



# Лекция № 2. Законы надёжности

## Вопросы лекции:

1. Основные понятия и определения
2. Законы надёжности
3. Методы интервальной оценки показателей безотказности



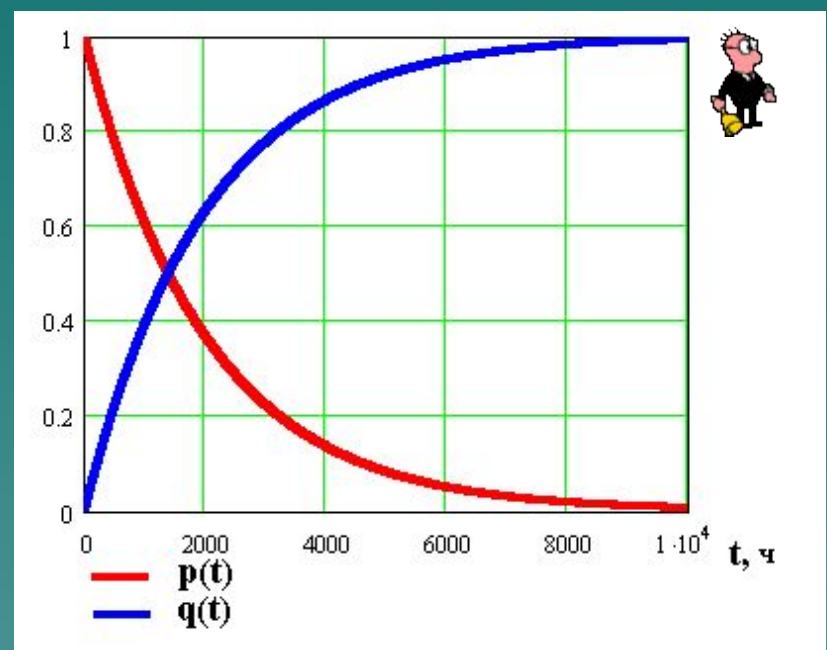


# 1. Основные понятия и определения

## а) Показатели безотказности технических объектов

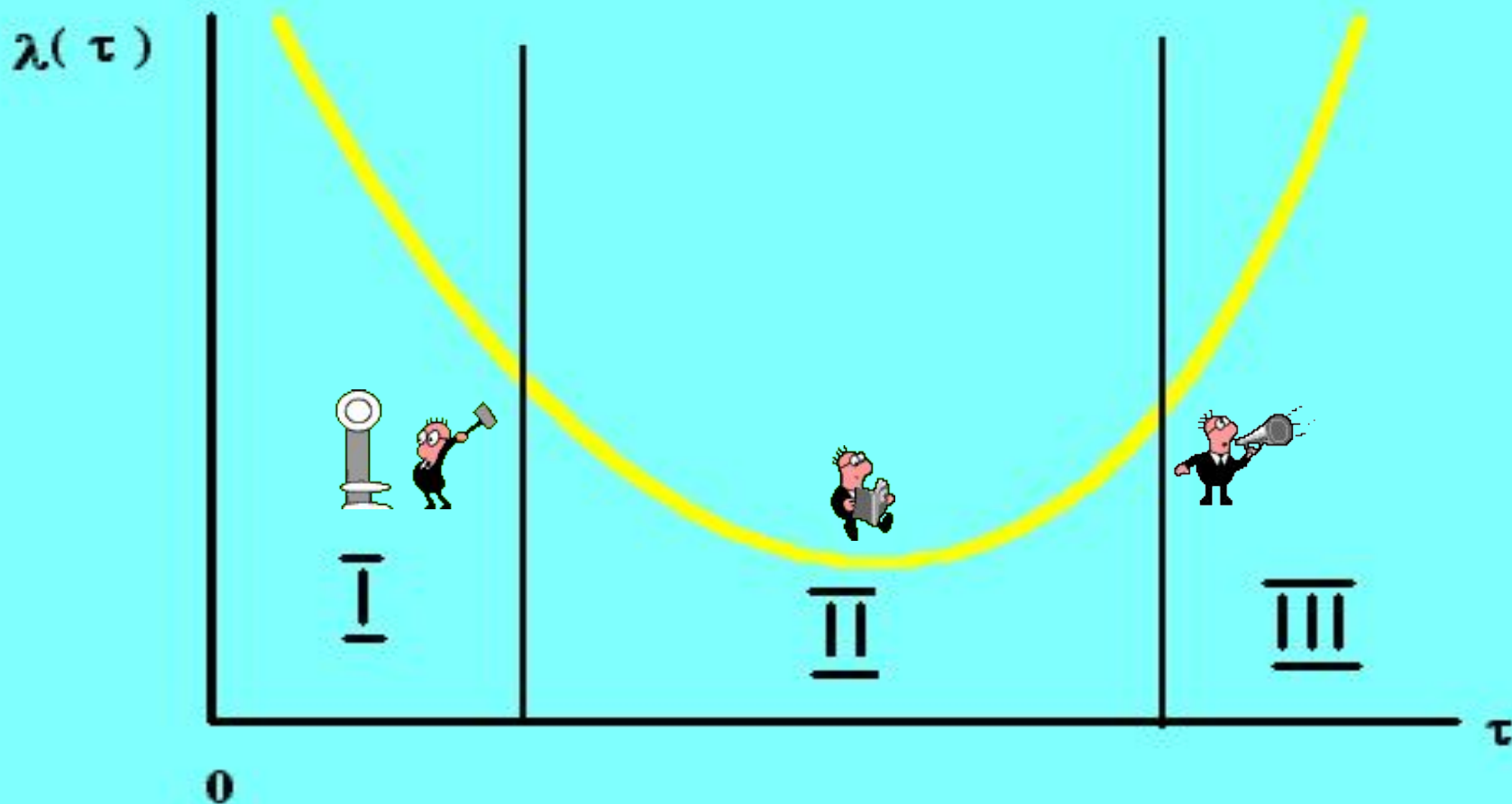
$$p(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(\tau) d\tau \right];$$

