

For random time to failure T the hazard rate function is defined as:

Для случайного времени до отказа T функция интенсивности отказов определяется как:

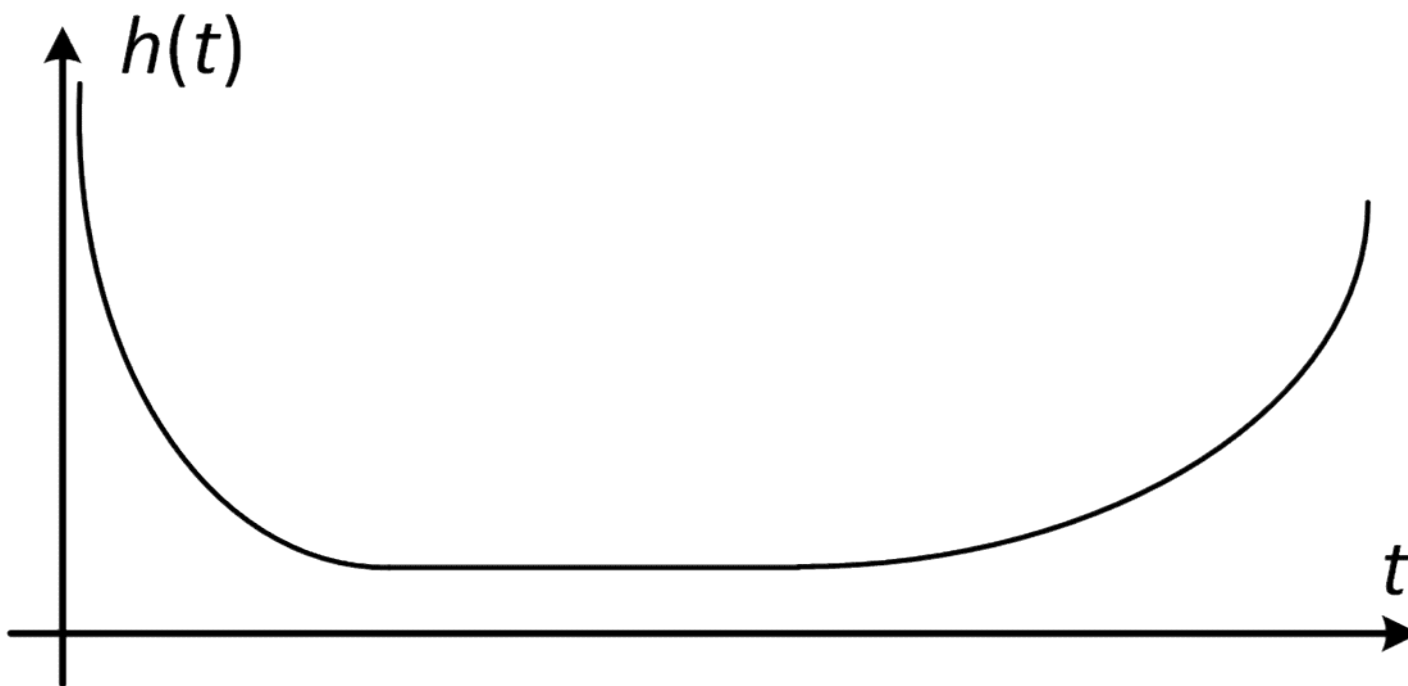
$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr\{t < T \leq t + \Delta t | T > t\}}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

This can be interpreted as the failure rate under the conditional probability that the system or component has not failed before time t .

Это можно интерпретировать как частоту отказов при условии, что система или компонент не отказали до времени t .

