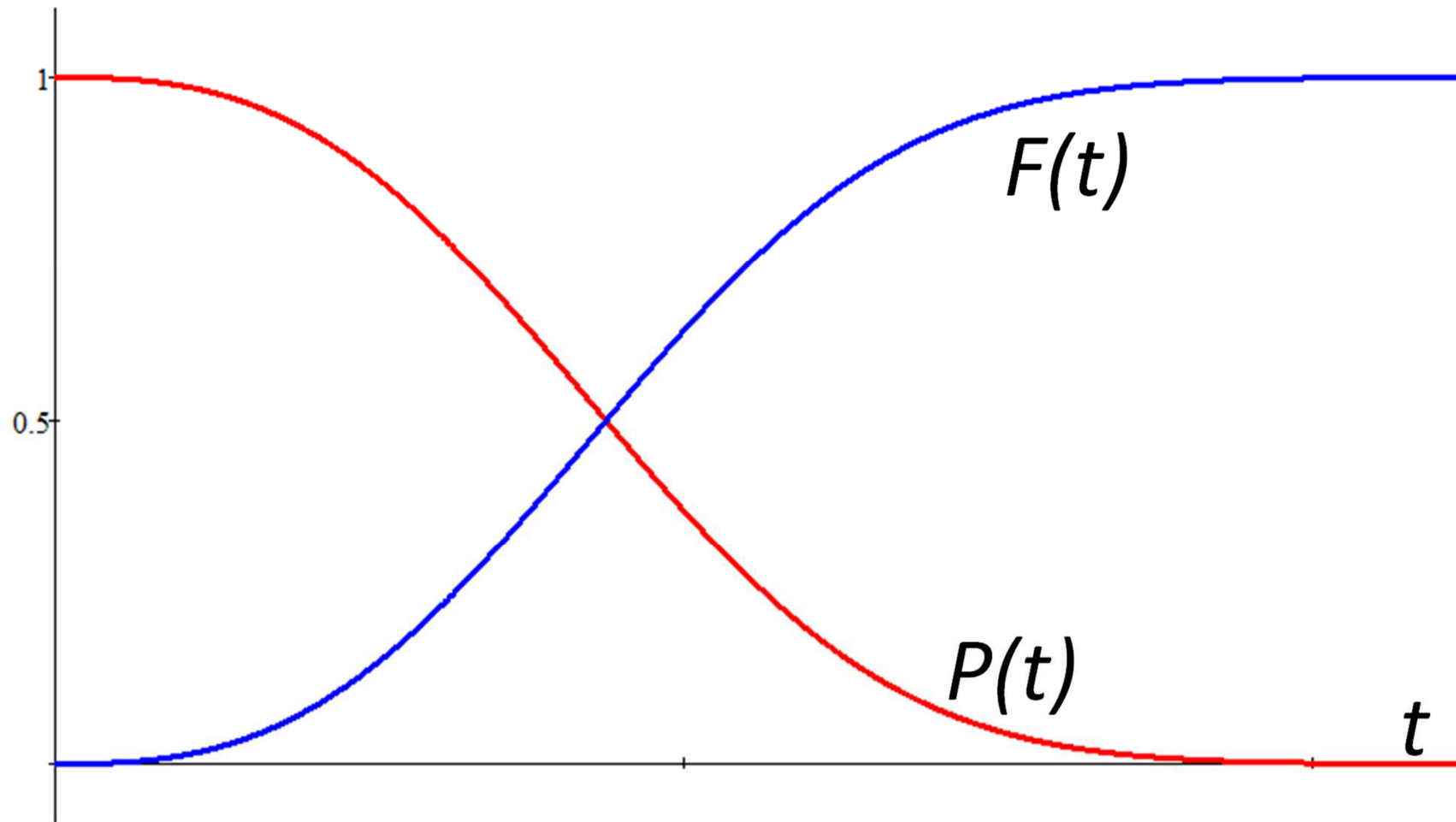
Функция $P(t)$ называется функцией ВБР и представляет собой величину, обратную $F_X(t)$.

