МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»

НОВОМОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

# *ДИАГНОСТИКА И НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ*

Лабораторный практикум

Новомосковск
2018

**УДК 681.3**
**ББК**
**М**

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент *И.Д. Моисеева*
(НИ (филиал) ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева)
кандидат технических наук, доцент *А.Г.Лопатин*
(НИ (филиал) ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева)

Составители: Предместьин В.Р. Сидельников С.И. Киреев П.А.
М **Диагностика и Надёжность систем автоматизации.** Лабораторный практикум /ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2018. – 19 с.

Описание лабораторных работ по курсу «Диагностика и надёжность систем автоматизации» предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения обучающихся по специальности 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и содержит основные теоретические положения курса, необходимые для выполнения лабораторных работ, а также описание и методику их выполнения.

Библиогр.: 4 назв.
Таблиц 1.

УДК 681.3
ББК

**Оглавление**

# АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В связи с введением новых государственных общеобразовательных стандартов и изменением перечня вопросов, рассматриваемых в рамках курса «Надёжность систем автоматизации», появилась необходимость в разработке новых методических материалов. Программа курса и методические указания предназначены формирование у студентов знаний и умений, необходимых для обеспечения надежности программно-технических средств и систем автоматизации.

**Новизна.** В настоящее время какие-либо методические материалы по программе курса отсутствуют, что создаёт существенные проблемы для освоения студентами данной дисциплины.

**Содержание.** В методических указаниях представлены основные понятия надёжности, рассмотрены основы теории курса, включающие определение основных характеристик (показателей) надёжности автоматических систем и программных средств, а также методы их расчёта.

- материалы, необходимые для выполнения студентами лабораторных и контрольных работ по программе дисциплины, а также требования к их оформлению; рассмотрены примеры решения задач. Приведены примеры оценки эффективности сложных программно-технических систем автоматизации, методы проектирования простых технических систем с заданными показателями надёжности.

Материалы, предоставленные в пособии, могут использоваться студентами при изучении дисциплин «Проектирование систем автоматизации», «Автоматизация технологических процессов и производств», а также при курсовом и дипломном проектировании.

## Лабораторная работа №1

**Определение вида закона распределения наработки до отказа по результатам испытания технической системы**

**Цель работы**: освоить методику определения вида закона распределения наработки до отказа.

## Теоретические законы распределения времени наработки до отказа

Надежность автоматических систем можно оценить, используя экспериментальные статистические данные по которым с определенной точностью можно подобрать теоретический закон распределения времени наработки до отказа. А затем по этому закону можно определить надежность проектируемых и вновь создаваемых систем. В качестве теоретического закона безотказности можно использовать любой известный закон из теории вероятности. Однако в теории надежности наиболее распространены следующие законы безотказности:

1. Экспоненциальный
2. Нормальный
3. Логонормальный (логарифмический нормальный)
4. Закон Вейбулла

Поэтому при определении вида закона распределения рекомендуется аппроксимировать экспериментальные характеристики этими законами в той последовательности, которая указана выше

### *Экспоненциальный закон*

Вероятность безотказной работы системы определяется выражением: $P(t) = e^{-\lambda t}$,

где $\lambda$ - показатель экспоненциального закона

Вероятность отказа - $g(t) = 1 - e^{-\lambda t}$;

Частота отказов- $f(t) = \frac{dg(t)}{dt} = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$;

Интенсивность отказов - $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{const}\cdot$

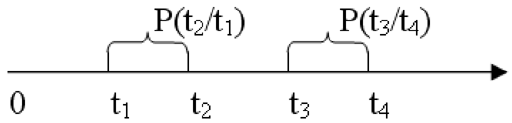
Интенсивность отказов равна параметру экспоненциального закона и является постоянной величиной (const).