$$q(t) = 1 - p(t);$$





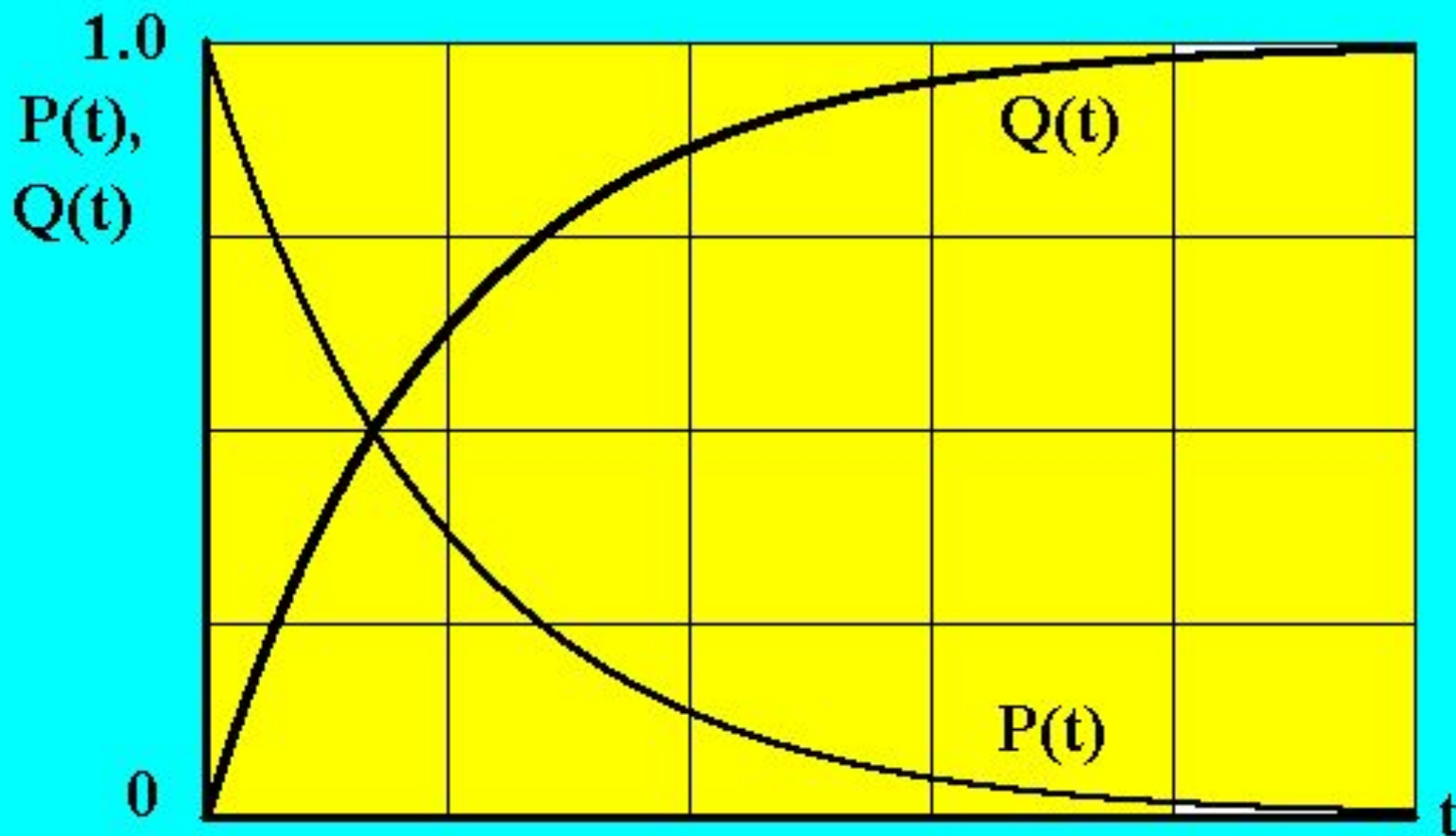
# Изменение интенсивности отказов при увеличении наработки объекта