Свойства: $P(0) = 1$;

$$P(\infty) = 0;$$

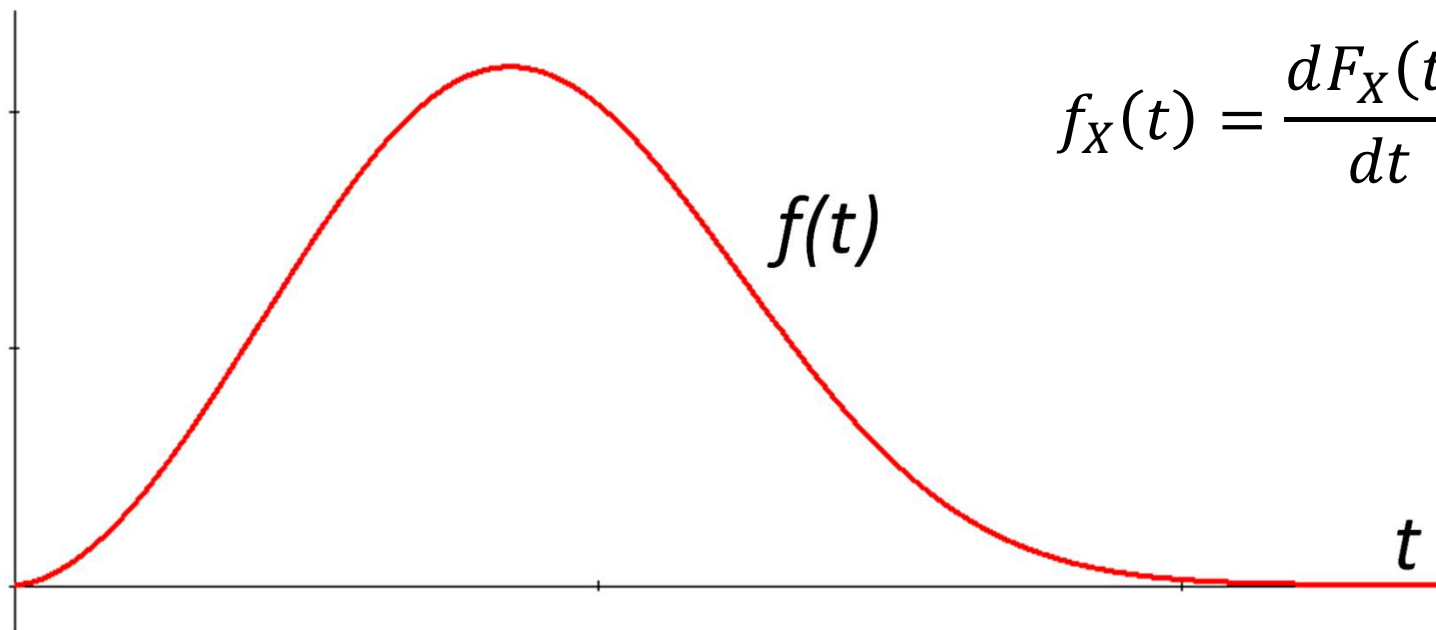
$P(t)$ не возрастает на всей числовой прямой.

