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

<u>Безотказность</u> **–**

<u>Долговечность</u> **–**

<u>Ремонтопригодность</u> **–**

<u>Сохраняемость</u> **–**

1.2. Характеристики случайных событий и случайные величины

Случайные события

<u>*Вероятность события*</u> –

<u>*Невозможное* событие</u> –

<u>*Частота события*</u> –

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

<u>Среднее арифметическое</u> случайной величины

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

<u>Среднее квадратическое отклонение</u> случайной величины

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

<u>Коэффициент вариации ряда</u>

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

1.3. Показатели надежности
1.3.1. Показатели безотказности изделия

Вероятность безотказной работы -

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

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

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

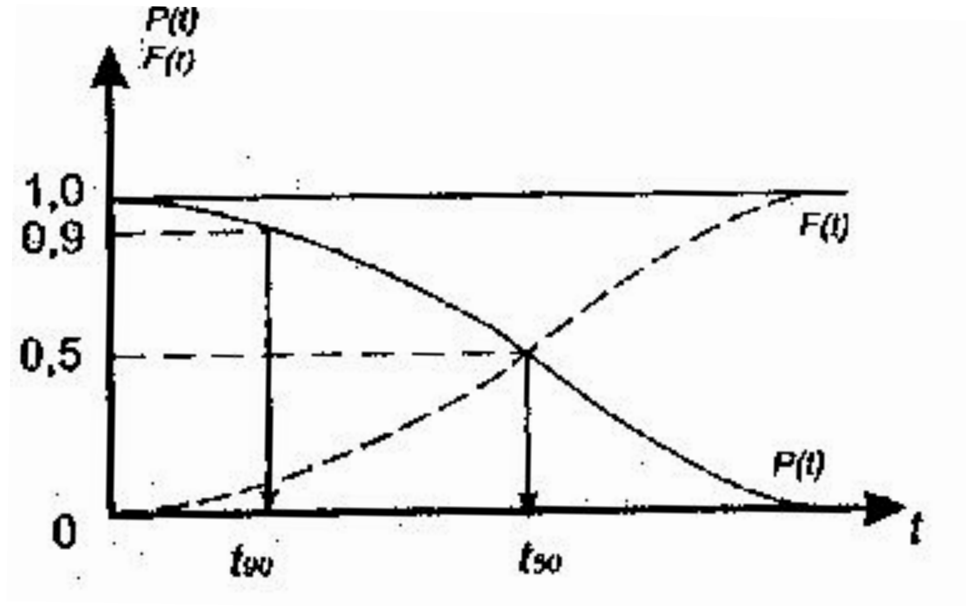


Рис. 1. Изменение вероятности безотказной работы *P(t)* и отказа *F(t)* по наработке *t*

