

НАДЁЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Зверев Егор Александрович к.т.н., доцент каф. ПТМ

1. Надежность

1.1. Основные термины и определения

Надёжность - это одно из основных свойств качества изделий, проявляющееся во времени и отражающее изменения, происходящие в машине на протяжении всего времени её эксплуатации.

(Согласно ГОСТ 27.002-89)

Надёжность есть свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надёжность характеризуют следующие основные состояния и события:

работоспособность

неработоспособность

исправность

неисправность

предельное состояние

отказ

повреждение

Надёжность

Безотказность –

Долговечность –

Ремонтопригодность –

Сохраняемость –

1.2. Характеристики случайных событий и случайные величины

Случайные события

Вероятность события –

Невозможное событие –

Частота события –

Случайные величины

Дискретная случайная величина -

Непрерывная случайная величина -

Закон распределения

1. Функция распределения случайной величины

$$F(x) = P(X < x).$$

2. Плотность распределения случайной величины

$$f(x) = dF(x)/dx = F'(x).$$

Числовые характеристики случайных величин

Среднее арифметическое случайной величины

$$\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 m_1 + X_2 m_2 + \dots + X_k m_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k X_i m_i$$

Среднее квадратическое отклонение случайной величины

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 m_i}{n-1}}$$

Коэффициент вариации ряда

$$v = \frac{\sigma(x)}{\bar{X}}$$

1.3. Показатели надежности

1.3.1. Показатели безотказности изделия

Вероятность безотказной работы -

$$0 \leq P(t) \leq 1$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $F(t)$ образуют полную группу событий:

$$P(t) + F(t) = 1$$

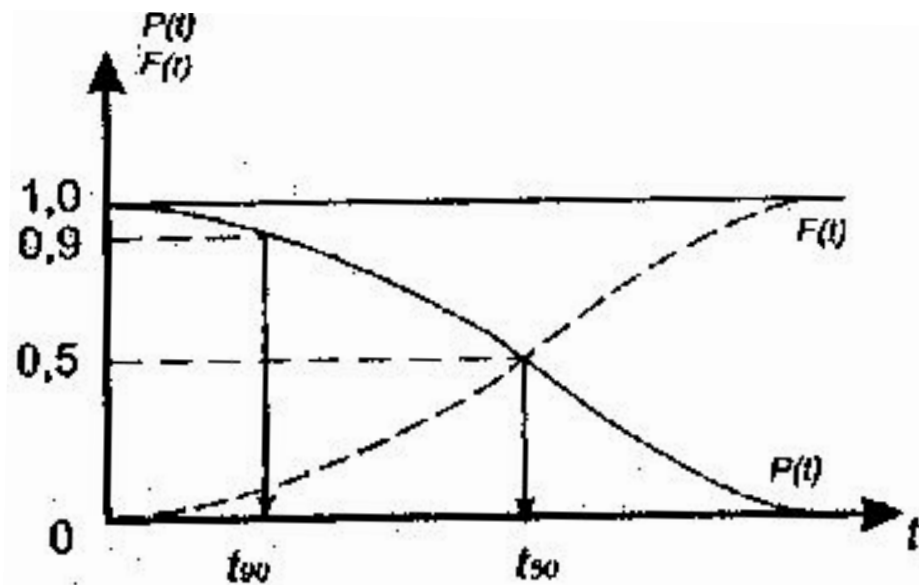


Рис. 1. Изменение вероятности безотказной работы $P(t)$ и отказа $F(t)$ по наработке t

Функция $P(t)$ определяется из выражений

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

$$\bar{P}(t) = \frac{N - \sum_{j=1}^r m_j}{N}$$

Наработка на отказ —

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{T}{n}$$

Средняя наработка до отказа —

$$\bar{t}_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j$$

Интенсивность отказов —

1.3.2. Показатели долговечности

- средний ресурс;
- средний срок службы;
- гамма-процентный ресурс.