# 2. Экспоненциальный закон

а) функции надёжности и ненадёжности





# Экспоненциальный закон

## б) аналитические зависимости

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t);$$

$$p(t) = \exp(-\lambda t);$$

$$q(t) = 1 - \exp(-\lambda t);$$

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda \tau) d\tau.$$

Причины широкого применения экспоненциального закона

надёжности (см. Вопросы математической теории надёжности. Е.Ю. Барзилович и др.

– М.: Радио и связь, 1983):

1. Все так делают.
2. Если этого не делать, то задача не решается.
3. Даже, если истинная функция надёжности не экспоненциальная, то всё равно использование экспоненциального закона даёт неплохое приближение.
4. При малых объёмах исходной информации естественно использовать наиболее простой закон.





# Усечённо - нормальный закон надёжности

а) аналитические зависимости

$$f(t) = \frac{1}{F(1) - F(0)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2}\right];$$

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(\tau) d\tau.$$

$\mu$  – средняя наработка до отказа;

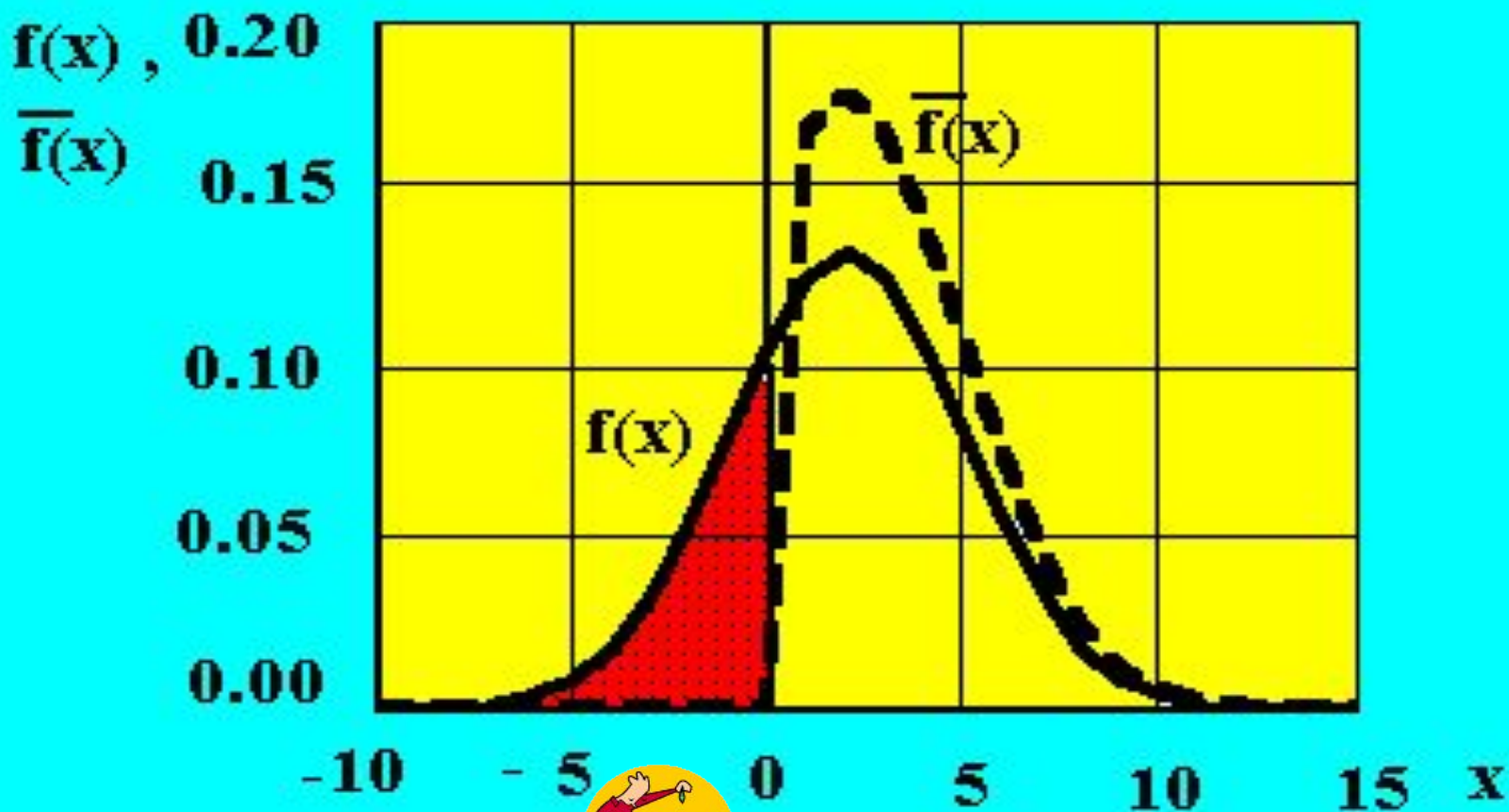
$\sigma$  – стандартное отклонение наработки до отказа.