Среднее время наработки на отказ определяется выражением:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}dt = \frac{1}{\lambda}; \quad T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \qquad \lambda = \frac{1}{T_{cp}}\cdot$$

Найдем условную вероятность, которая определяется как вероятность безотказной работы системы на интервале времени ($t_1 - t_2$, $t_3 - t_4$ и т.д.):

$$P\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)} = \frac{e^{-\lambda t_2}}{e^{-\lambda t_1}} = e^{-\lambda(t_2 - t_1)},$$




$\Delta 1 = t_2 - t_1$
$\Delta 2 = t_4 - t_3$
$\Delta 1 = \Delta 2.$

Рис. 1.Определение вероятности наработки на отказ
при экспоненциальном законе распределения

Из анализа условной вероятности видно (рис. 1), что вероятность безотказной работы зависит от величины интервала времени и не зависит от начального момента этого интервала, то есть от предыстории. Таким образом, системы, для которых характерен экспоненциальный закон распределения, при расчете условной вероятности безотказной работы на любом интервале их можно рассматривать как новые.

### *Свойства экспоненциального распределения*

Экспоненциальный закон распределения описывает сложные системы, состоящие из большого количества неоднородных элементов, как правило подверженных механическим и климатическим воздействиям. Экспоненциальный закон характерен внезапным отказам (описывают системы автоматического регулирования, вычислительные системы и т.п.)

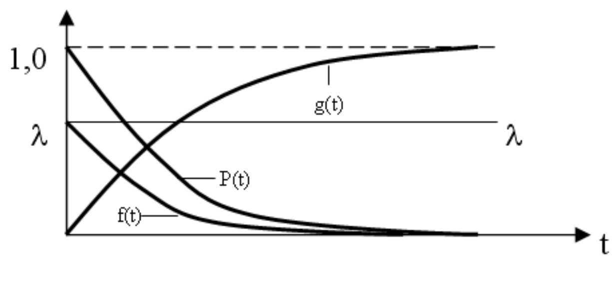



Рис. 2. Зависимость параметров экспоненциального распределения от времени

### *Усеченный нормальный закон*

В нормальном (гауссовском) распределении случайная величина меняется в диапазоне от -∞ до +∞. В теории надежности случайной величиной является время безотказной работы T(0;+ ∞) и мы можем использовать только усеченное нормальное распределение. В этом случае:

$$\bar{f}(t) = \begin{cases} 0, t \le 0 \\ c \cdot f(t), t > 0 \end{cases}$$

где f(t) – плотность распределения случайной величины для нормального ( не усеченного ) закона.

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

это выражение определяет зависимость f(t) от случайной величины.

σ - среднеквадратичное отклонение (СКО);

m – математическое ожидание;

c – множитель, устанавливающий связь между нормальным и усеченным нормальным распределением.

$$\int_0^\infty \bar{f}(t)dt=1;\qquad \int_0^\infty c\cdot f(t)dt=1\Rightarrow c=\frac{1}{\int_0^\infty f(t)dt};\ \bar{f}(t)=c\cdot f(t)=\frac{f(t)}{\int_0^\infty f(t)dt}.$$

В практических случаях, чтобы не брать интеграл от f(t) переходят к иной переменной

$$\frac{t-m}{\sigma}=U;\qquad c=\frac{1}{\Phi(U)};\qquad \Phi(U)=\frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}}\cdot\int_0^\infty e^{-\frac{U^2}{2}};$$

Φ(U) – нормированная функция Лапласа.

Имеются соответствующие таблицы, в которых при заданном U можно найти значение Φ(U).

$$\bar{P}(t)=c\cdot\left(0{,}5-\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)\right);\quad \bar{g}(t)=c\cdot\left(0{,}5+\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)\right);$$

$$\bar{\lambda}(t)=\frac{\bar{f}(t)}{\bar{P}(t)}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma}\cdot c^{-\frac{(t-m)^2}{2\cdot\sigma^2}}}{0{,}5-\Phi\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)};$$

$$T_{cp}=\frac{c}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma}\cdot\int_0^\infty t\cdot c^{-\frac{(t-m)^2}{2\cdot\sigma^2}}dt$$ - среднее время наработки до отказа.