- *Средний ресурс*

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$$

Гамма-процентный ресурс -

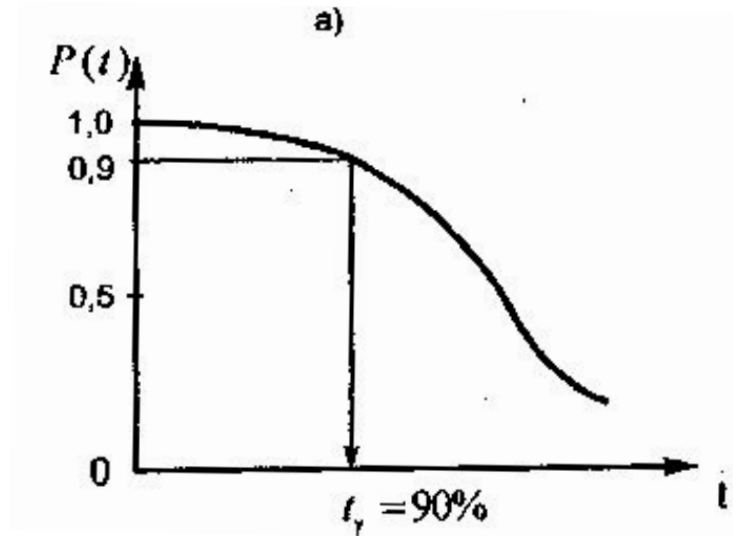


Рис. 2. Схема определения γ - процентного ресурса

$$1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f(t) dt = \frac{\gamma}{100}$$

1.3.3. Показатели ремонтпригодности

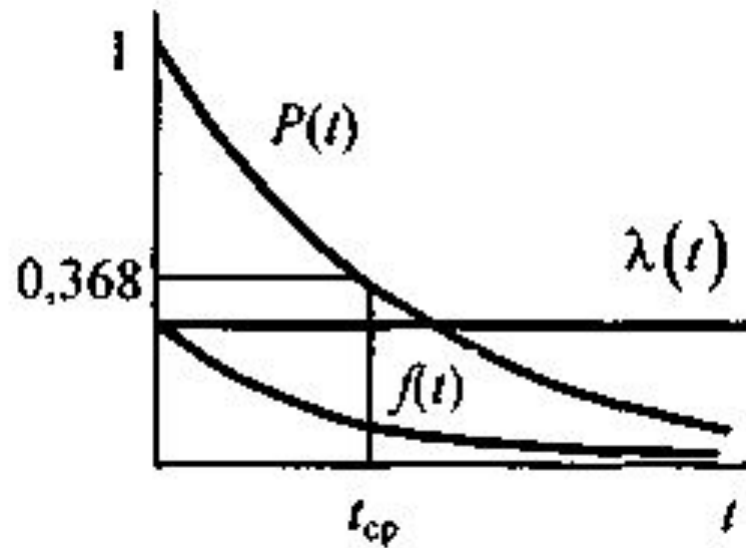
1.3.4. Показатели сохраняемости

1.4. Законы распределения случайных величин

1.4.1. Экспоненциальный закон распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{при } t > 0$$

где λ - параметр закона распределения; t - случайная величина наработки,



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

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$\sigma = t_{cp} = \frac{1}{\lambda}$$

$$v = \frac{\sigma}{t_{cp}} = 1$$

$$t_{\gamma} = \frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right)$$

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

1.4.2. Нормальный закон распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}}$$

где t_{cp} , σ - параметры нормального распределения

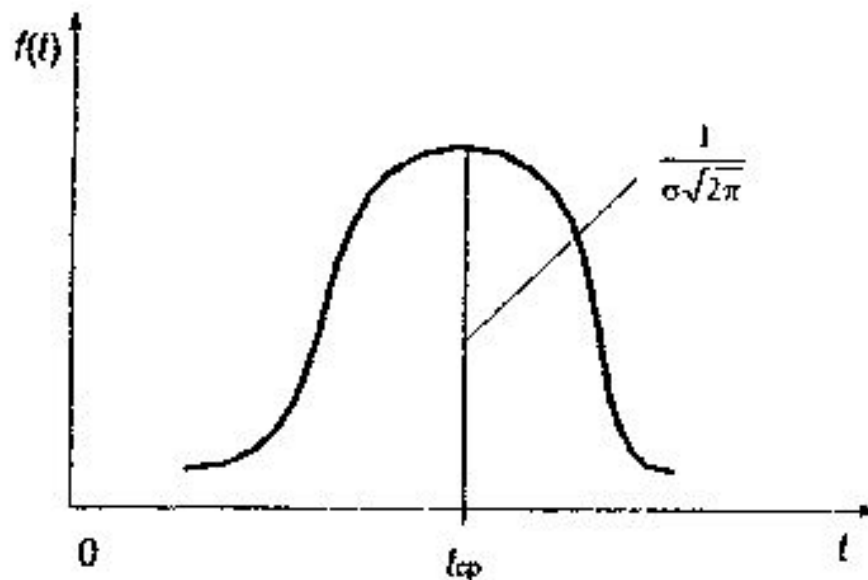


Рис. 4. Нормальное распределение

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{t - t_{cp}}{\sigma}\right)$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad z = \frac{t - t_{cp}}{\sigma}$$