Функция *P(t)* определяется из выражений

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

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

Наработка на отказ —

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

Средняя наработка до отказа –

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

Интенсивность отказов –

1.3.2. Показатели долговечности

- ***<u>средний ресурс</u>;***

-***<u>средний срок службы</u>;***

- ***<u>гамма-процентный ресурс</u>.***

- ***Средний ресурс***

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

Гамма-процентный ресурс -

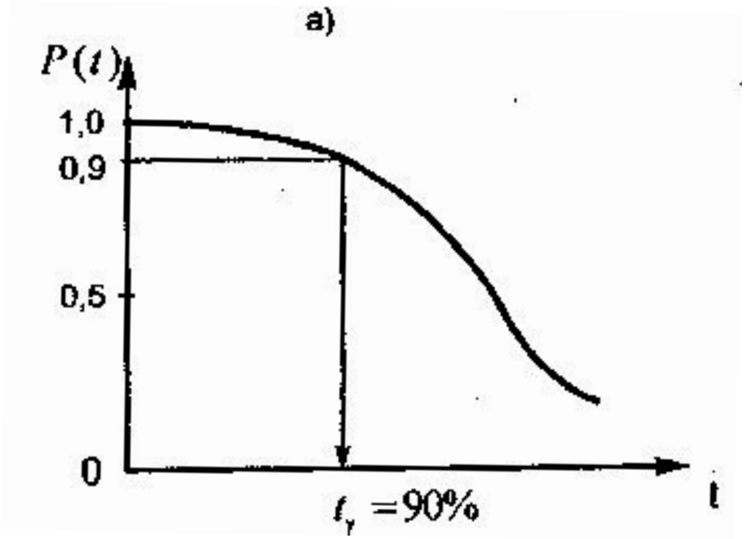


Рис. 2. Схема определения γ - процентного ресурса

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

1.3.3. Показатели ремонтопригодности

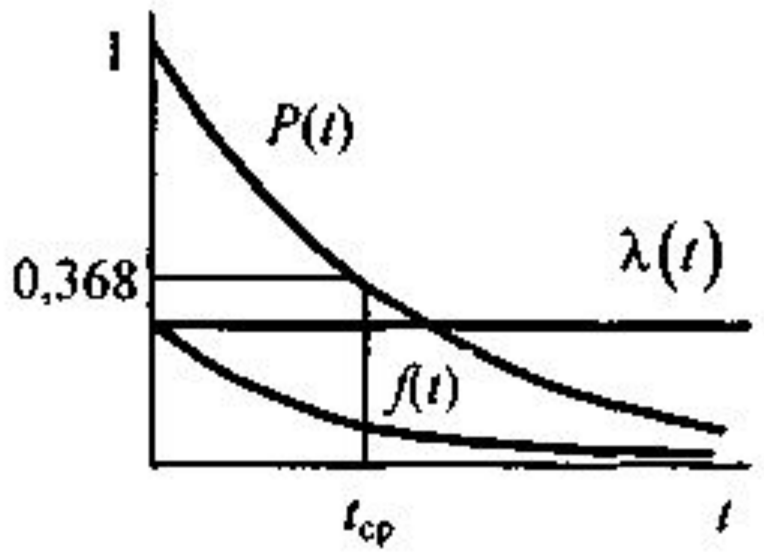
1.3.4. Показатели сохраняемости

1.4. Законы распределения случайных величин

1.4.1. Экспоненциальный закон распределения

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

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



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

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

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

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

$$t_\gamma = \frac{1}{\lambda}(-\ln\frac{\gamma}{100}) \qquad \lambda = \frac{f(t)}{e^{-\lambda t}} = \frac{f(t)}{P(t)}$$