При $\frac{m}{\sigma}>3$ $c\approx 1$ Поэтому при практических расчетах можно пользоваться нормальным распределением.

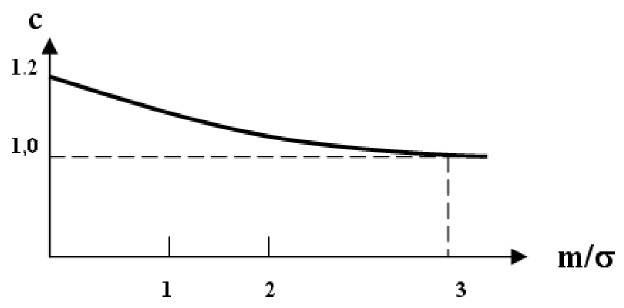



Рис. 3. Зависимость множителя с от соотношения m/σ

В том случае, если соотношение m/σ меньше 3, то переход от нормального распределения можно реализовать, определив множитель с из графика (Рис. 3.), в зависимости от величины соотношения m/σ.

Из графика интенсивности отказа видно, что при расчете условной вероятности, она зависит от предыстории.

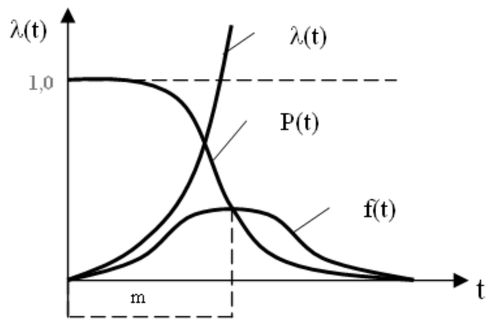



Рис. 4. Зависимость параметров усечённого нормального распределения от времени

Этот закон применяется для систем подверженных износу и согласно классификации отказов для постепенных отказов.

### *Логарифмический нормальный закон безотказности*

Ввиду большого практического значения нормального закона безотказности его часто применяют для аппроксимации экспериментальных распределений при явной их несимметричности относительно математического ожидания. В этом случае логарифмируют случайную величину Т (время наработки на отказ), т.е. берут lgT, lnT и т.п.

В этом случае переходят от нормального к логарифмическому нормальному закону.

Определим частоту отказа:

1. $f(t)=\frac{T_1}{\sqrt{2\cdot\pi\cdot\sigma_1\cdot t}}\cdot e^{-\left[\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{T_1}{\sigma_1}\right)^2\cdot\left(\ln\frac{t}{T_1}\right)^2\right]}$; $\sigma_1$ – среднее квадратичное отклонение.

2. $P(t)=0{,}5-\Phi\left(\frac{T_1}{\sigma_1}\cdot\ln\frac{t}{T_1}\right)$ - вероятность безотказной работы;

   вероятность возникновения отказа:

   $g(t)=0{,}5+\Phi\left(\frac{T_1}{\sigma_1}\cdot\ln\frac{t}{T_1}\right)$

3. интенсивность отказа: $\lambda(t)=\frac{f(t)}{P(t)}$

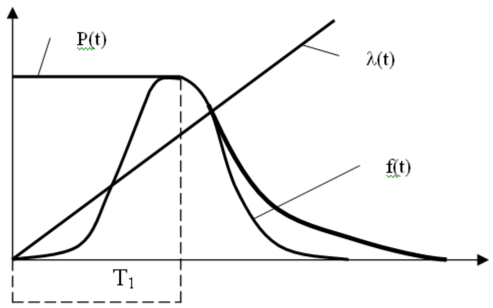



Рис. 5. Зависимость параметров логарифмического нормального распределения от времени

Логарифмический нормальный закон безотказности применим для описания систем подверженных износу.