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - t_{cp}}{\sigma}\right)$$

$$F(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - t_{cp}}{\sigma}\right)$$

$$\frac{\gamma}{100} = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - t_{cp}}{\sigma}\right)$$

1.4.3. Логарифмически нормальное распределение

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

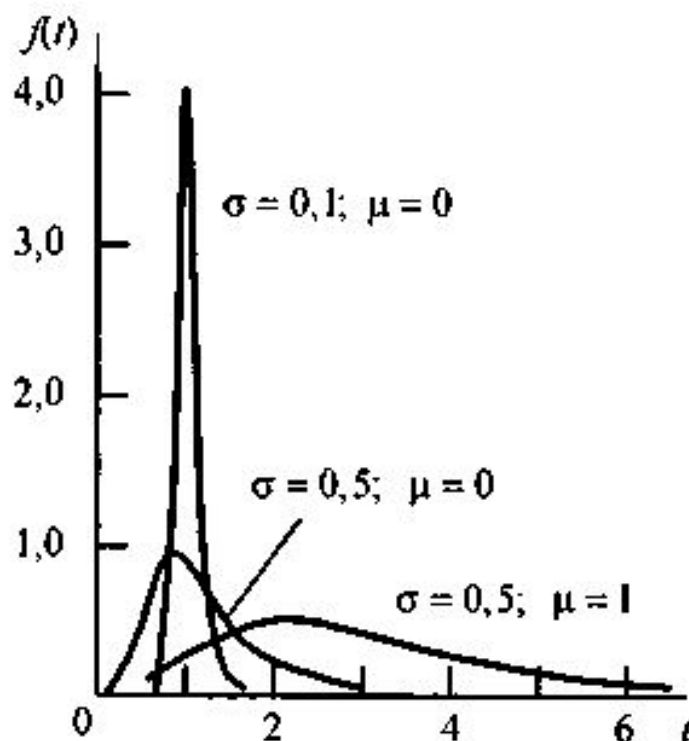


Рис. 5. Логарифмически нормальное распределение

$$y_0 = \frac{\sum \ln t_i}{N}$$

$$\sigma_{\ddot{e}} = \frac{\sum (\ln t_i - y_0)}{N - 1}$$

$$t_{cp} = e^{y_0 + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{e^{2y_0 + \sigma_{\ddot{e}}} (e^{\sigma_{\ddot{e}}^2} - 1)}$$

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma_{\ddot{e}}} f_0\left(\frac{\ln t - y_0}{\sigma_{\ddot{e}}}\right)$$

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{\ln t - y_0}{\sigma_{\text{л}}}\right)$$

$$F(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\ln t - y_0}{\sigma_{\text{л}}}\right)$$

$$\frac{\gamma}{100} = 0,5 - 0,5\Phi\left(\frac{\ln t_{\gamma} - y_0}{\sigma_{\text{л}}}\right)$$

1.4.4. Распределение Вейбулла

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

где a - параметр масштаба распределения, характеризующий растянутость кривых вдоль оси t ; b - параметр формы распределения.