The hazard rate of a physical system usually exhibits a bathtub curve:

Интенсивность отказов физической системы обычно демонстрирует U-образную кривую:

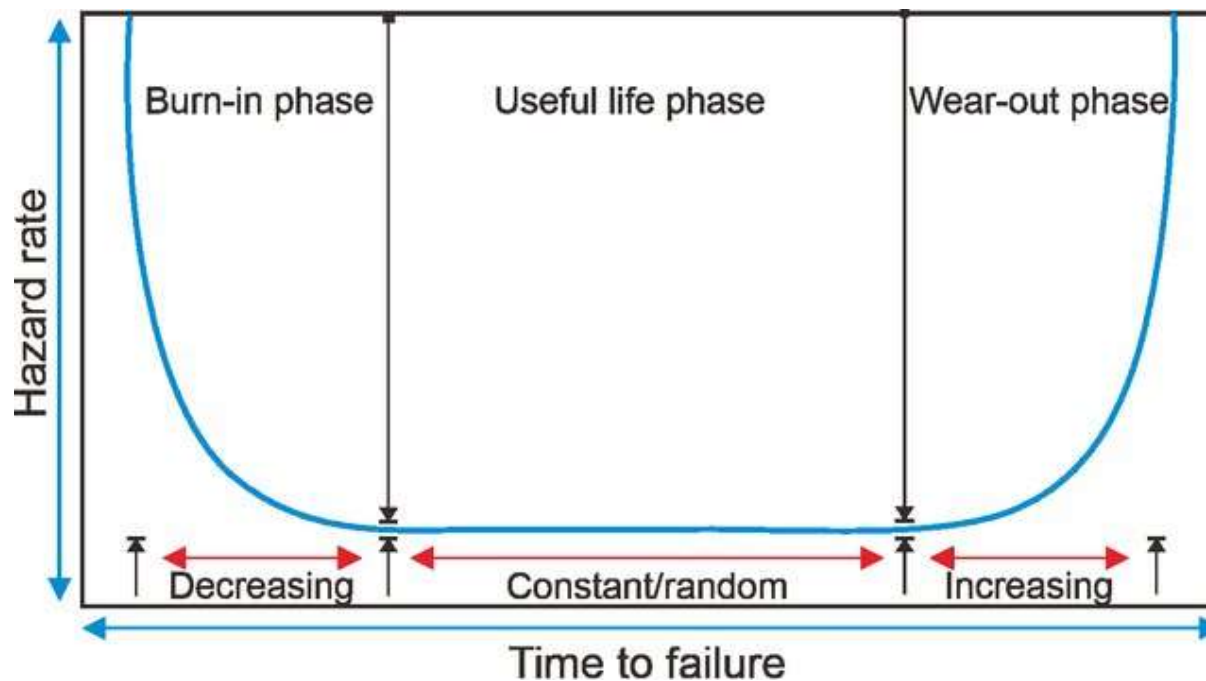


We can identify three different phases of lifetime cycle of the system.

This relation is valid for humans as well as for technical systems.

Мы мо́жем вы́делить три различные фа́зы жизненного цикла систе́мы.

Это соотноше́ние справедливо как для люде́й, так и для техни́ческих систе́м.