Рассмотренные теоретические законы безотказности - нормальный и логонормальный с одной стороны, и экспоненциальный с другой стороны - характеризуют два крайних случая влияния предыстории системы на её работоспособность в будущем. В первом случае предыстория влияет значительно на возникновение отказа в будущем, т.е. с течением времени система стареет, становится менее надежной. Во втором случае (экспоненциальный закон) количество отказов в будущем не зависит от предыстории системы. Во многих практических случаях необходимо экспериментальное распределение, описанное промежуточным законом. Одним из таких является закон Вейбулла.

1. $P(t)=e^{-k\cdot t^{\upsilon}}$;

где k и $\upsilon$ - параметры распределения Вейбулла
k – масштабируемый коэффициент; при его изменении кривые либо расширяются, либо сужаются.

$\upsilon=(1..2)$;

2. $f(t)=-\frac{dP(t)}{dt}=-e^{-k\cdot t^{\upsilon}}\cdot\ln e\cdot\left(-k\cdot t^{\upsilon}\right)_t^{1}=k\cdot\upsilon\cdot t^{\upsilon-1}\cdot e^{-k\cdot t^{\upsilon}}$;

3. $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = k \cdot \upsilon \cdot t^{\upsilon - 1}$

В случае $\upsilon=1 \Rightarrow P(t)=e^{-kt}$ - экспоненциальный закон

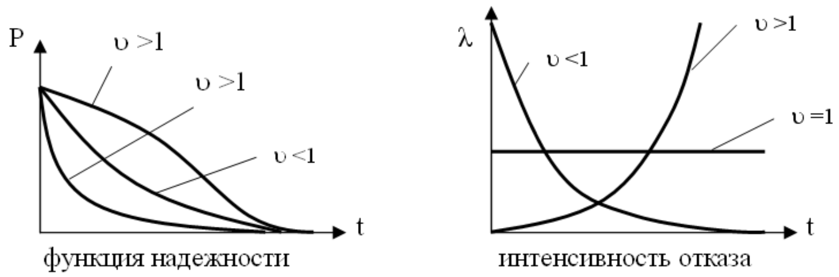



Рис. 5. Функции надёжности и интенсивности отказа при различных значениях υ

**Описание лабораторного стенда**: Все лабораторные работы выполняются в компьютерном классе на персональных компьютерах конфигурации не ниже: Celeron 1000/DDR 256Mb в среде Mathcad 2000.

## Порядок выполнения работы

1. Согласно варианта (Приложение 1), определяемого для каждого студента преподавателем по списку, по полученному в результате опыта вариационного ряда времен исправной работы системы, построить гистограммы количественных характеристик надежности (P(t),f(t), λ(t)) согласно таблице 1, в которой обозначено:

таблица 1.

Количественные характеристики надежности

| $\Delta t_i$ | $n\Delta t_i$ | $P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}$ | $f(t) = \frac{n(\Delta ti)}{N \cdot \Delta t_i}$ | $\lambda(t) = \frac{n(\Delta ti)}{N_{cp} \cdot \Delta t_i}$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

$\Delta t_i$ –длина i-го интервала времени; $n(\Delta t_i)$-число отказов на участке $\Delta t_i$ ; n(t)-число отказавших элементов за время $t_i$ ; N-число систем (элементов), первоначально установленных на испытание; $N_{cp}$- среднее число исправно работающих элементов в промежутке $\Delta t_i$; P(t),f(t), λ(t)- вероятность безотказной работы, частота отказов, интенсивность отказов соответственно.

2. Полученные гистограммы аппроксимируются соответствующими кривыми (экспоненциальным, усеченным нормальным, логарифмически-нормальным, Вейбулла законами распределения ) в перечисленном порядке.

Для подбора вида теоретического распределения, достаточно близко подходящего к полученному эмпирическому распределению , чаще всего применяется метод наименьших квадратов. Метод наименьших квадратов применяется для определения параметров распределения . Он заключается в подборе такой функции распределения заданного вида, при которой минимизируется величина.

$$S = \sum_{i=1}^{k} [a_э(t_i) - a_T(t_i, \alpha_1, \alpha_2)]^2 -> \min$$

где $a_э(t_i)$ -экспериментальное значения параметра;

$a_T(t_i, \alpha_1, \alpha_2)$ -теоретическое значение .