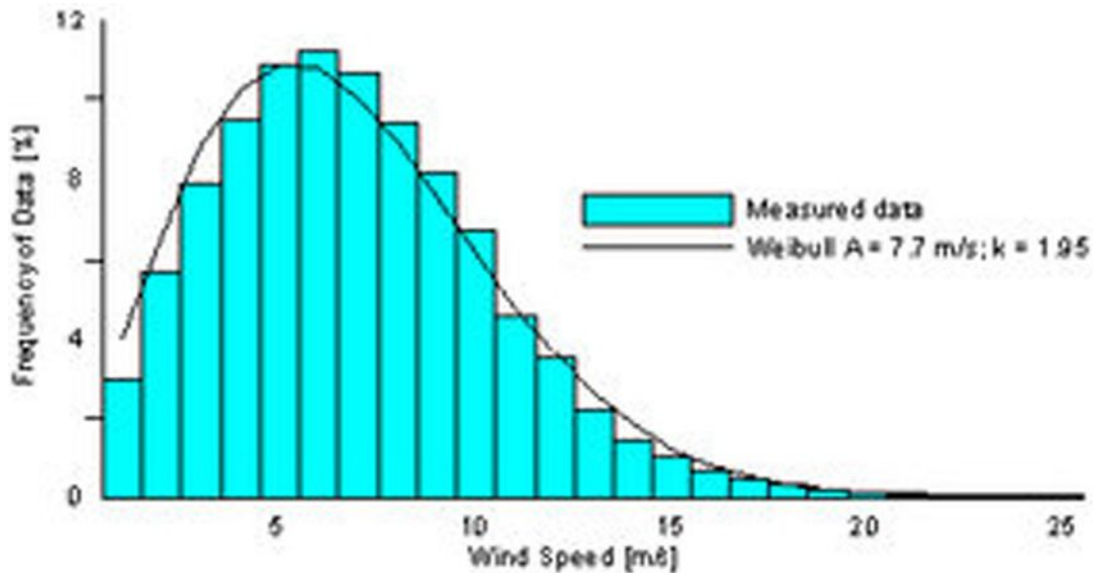


Рис. 6. Распределение Вейбулла

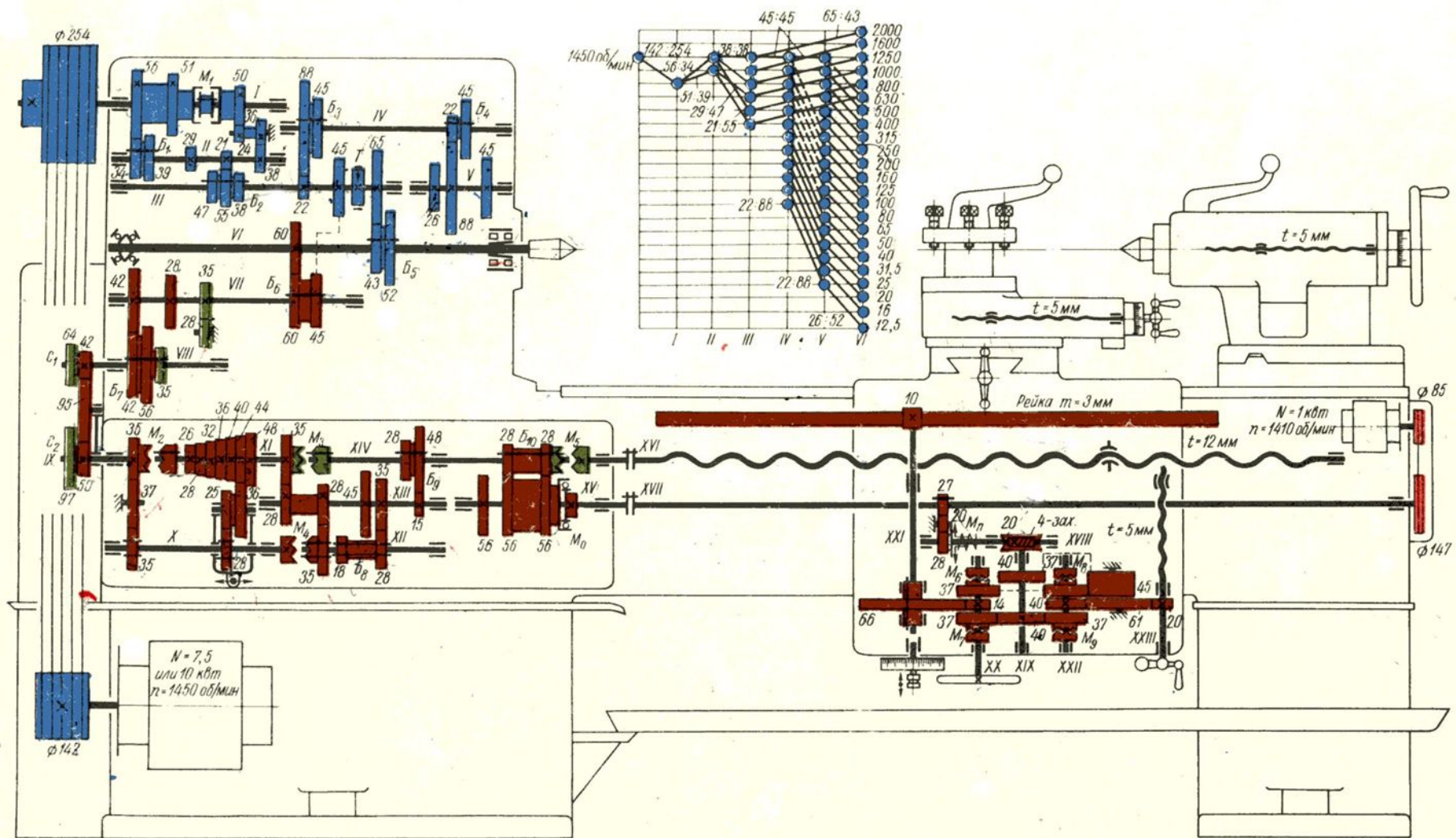
$$t_{cp} = ak_B \quad \sigma(t) = aq_B$$