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

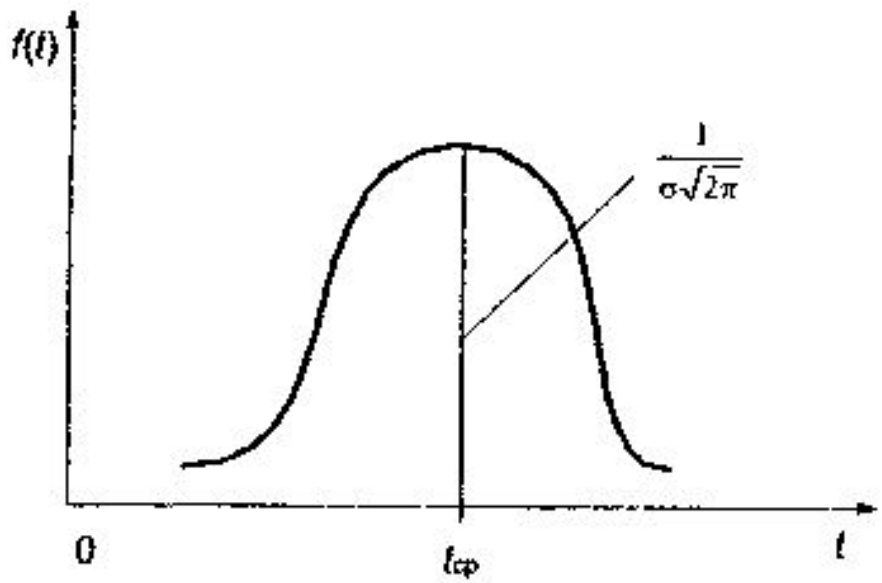


Рис. 4. Нормальное распределение

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

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

$$z = \frac{t - t_{cp}}{\sigma}$$

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

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

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

1.4.3. Логарифмически нормальное распределение

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - y_0)^2}{2\sigma_ё^2}}$$

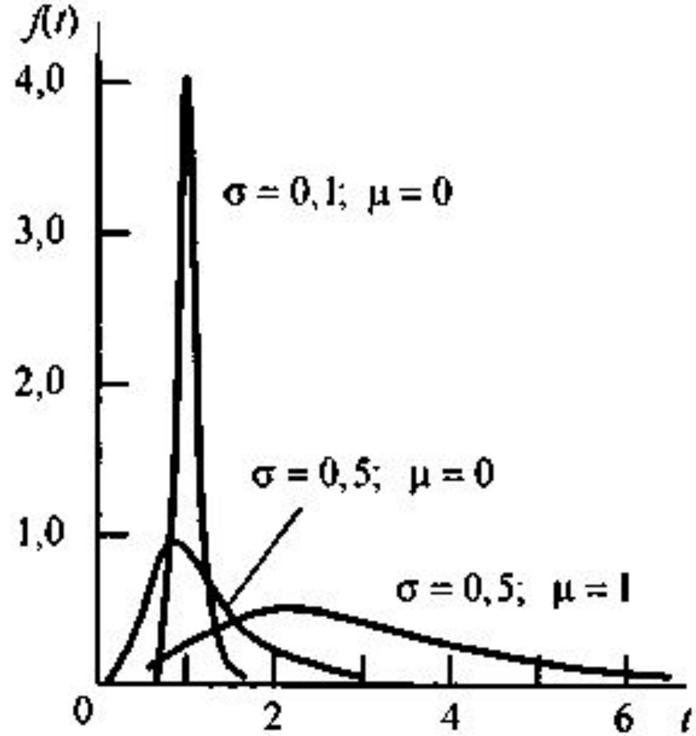


Рис. 5. Логарифмически нормальное распределение

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

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

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

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

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma_{ё}} f_0(\frac{\ln t - y_0}{\sigma_{ё}})$$

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

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

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

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.

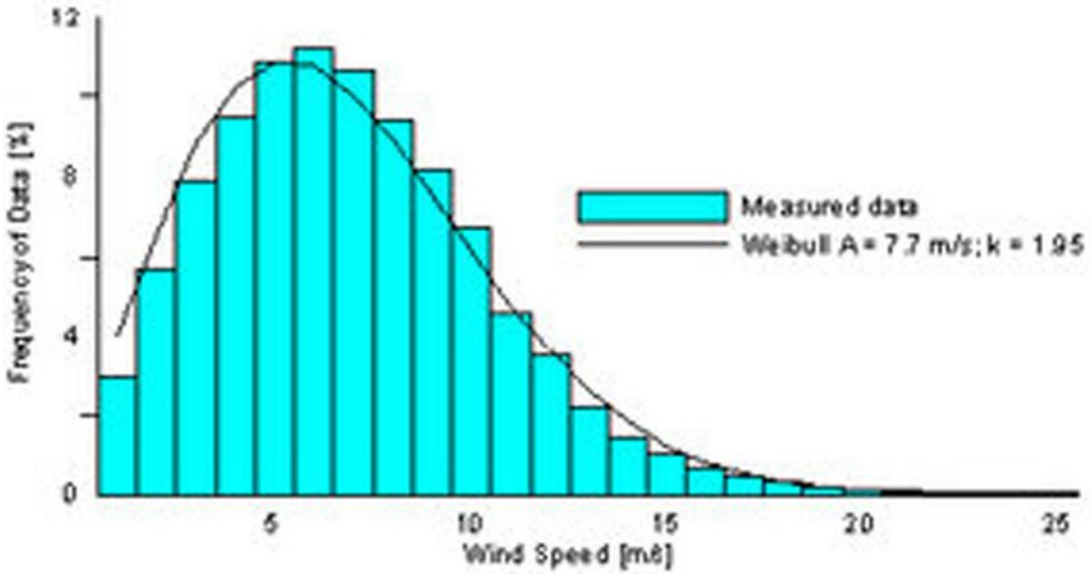


Рис. 6. Распределение Вейбулла

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

где k и q – коэффициенты (табл)