Для определения величин $\alpha_1$ и $\alpha_2$ составляются уравнения

$$\frac{\partial s}{\partial \alpha_1} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial s}{\partial \alpha_2} = 0,$$

где: для усеченного нормального и логарифмического нормального законов распределения,

$\alpha_1 = m_t$ (математическое ожидание),

$\alpha_2 = \sigma_t$ (среднеквадратическое отклонение);

для экспоненциального распределения - $\alpha_1 = \lambda$ (интенсивность отказов ),

для распределения Вейбулла – $\alpha_1 = \lambda,\ \ \alpha_2 = k$

3. Для оценки степени совпадения эмпирической и теоретической кривых распределения применяются так называемые критерии согласия : критерий Колмогорова или критерий $\chi^2$ (кси квадрат) - критерий Пирсона.

В случае использования критерия А.Н. Колмогорова часто оценку проводят по значению $D \cdot \sqrt{K}$, где D-наибольшее отклонение теоретической кривой распределения от эмпирической; К – общее количество экспериментальных точек.

Для удовлетворительного согласия эмпирического и теоретического распределения необходимо, чтобы $D \cdot \sqrt{K}$ <1.5, оптимальный интервал значений $D \cdot \sqrt{K} \leq 1$.

Оценка по критерию $\chi^2$ производится в следующем порядке:

1. разбивается область предполагаемого (гипотетического) распределения на N интервалов $[0, t_1]$, $[t_1, t_2]$, … $[t_{N-1}, \infty]$, при этом интервалы могут быть и не равны друг другу; каждый интервал должен содержать 5-8 точек;
2. рассчитываем теоретическую вероятность $P_i$ попадания в i – ый интервал $[t_{i-1}, t_i]$;
3. производится подсчет числа членов выборки $m_i$, фактически попавших в каждый i – ый интервал;
4. определяется сумма $\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$;
5. определяется число степеней свободы k = N – 1;
6. по заданному уровню значимости ε (обычно из набора 0,1; 0,05; 0,01; 0,001) по формуле п.3.1 приложения 2 определяют $\chi^2$ (N –1, ε).

Если $\chi_0^2 \leq \chi^2(N-1, \varepsilon)$, то считаем предполагаемое теоретическое распределение согласуется с экспериментальными данными. При положительном результате, проверяем по критерию согласия все характеристики надежности.

**Если** $\chi_0^2 > \chi^2(N-1,\varepsilon)$**, то считаем, что эксплуатационные данные не соответствуют выбранному закону распределения**

В последнем случае переходят к следующему виду теоретического закона распределения и все расчеты проводят заново.

**Содержание отчета**: Отчёт должен содержать графики зависимостей показателей надёжности от времени, расчёты для аппроксимации полученных данных известными законами распределения, вывод о согласованности теоретического распределения с экспериментальными данными.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные законы безотказности.
2. Как связаны между собой интенсивность отказов, плотность распределения и вероятность безотказной работы при различных законах распределения?
3. Что такое условная вероятность?
4. Как проверяется адекватность выбранного закона распределения?
5. Какие критерии согласия вы знаете?
6. Перечислите основные признаки классификации отказов.
7. Каким образом осуществляется переход от нормального закона распределения к усеченному нормальному закону?
8. Какие составляющие надёжности вы знаете?
9. Что характеризует показатель долговечности?

## Лабораторная работа №2

### Оценка параметров времени исправной работы технической системы

**Цель работы**: освоить методику оценки параметров времени исправной работы технической системы.

### Расчёт оценок параметров законов распределения

В результате испытаний можно получить точечные оценки значения параметра. Они обозначаются также, как и сам параметр, и можно получить интервал оценки, при котором определяется какой интервал оценок с заданной доверительной вероятностью α накрывает математическое ожидание оцениваемого параметра. Граница такого интервала называется доверительным интервалом.