Теоретические сведения



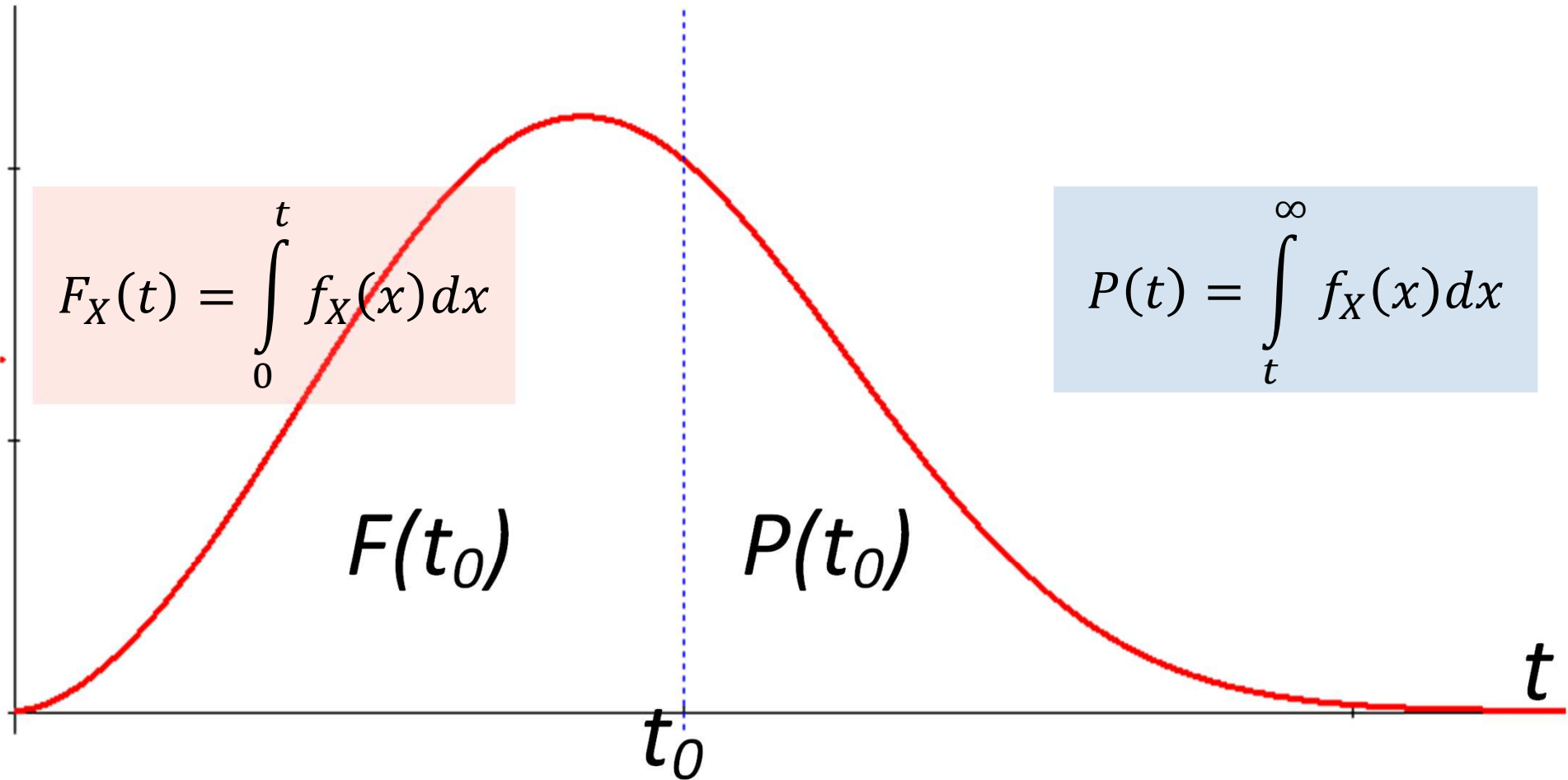
Теоретические сведения

Для непрерывной случайной величины с функцией распределения $F_X(t)$ можно определить функцию плотности распределения $f_X(t)$, которая в теории надежности называется частотой отказов.



$$f_X(t) = \frac{dF_X(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}$$

Теоретические сведения



Теоретические сведения

Математическое ожидание (среднее значение) непрерывной случайной величины X представляет собой ее первый начальный момент:

$$E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x) dx$$

В теории надежности математическое ожидание времени до отказа (времени безотказной работы) называют **средним временем безотказной работы (средней наработкой до отказа)**.

Учитывая, что $t > 0$,

$$T_{cp} = E[X] = \int_0^{\infty} x f_X(x) dx = \int_0^{\infty} P(x) dx$$

Теоретические сведения

Интенсивность отказов объекта, с учетом введенных выше формулировок, можно определить как