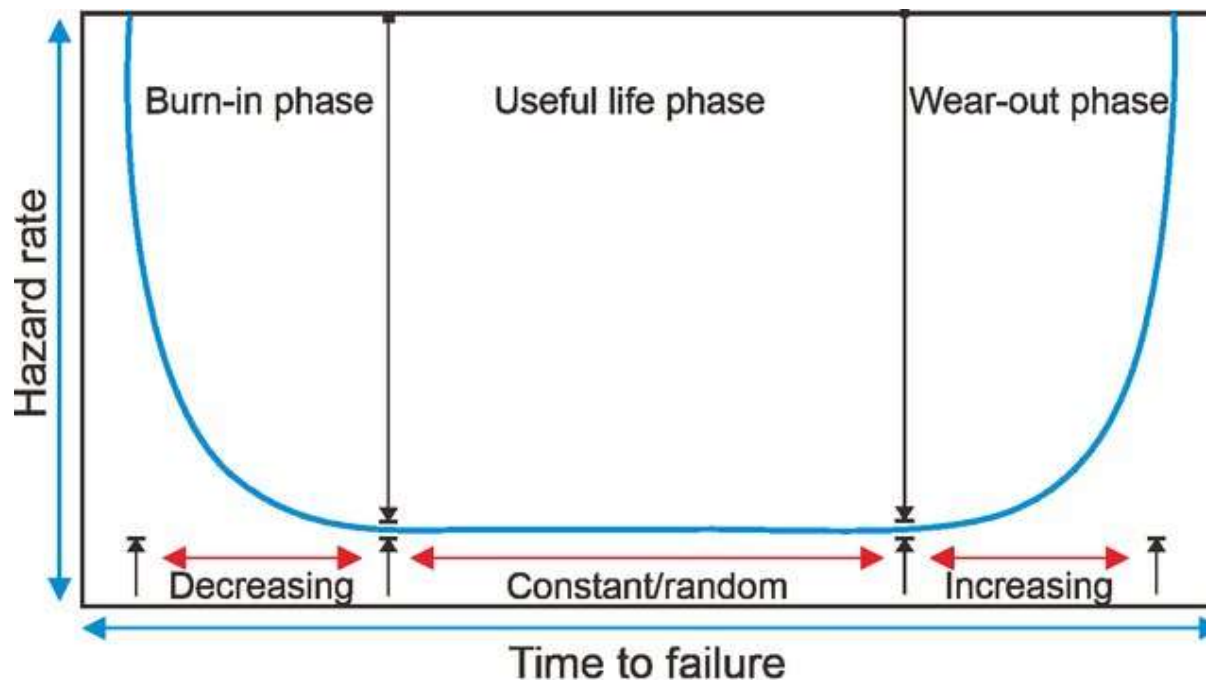


The first phase, in which the hazard rate decreases, is called the burn-in phase.

The main causes of failures here are manufacturing defects.

Первая фаза, в которой интенсивность отказов убывает, называется периодом приработки.

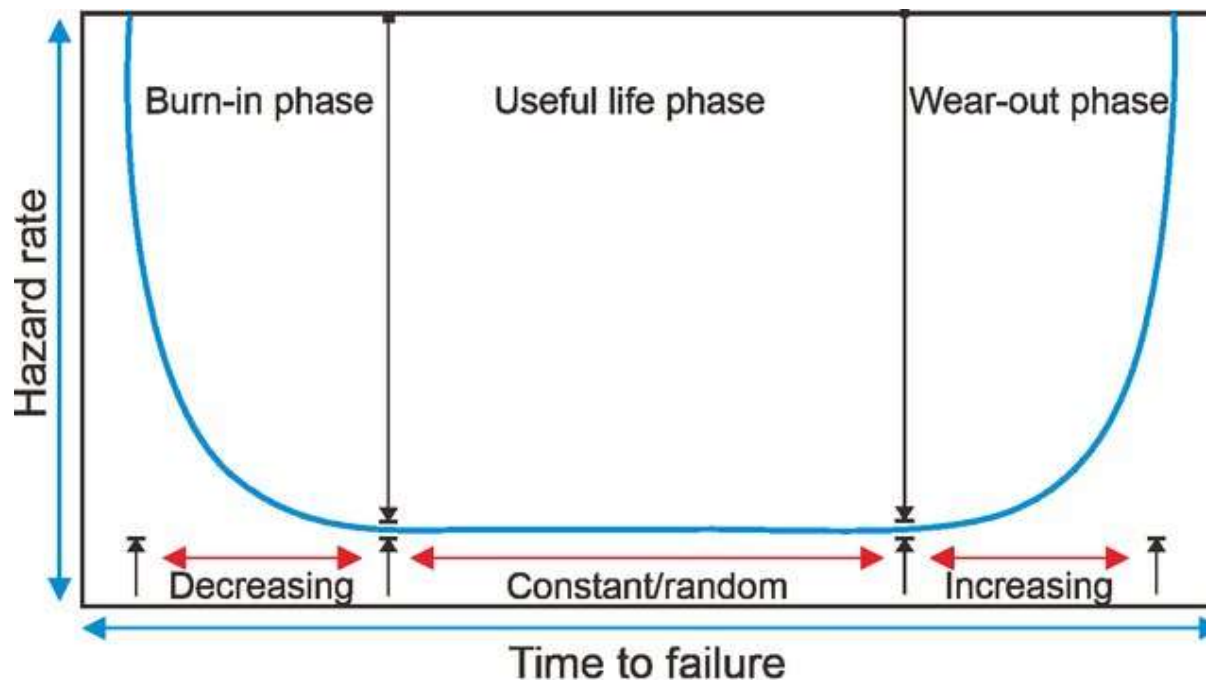
Основными причинами отказов здесь являются производственные дефекты.