$\alpha = \textit{вероятность}(\theta_н \le \theta \le \theta_в)$,

где $\theta_н$ и $\theta_в$ - соответственно, нижняя и верхняя границы.

Вероятность того, что значение оцениваемого параметра выйдет за границы называется уровнем значимости:

$\beta = вероятность(\theta_н > \theta > \theta_в) = 1 - \alpha$

Наиболее часто α=0,9; 0,95; 0,99.

Чем выше α, тем шире доверительный интервал и наоборот.

Доверительная вероятность характеризует степень достоверности результата в двусторонней оценке.

Экспоненциальный закон: $\lambda_н = \frac{\chi^2_{(1-\alpha_1)(2n)}}{2 \cdot t_\Sigma}$ $\lambda_в = \frac{\chi^2_{(\alpha_2)(2n)}}{t_\Sigma}$,

где $t_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} t_i$ суммарная наработка на отказ; n – количество отказов изделий (системы).

Оценка: $\hat{\lambda} = \frac{n}{t_\Sigma}$

Нормальный и логарифмический нормальный законы:

Среднее время наработка на отказ - $\hat{T} = (\sum_{i=1}^{n} t_i) / n$,

СКО - $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (t_i - \hat{T})^2)}{n-1}}$.

Верхний и нижний пределы определяются как:

$T_н = \hat{T} - t_{\alpha_1(n-1)} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{n}$ и $T_в = \hat{T} - t_{(1-\alpha_1)(n-1)} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{n}$,

где t – критерий Стьюдента; (n-1) – степень свободы;

$\alpha_1$ и $\alpha_2$ – доверительные вероятности.

## Порядок выполнения работы

1. Согласно варианту, полученному при выполнении первой лабораторной работы, требуется рассчитать оценки параметров законов распределения, согласно приведённым формулам.
2. Расчёт повторить для различных значений доверительного интервала α=0,9; 0,95; 0,99.
3. Полученные результаты отобразить графически, построив графики теоретической зависимости и графики нижней и верхней границ доверительного интервала.
4. Сделать выводы о законе распределения описывающего выборку, представленную в варианте.

**Содержание отчёта:** Отчёт должен содержать расчёты доверительных интервалов для каждого закона распределения, графики полученных зависимостей; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое доверительный интервал?
2. Что такое доверительная вероятность?
3. Каким образом определяется среднее время наработки на отказ?
4. Перечислите наиболее часто употребляемые при технических расчётах значения доверительной вероятности.
5. Какие изделия, элементы и системы относятся к невосстанавливаемым?
6. Какие показатели надёжности используются для характеристики невосстанавливаемых изделий?

## Лабораторная работа №3

### Исследование методов повышения надёжности системы за счёт применения резервных элементов

**Цель работы**: освоить методику повышения надёжности технической системы за счёт анализа её структурной схемы и введения перекрёстных связей.

### Расчёт структурных схем надёжности

Согласно теории надёжности [4], безотказность и вероятность отказа любой структурной схемы системы может быть рассчитана путём последовательного применения к схеме следующих уравнений:

$$P(p_1, p_2, ... p_n) = p_i \cdot \left[P(p_1, p_2, ..., p_n)_{p_i=1}\right] + (1 - p_i) \cdot \left[P(p_1, p_2, ..., p_n)_{p_i=0}\right],$$

$$Q(q_1, q_2, ... q_n) = q_i \cdot \left[Q(q_1, q_2, ..., q_n)_{q_i=1}\right] + (1 - q_i) \cdot \left[Q(q_1, q_2, ..., q_n)_{q_i=0}\right]$$

Таким образом, безотказность автоматической системы равна безотказности одного элемента, умноженной на функцию безотказности системы при условии, что этот элемент структурной схемы замкнут накоротко, плюс вероятность отказа этого элемента, умноженная на функцию безотказности системы при условии, что этот элемент оборван.