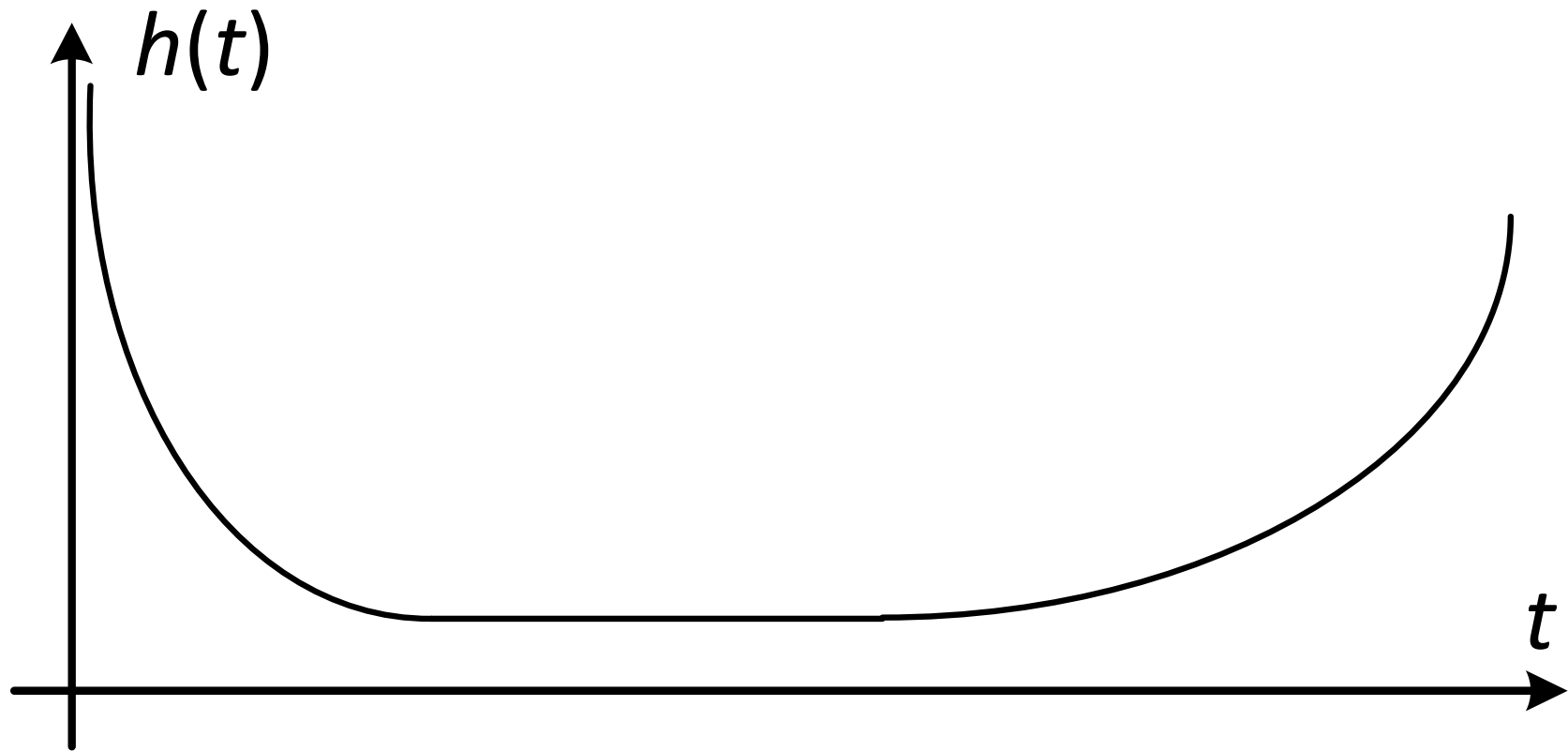
$$\lambda(t) = h(t) = \frac{f_X(t)}{P(t)}$$

Функцию ВБР можно выразить через интенсивность отказов следующим образом:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