# Усечённо - нормальный закон надёжности

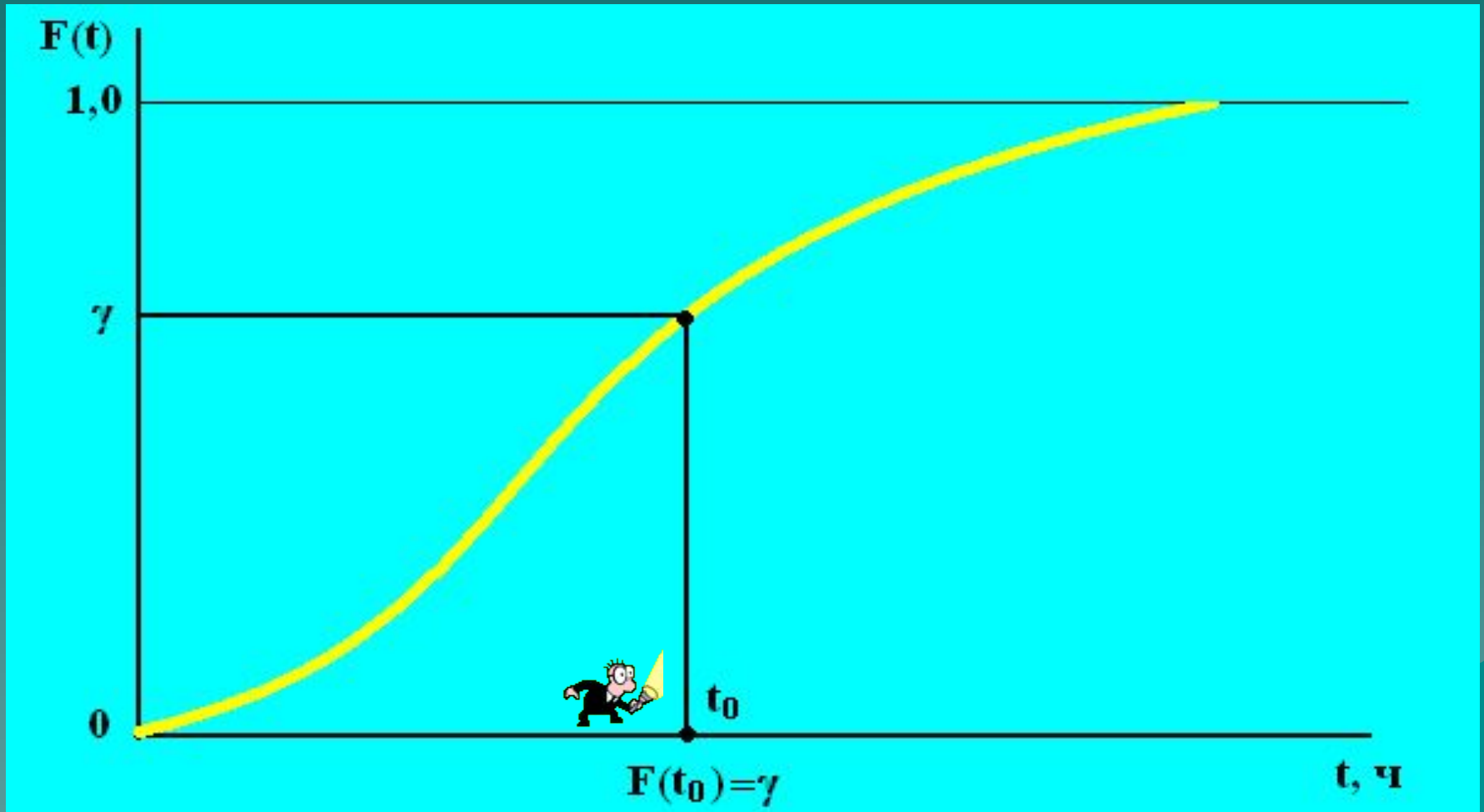
б) функция плотности





# Усечённо - нормальный закон надёжности

в) функция распределения







# Закон Вейбулла

## а) аналитические зависимости

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right);$$

$$p(t) = \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right);$$

$$q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right);$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1};$$