The second phase, in which the hazard rate is nearly constant, is called the useful life phase.

The system in the useful life phase experiences random failures.

Вторая фаза, в которой интенсивность отказов практически постоянна, называется периодом нормальной эксплуатации. В этой фазе система испытывает случайные отказы.

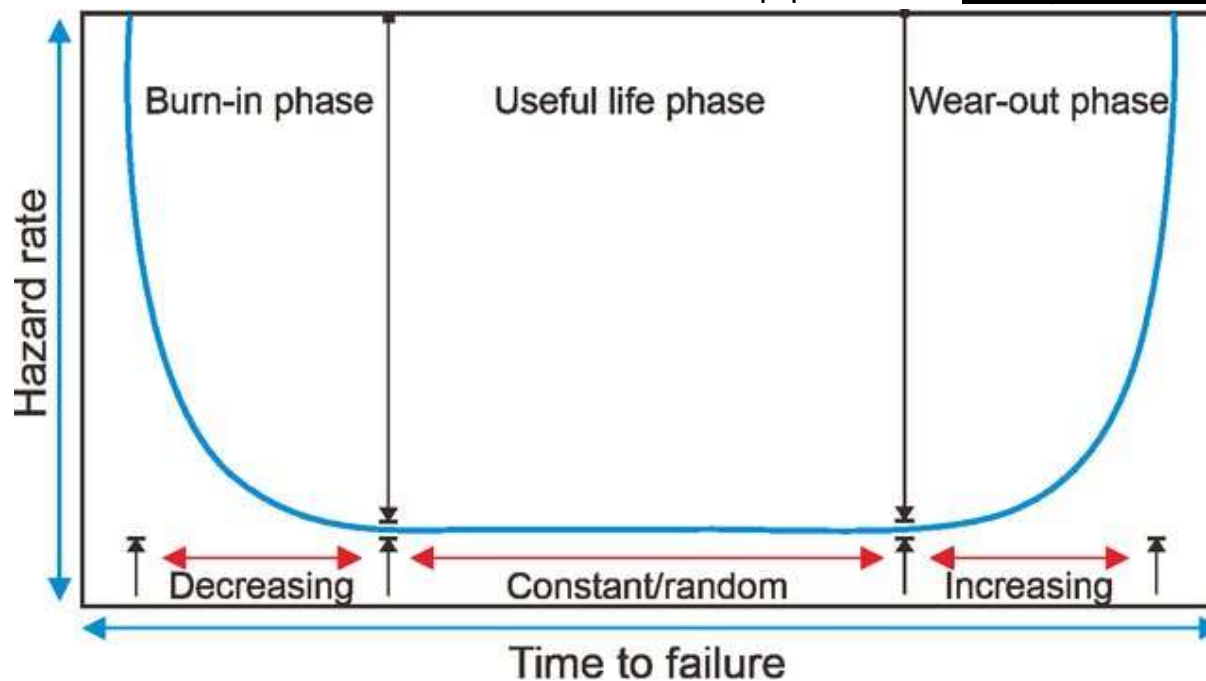


The last phase, in which the hazard rate increases, is called the wear-out phase.

The main cause of failures here are the wear of the components due to aging.

Последняя фаза, в которой интенсивность отказов возрастает, называется периодом износа.