где k и q – коэффициенты (табл)

$$v = \frac{\sigma}{t_{cp}} = \frac{q_B}{k_B}$$
$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$

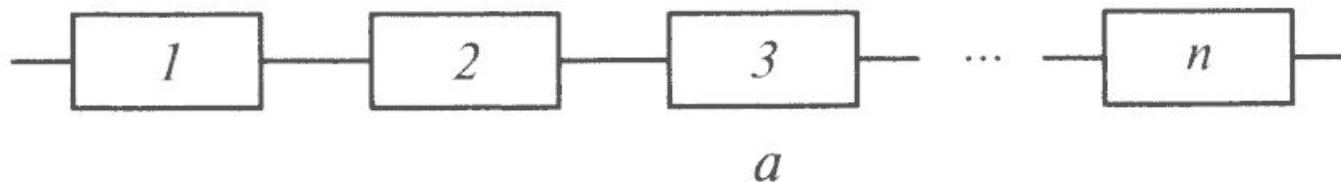
$$\frac{\gamma}{100} = e^{-\left(\frac{t\gamma}{a}\right)^b}$$

1.5. Расчет надежности при проектировании



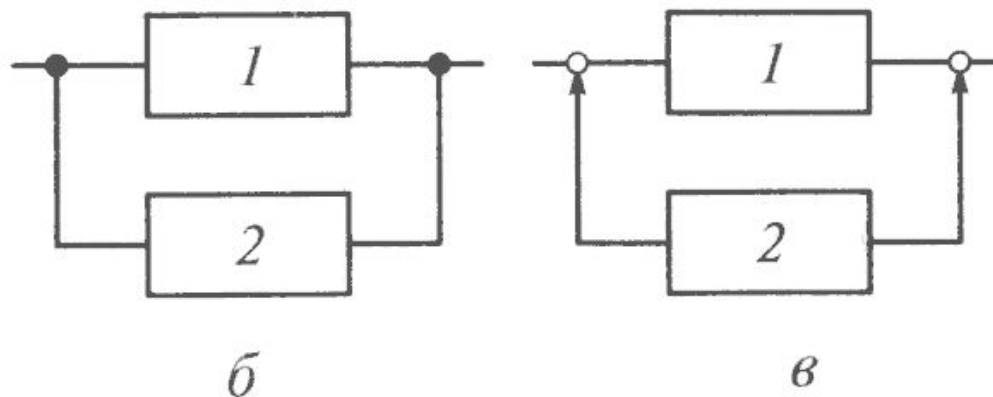
Токарно-винторезный станок мод. 1К62

1.5. Расчет надежности при проектировании



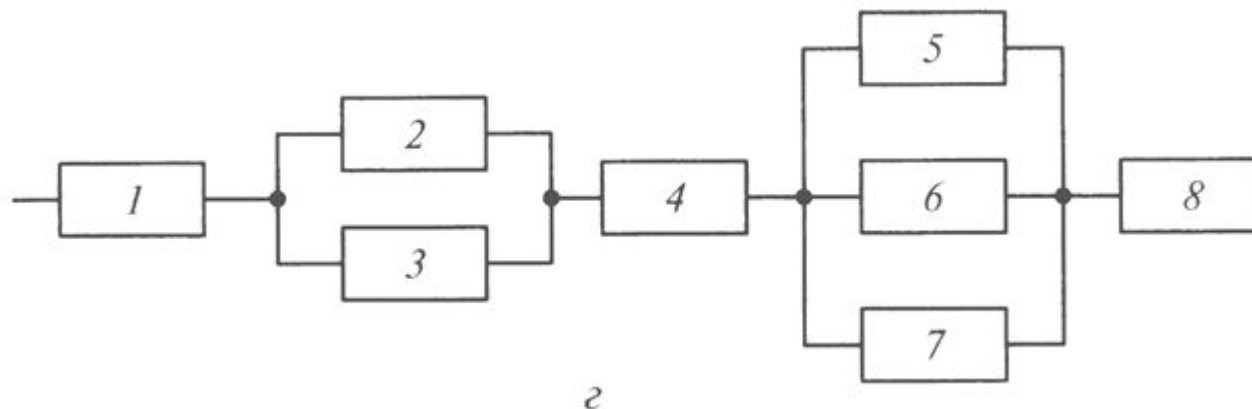
Последовательная система

1.5. Расчет надежности при проектировании



Параллельная система

1.5. Расчет надежности при проектировании



Смешанная система

1.5. Расчет надежности при проектировании