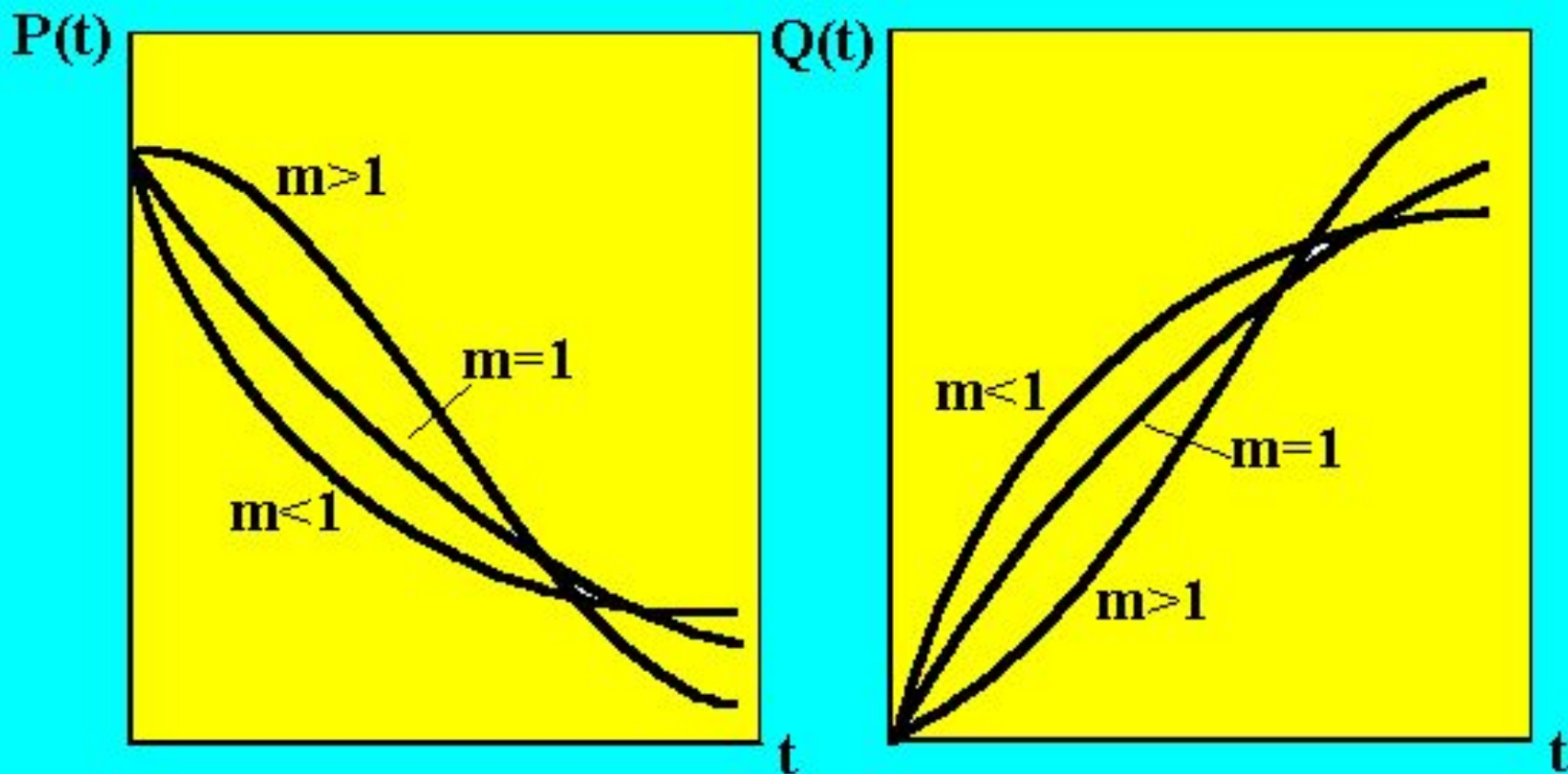
$$t_{cp} = \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{\tau^m}{t_0}\right) d\tau = t_0^{1/m} \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right),$$

где  $\Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) = \int_0^{\infty} u^{\frac{1}{m}} \exp(-u) du$  – гамма – функция.