Основной причиной отказов здесь является износ компонентов вследствие старения.



The exact distribution of random time to failure is usually unknown.

Often, certain well-known distribution is assumed in order to model reliability.

The distributions most commonly used in Reliability Theory are Exponential and Weibull distribution.

Точное распределение случайного времени до отказа обычно неизвестно.

Часто в целях моделирования надёжности подразумевается некоторое хорошо известное распределение.

Наиболее часто используемыми распределениями в Теории надёжности являются Экспоненциальное распределение и распределение Вейбулла.

Exponential Distribution

Экспоненциальное распределение

Failure probability

Вероятность отказа

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Reliability function

Вероятность безотказной работы

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

Failure rate

Частота отказов

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

Hazard rate

Интенсивность отказов

$$h(t) = \lambda$$

Mean time to failure

Среднее время до отказа

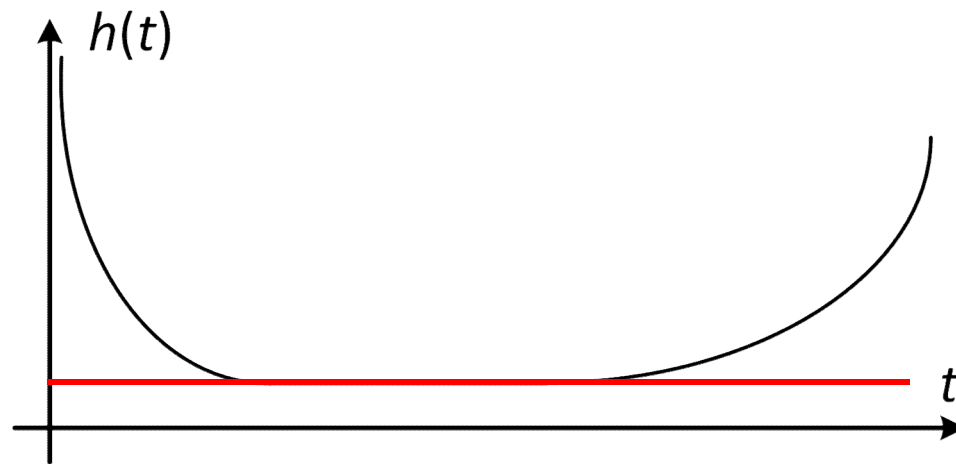
$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

When using exponential distribution of time to failure, we assume that the hazard rate is constant.

Therefore, exponential distribution should be used only for the failures in the useful life phase.

При использовании экспоненциального распределения мы предполагаем, что интенсивность отказов является постоянной.

Следовательно, экспоненциальное распределение следует использовать только для отказов в течении периода нормальной эксплуатации.