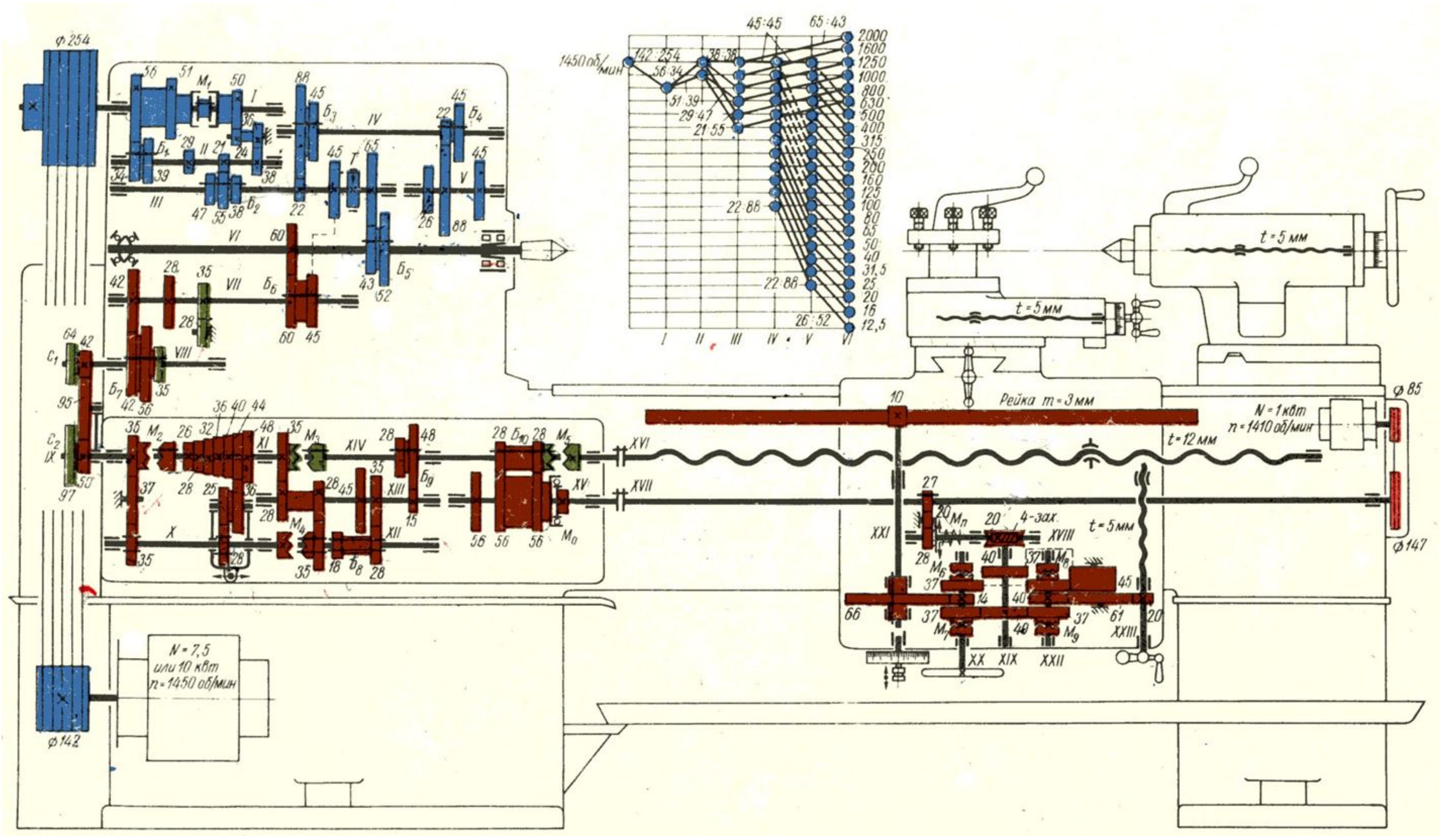
$$\nu = \frac{\sigma}{t_{cp}} = \frac{q_B}{k_B}$$

$$P(t) = e^{-(\frac{t}{a})^b}$$

$$F(t) = 1 - e^{-(\frac{t}{a})^b}$$

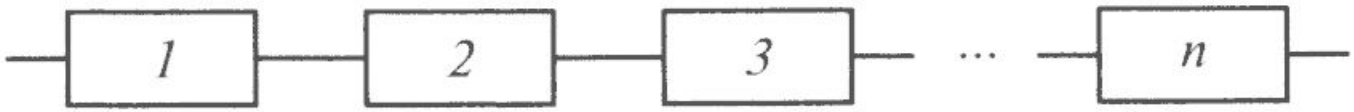
$$\frac{\gamma}{100} = e^{-(\frac{t_\gamma}{a})^b}$$