# Закон Вейбулла

## б) функции надёжности и ненадёжности

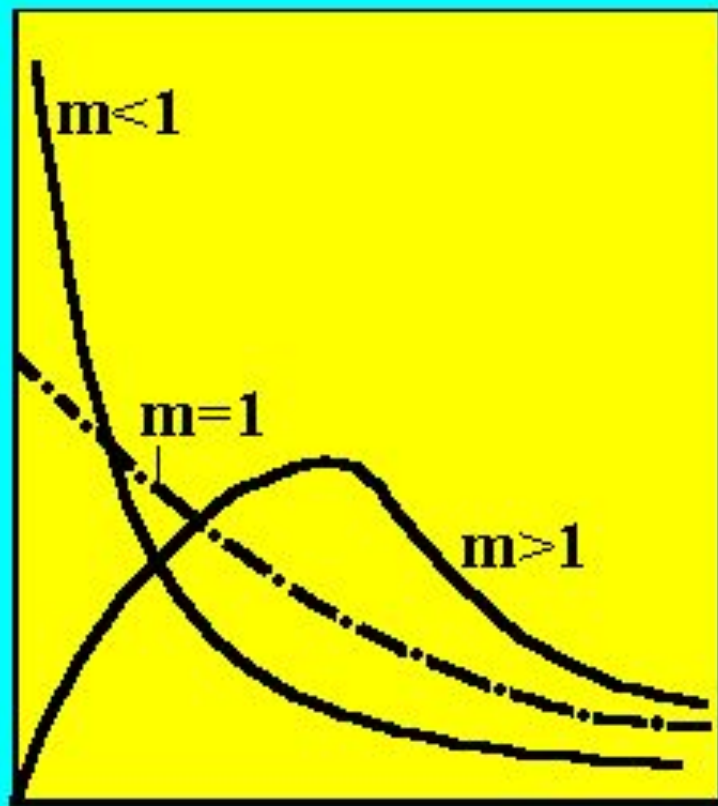




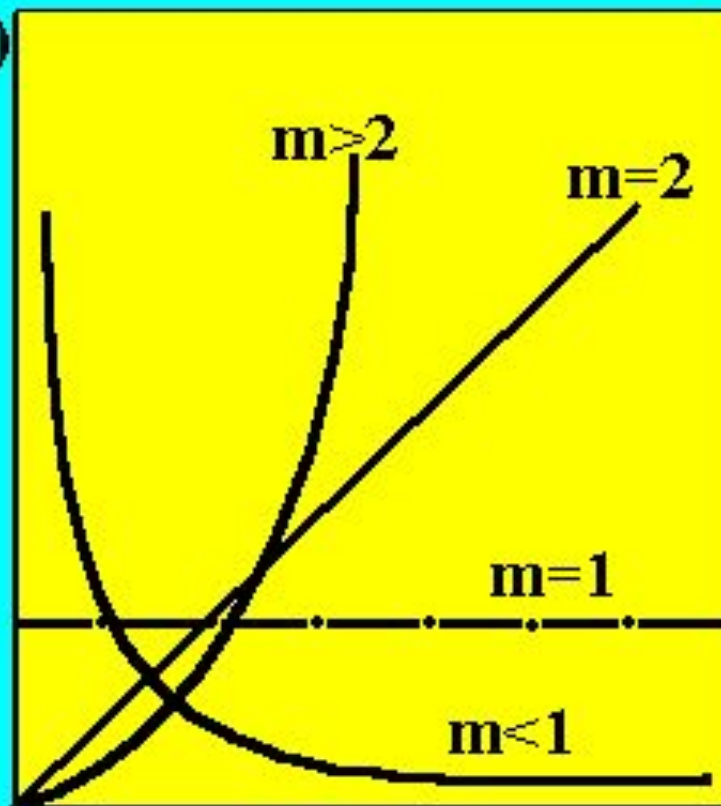
# Закон Вейбулла

в) функции плотности и интенсивности отказов

$f(t)$



$\lambda(t)$





# 3. Интервальная оценка показателей надёжности

## а) аналитические зависимости

$$\text{Вер} \{l \leq x\} = \sum_{k=0}^x \frac{N!}{(N-k)! \cdot k!} p^{N-k} (1-p)^k;$$

-биномиальный закон  
распределения;

$$\underline{p} \cong 1 - \frac{\chi_{1-\gamma}^2(2l+2)}{2N-l+0,5\chi_{1-\gamma}^2(2l+2)};$$

- приближённые  
зависимости;

$$\bar{p} \cong 1 - \frac{\chi_{\gamma}^2(2l)}{2N-l+1+0,5\chi_{\gamma}^2(2l)},$$

где  $\chi_{\gamma}^2(2l)$  – квантиль Хи – квадрат  
распределения уровня  $\gamma$  со степенью свободы  $2l$ ;