Weibull Distribution

Failure probability

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Reliability function

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Failure rate

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Hazard rate

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Mean time to failure

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

Распределение Вейбулла

Вероятность отказа

Вероятность безотказной работы

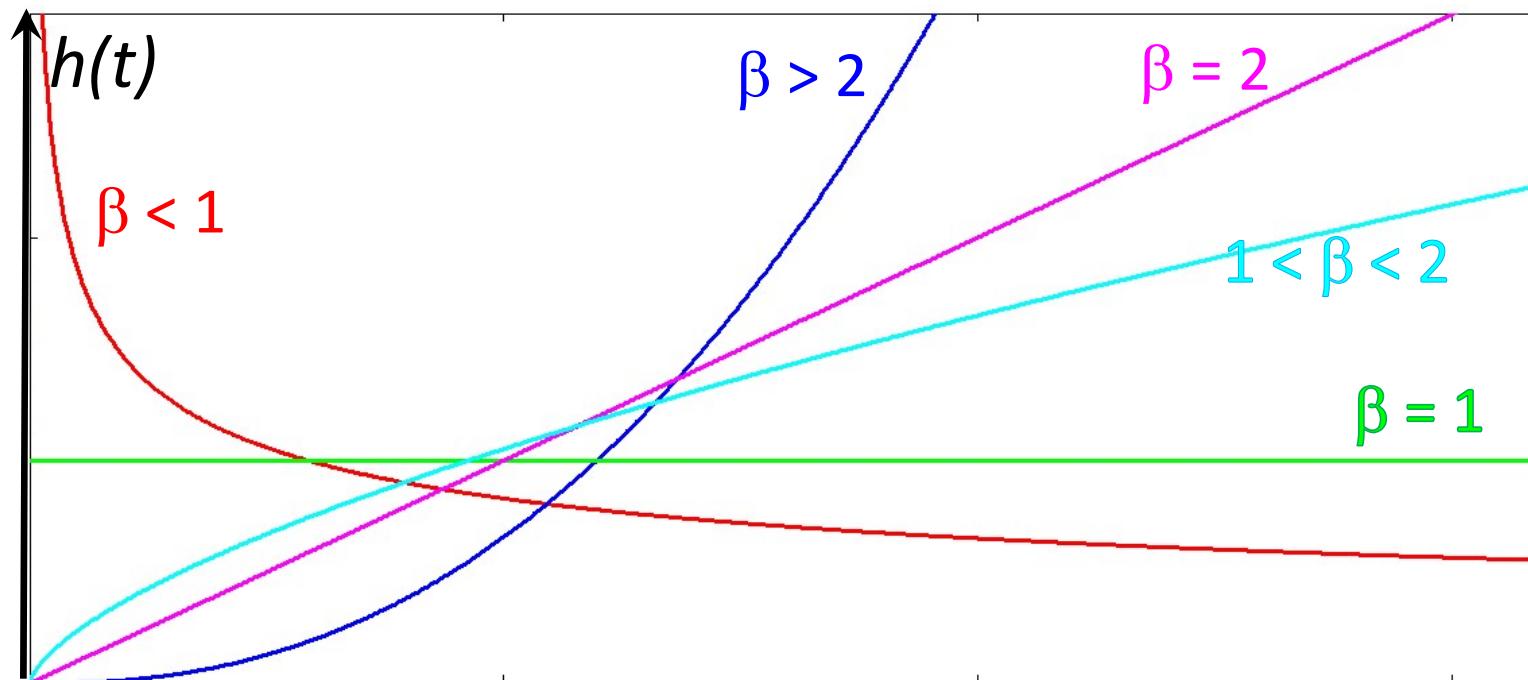
Частота отказов

Интенсивность отказов

Среднее время до отказа

Depending on the value of parameter β , Weibull distribution can be used for modelling reliability during burn-in and useful life phase, **or** during useful life and wear-out phase.

В зависимости от значения параметра β распределение Вейбулла может быть использовано для моделирования надёжности в периоды приработки и нормальной эксплуатации, **или** в периоды нормальной эксплуатации и износа.