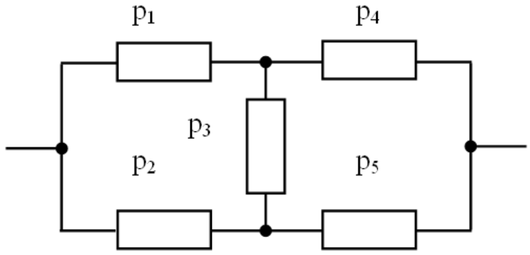



Рис. 6. Мостовая схема безотказности автоматической системы

Например, для мостовой схемы (рис. 6.), функцию безотказности можно рассчитать следующим способом:

1) При условии, что центральный элемент структурной схемы ($p_3$) замкнут накоротко (рис. 7), схема сводится к последовательному соединению двух пар ($p_1$ и $p_2$, и $p_4$ и $p_5$) параллельно соединённых элементов.

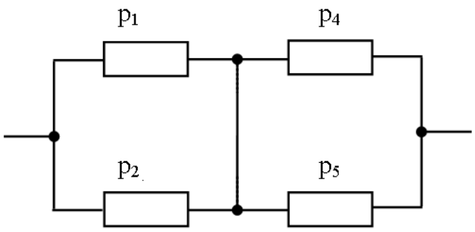



Рис. 7. Первое преобразование структурной схемы безотказности

Функция безотказности равна:

$$P1 = (p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2) \cdot (p_4 + p_5 - p_4 \cdot p_5)$$

2) При условии, что центральный элемент структурной схемы ($p_3$) оборван (рис. 8), схема сводится к параллельному соединению двух пар ($p_1$ и $p_2$, и $p_4$ и $p_5$) последовательно соединённых элементов.

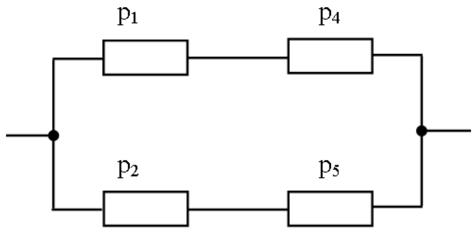



Рис. 8. Второе преобразование структурной схемы

Функция безотказности равна:

$$P2 = (p_1 \cdot p_4 + p_2 \cdot p_5 - p_1 \cdot p_2 \cdot p_4 \cdot p_5)$$

В итоге, для мостовой схемы функция безотказности запишется в следующем виде:

$$P = p_3 \cdot (p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2) \cdot (p_4 + p_5 - p_4 \cdot p_5) +$$
$$+ (1 - p_3) \cdot (p_1 \cdot p_4 + p_2 \cdot p_5 - p_1 \cdot p_2 \cdot p_4 \cdot p_5)$$

## Порядок выполнения работы

1. Провести расчёт безотказности структурной схемы (рис. 7.), согласно варианту, по заданным значениям вероятности безотказной работы отдельных элементов.

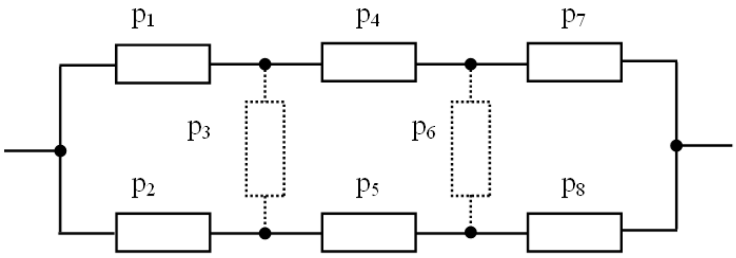



Рис. 9. Структурная схема надёжности автоматической системы

2. Последовательно ввести перекрёстные связи (пунктир на рис. 9.) и провести расчёт безотказности изменённой схемы.