1.5. Расчет надежности при проектировании



Токарно-винторезный станок мод. 1К62

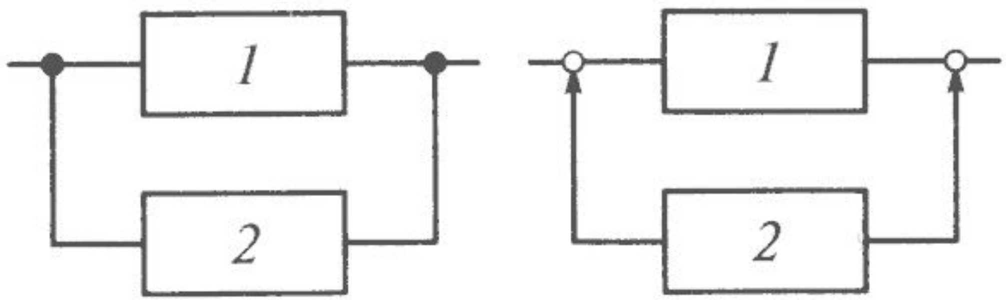
1.5. Расчет надежности при проектировании



a

Последовательная система

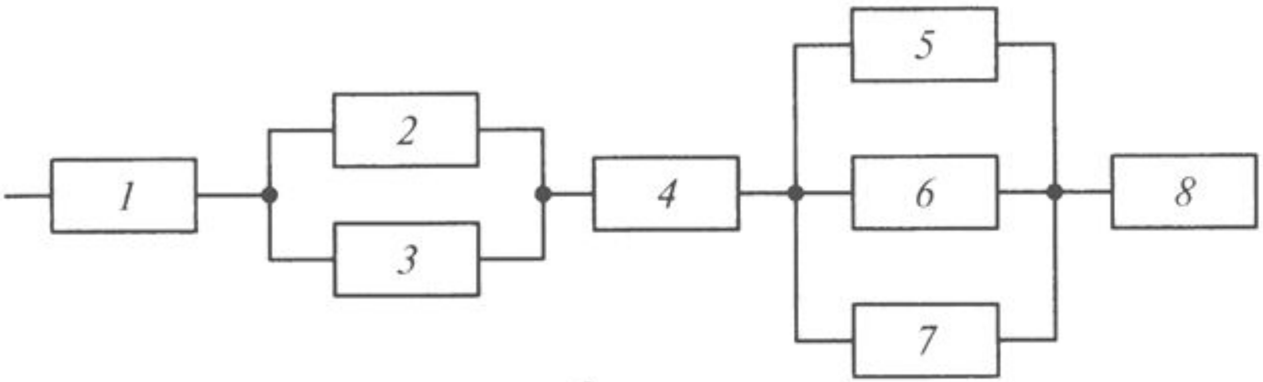
1.5. Расчет надежности при проектировании



б *в*

Параллельная система

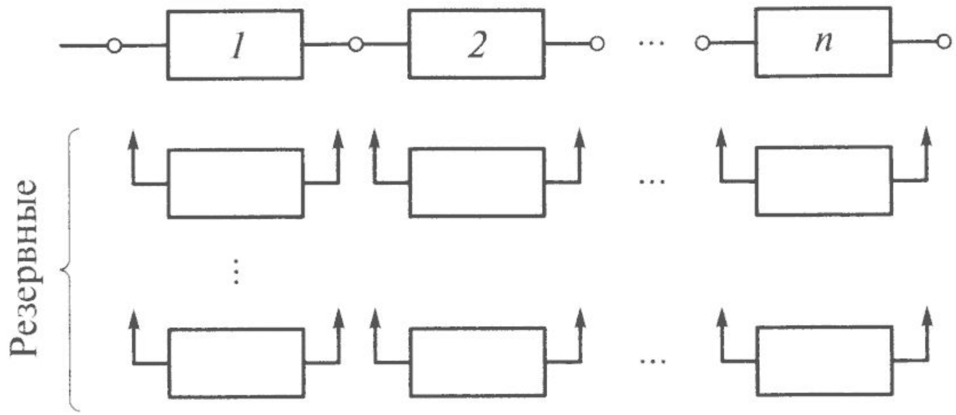
1.5. Расчет надежности при проектировании



г

Смешанная система

1.5. Расчет надежности при проектировании



д