Rayleigh Distribution

Failure probability

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

Reliability function

$$R(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

Failure rate

$$f(t) = \frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

Hazard rate

$$h(t) = \frac{t}{\sigma^2}$$

Mean time to failure

$$MTTF = \sigma \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

Распределение Рэля

Вероятность отказа

Вероятность безотказной работы

Частота отказов

Интенсивность отказов

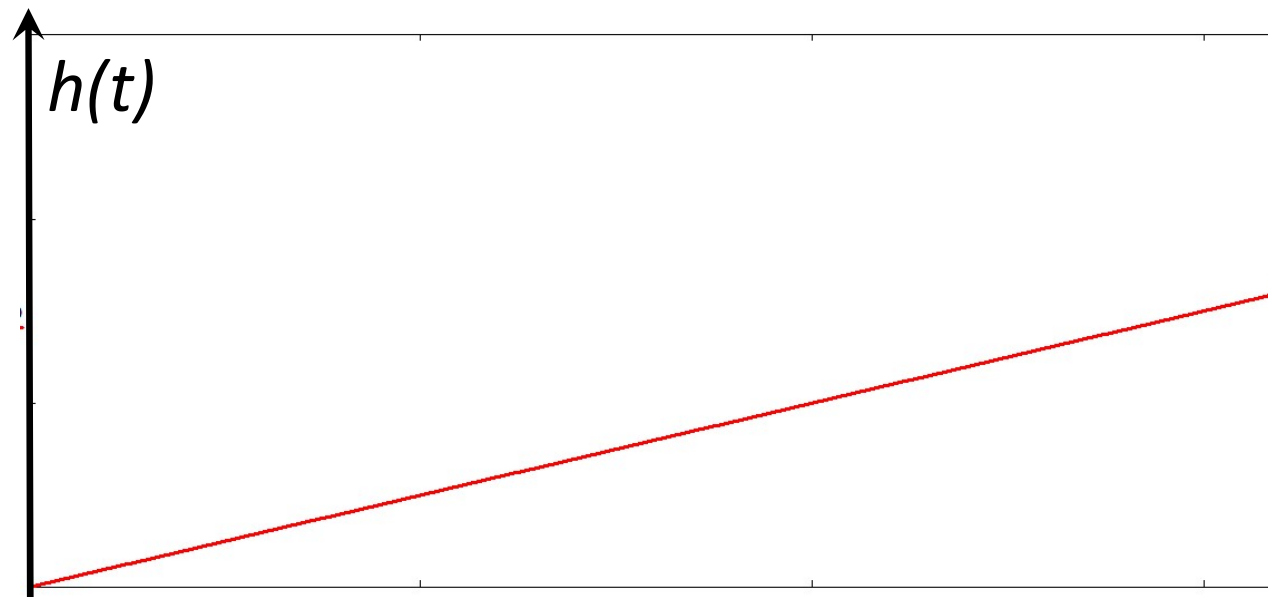
Среднее время до отказа

A characteristic feature of the Rayleigh distribution is that the hazard rate increases linearly.

This hazard rate behavior is typical for mechanical and electromechanical systems.

Характерной особенностью распределения Рэля является то, что интенсивность отказов увеличивается линейно.

Такое поведение интенсивности отказов характерно для механических и электромеханических систем.



It should be noted, that exponential distribution is a special case of Weibull distribution, given that

$$\beta = 1$$

Слѣдует отмѣтить, что экспоненциальное распределение является частным случаем распределения Вейбулла, учитывая, что $\beta = 1$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \xrightarrow{\beta=1} 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\frac{1}{\eta}=\lambda}} \rightarrow 1 - e^{-\lambda t}$$

Another special case of Weibull distribution is Rayleigh distribution.

Setting $\beta = 2$, we obtain

Другим особым случаем распределения Вейбулла является распределение Рэля.

Установив значение $\beta = 2$, получаем

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \xrightarrow{\beta=2} 1 - e^{-\frac{t^2}{\eta^2}} \xrightarrow{\eta^2=2\sigma^2} 1 - e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

English	Русский	普通话
hazard rate function	фу́нкция интенсѝвности отка́зов	危险率函数
conditional probability	усло́вная веро́ятность	条件概率
bathtub curve	U-обра́зная крива́я	浴缸曲线 U形曲线
burn-in phase	прирабо́тка (перио́д прирабо́тки)	早期故障期
useful life phase	перио́д нормáльной эксплуа́тации	偶发故障期
wear-out phase	перио́д изно́са	磨损故障期
aging	старéние	衰老过程
phase	фа́за (перио́д)	阶段
exponential distribution	экспоненциáльное распреде́ление	负指数分布
Weibull distribution	распреде́ление Вейбу́лла	韦布尔分布

English	Русский	普通话
special case	ча́стный слúчай	特例
Rayleigh distribution	распределе́ние Рэ́лэя	瑞利分布
characteristic feature	характе́рная осо́бенность	特征
lifetime cycle	жízненный цикл	生命周期
relation	соотноше́ние	比率
cause	причи́на	原因
manufacturing defect	произво́дственный дефе́кт	制造缺陷