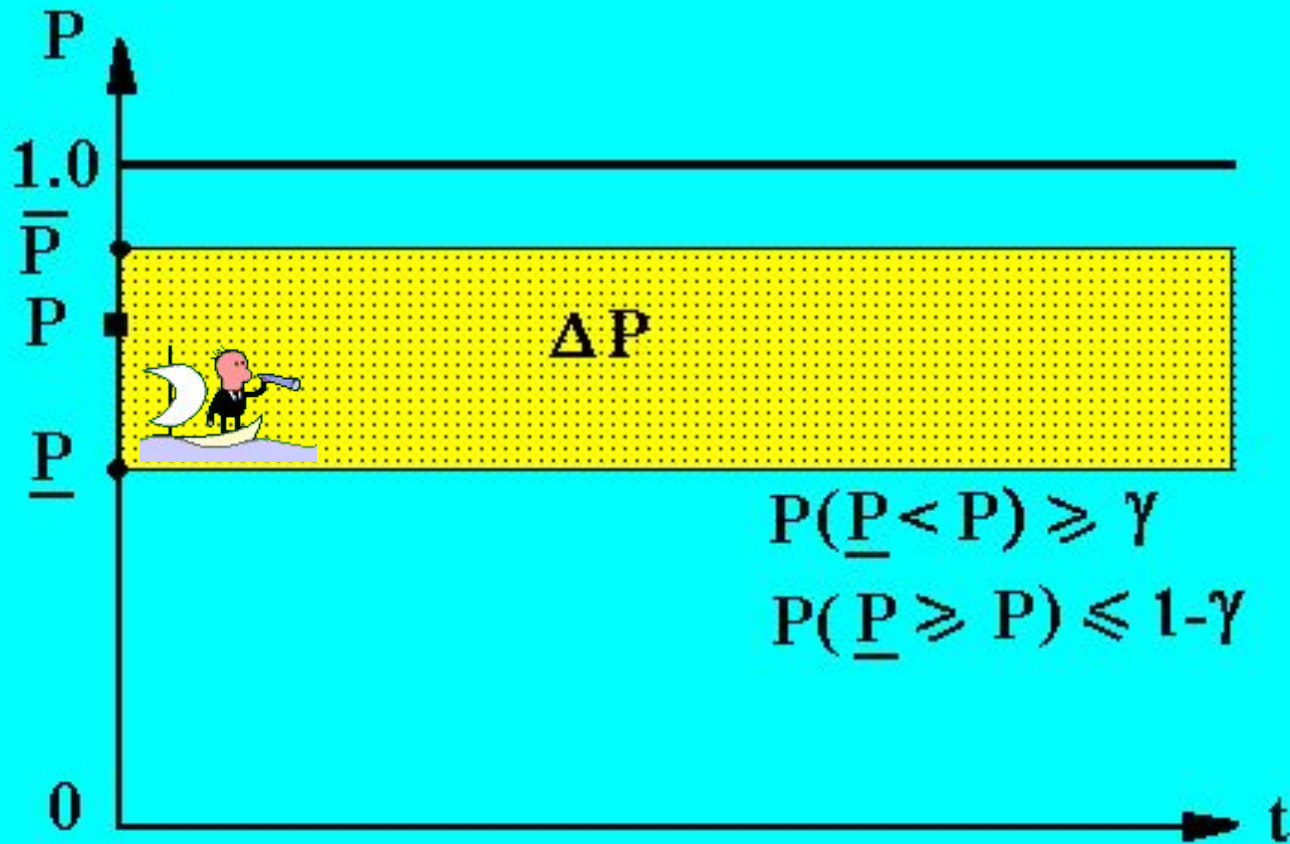
$$\tilde{p} = 1 - \frac{l}{N};$$

$$p = \tilde{p}(1-\gamma)^{\frac{1}{N-l}};$$



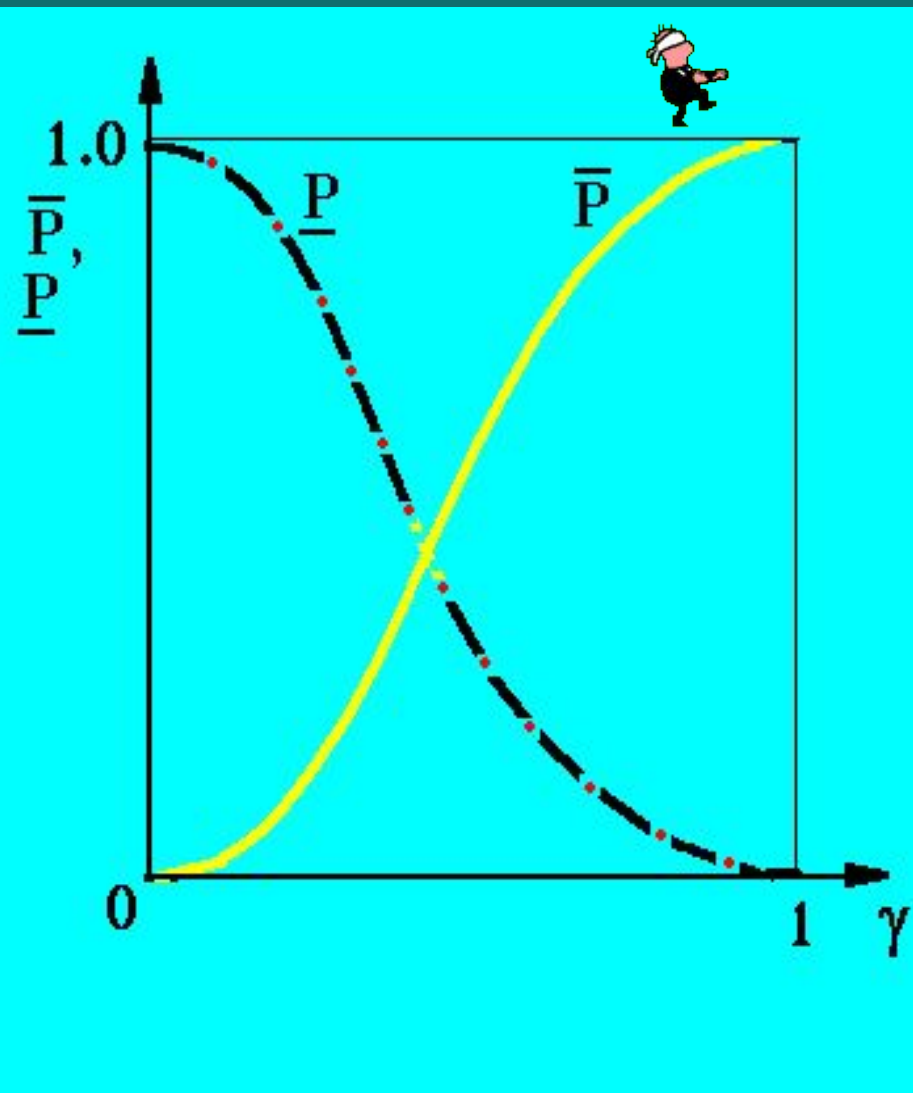
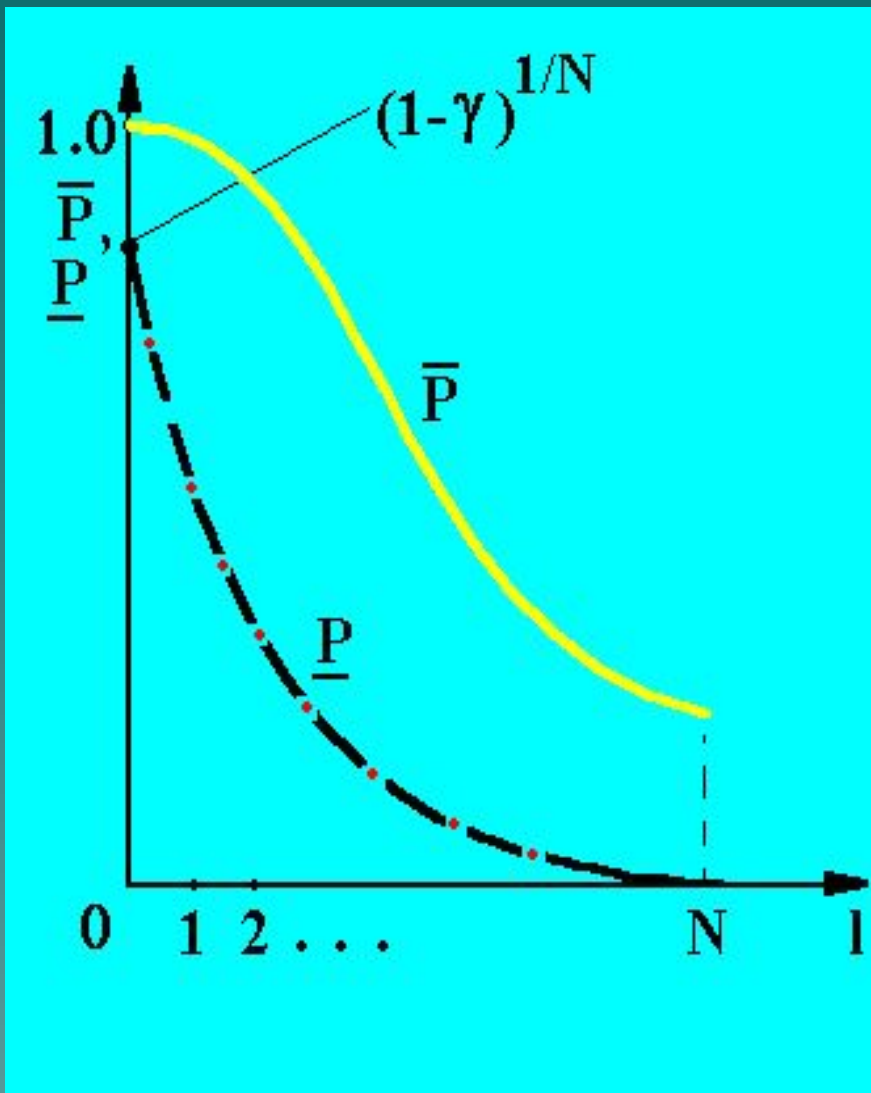
# Интервальная оценка вероятности безотказной работы

б) графическое представление





# Функции Клоппера-Пирсона





# Заключение

1. Определение закона надёжности для теплоэнергетического оборудования является важным этапом обеспечения безаварийной эксплуатации.
2. Для определения закона надёжности требуется соответствующая исходная информация.
3. При минимуме исходной информации используют интервальную оценку вероятности безотказной работы.





*Благодарю за внимание!*