Теоретические сведения

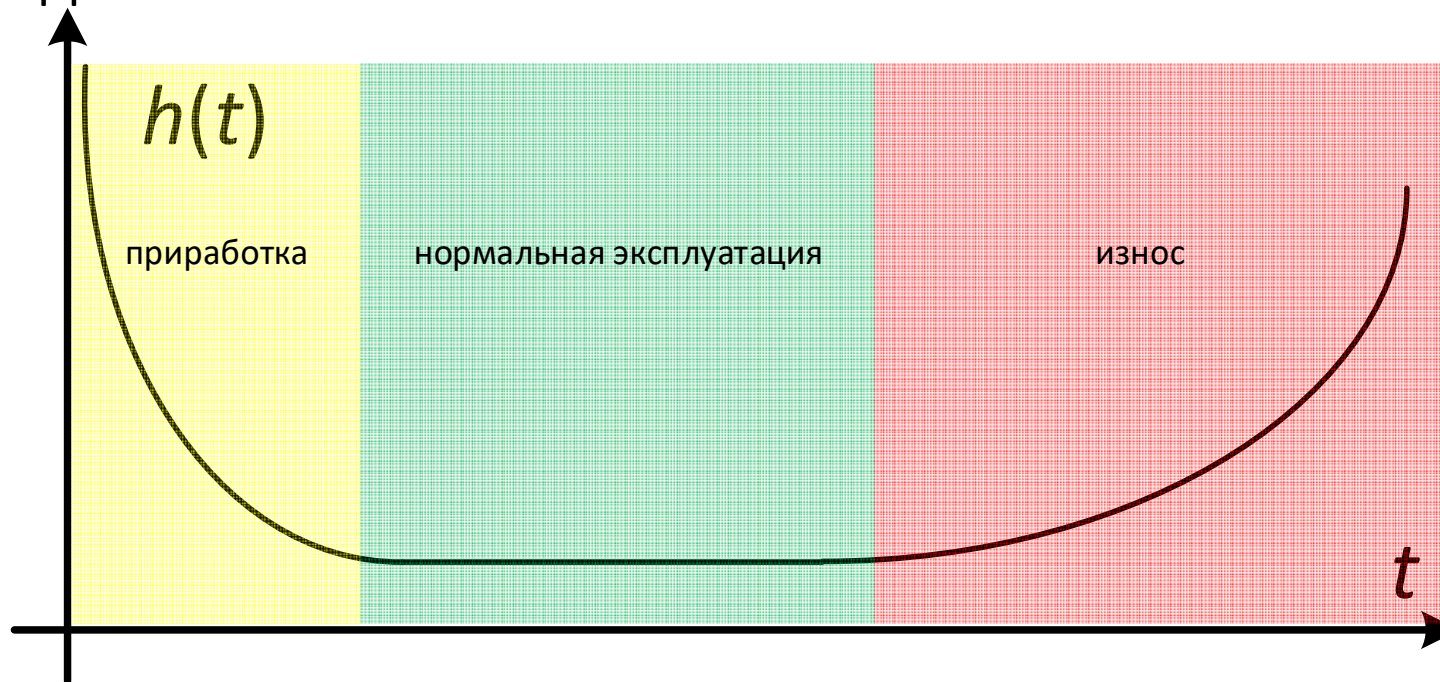
Для технических систем кривая интенсивности отказов зачастую выглядит следующим образом:



Теоретические сведения

В соответствии с формой кривой интенсивности отказов можно выделить три периода жизненного цикла изделия:

- период приработки;
- период нормальной эксплуатации;
- период износа.



Теоретические сведения

В качестве статистической модели надежности можно использовать любое непрерывное распределение случайной величины, для которого носителем является положительная числовая полуось:

$$\text{supp}(X) = [0; \infty)$$

В теории надежности часто используются следующие распределения (модели надежности):

- экспоненциальное;
- распределение Вейбулла;
- распределение Рэлея;
- логнормальное.

Экспоненциальная модель надежности

$$F_X(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad P(t) = e^{-\lambda t}; \quad f_X(t) = \lambda e^{-\lambda t};$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \quad h(t) = \lambda = \text{const.}$$

где $t \geq 0$, а $\lambda > 0$ – параметр распределения.

Модель надежности Вейбулла

$$F_X(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}; \quad P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta};$$

$$f_X(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}; \quad h(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

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

где $t \geq 0$, $\beta, \eta > 0$ – параметры распределения;
 $\Gamma(x)$ - гамма-функция.

Модель надежности Рэля

$$F_X(t) = 1 - e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}; \quad P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}};$$

$$f_X(t) = \frac{t}{2\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}; \quad h(t) = \frac{t}{2\sigma^2};$$

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

где $t \geq 0$, $\sigma > 0$ – параметр распределения.

Рекомендованная литература

Атапин, В. Г. Основы теории надежности : учебное пособие / В. Г. Атапин. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 94 с. // Лань : ЭБС. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118050>

Ведерникова, И. И. Введение в теорию надежности : учебник / И. И. Ведерникова, С. А. Егоров, Н. Е. Егорова. — Иваново : ИГЭУ, 2019. — 148 с. // Лань : ЭБС. — URL: <https://e.lanbook.com/book/154550>

Сапожников, В. В. Основы теории надежности и технической диагностики : учебник / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. — СПб : Лань, 2019. — 588 с. // Лань : ЭБС. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115495>