3. Провести расчёт безотказности структурной схемы системы при введении двух перекрёстных связей.

4. Построить график зависимости вероятности безотказной работы системы от значений вероятности безотказной работы элементов в перекрёстных связях.

5. Сделать выводы по работе.

**Содержание отчёта:** Отчёт должен содержать структурные схемы, расчёты их безотказности, график зависимости вероятности безотказной работы системы от значений вероятности безотказной работы элементов в перекрёстных связях, выводы по работе.

Варианты

| № | $p_1$ | $p_2$ | $p_3$ | $p_4$ | $p_5$ | $p_6$ | $p_7$ | $p_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,9 | 0,91 | 0,93 | 0,9 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,9 |
| 2 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 3 | 0,92 | 0,9 | 0,92 | 0,93 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,9 |
| 4 | 0,93 | 0,9 | 0,89 | 0,93 | 0,9 | 0,89 | 0,92 | 0,91 |
| 5 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,92 |
| 6 | 0,92 | 0,93 | 0,88 | 0,92 | 0,93 | 0,88 | 0,88 | 0,9 |
| 7 | 0,9 | 0,89 | 0,93 | 0,9 | 0,89 | 0,9 | 0,91 | 0,93 |
| 8 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,93 | 0,91 |
| 9 | 0,93 | 0,88 | 0,92 | 0,93 | 0,88 | 0,92 | 0,9 | 0,92 |

Контрольные вопросы

1. Что такое вероятность безотказной работы?
2. Перечислите виды отказов.
3. Каким образом повышается надёжность систем автоматизации?
4. Перечислите способы резервирования.
5. Какие типы отказов рассматриваются при анализе структурных схем?

6. В каких случаях 2-х кратное параллельное резервирование может оказаться неэффективным?

Приложение 1

Варианты заданий для лабораторной работы №1

| время<br>наработки на отказ, ч | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 390 | 260 | 300 | 112 | 221 | 110 | 224 |
| 410 | 270 | 312 | 115 | 232 | 117 | 230 |
| 427 | 280 | 325 | 121 | 242 | 120 | 242 |
| 444 | 300 | 342 | 126 | 254 | 127 | 254 |
| 468 | 310 | 358 | 132 | 260 | 133 | 264 |
| 490 | 327 | 370 | 140 | 280 | 140 | 277 |
| 508 | 345 | 400 | 145 | 295 | 148 | 291 |
| 541 | 360 | 420 | 155 | 310 | 154 | 310 |
| 572 | 377 | 440 | 163 | 325 | 160 | 325 |
| 610 | 405 | 470 | 171 | 345 | 171 | 345 |
| 650 | 434 | 500 | 183 | 370 | 182 | 370 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 690 | 456 | 530 | 196 | 400 | 200 | 400 |
| 738 | 495 | 570 | 211 | 420 | 210 | 425 |
| 800 | 535 | 610 | 228 | 460 | 230 | 460 |
| 873 | 580 | 670 | 250 | 500 | 250 | 500 |
| 950 | 634 | 730 | 271 | 540 | 270 | 545 |
| 1050 | 708 | 810 | 301 | 600 | 300 | 600 |
| 1170 | 781 | 905 | 338 | 670 | 337 | 670 |
| 1336 | 881 | 1020 | 380 | 760 | 370 | 760 |
| 1539 | 1020 | 1200 | 440 | 875 | 440 | 880 |
| 1828 | 1220 | 1400 | 520 | 1045 | 520 | 1040 |
| 2230 | 1500 | 1701 | 634 | 1270 | 630 | 1270 |
| 2900 | 1918 | 2200 | 810 | 1620 | 810 | 1630 |
| 4030 | 2700 | 3000 | 1150 | 2260 | 1140 | 2290 |
| 6670 | 4450 | 5105 | 1950 | 3800 | 1900 | 3810 |
| 20100 | 13400 | 15000 | 5704 | 11400 | 5710 | 11500 |

Приложение №2

Формулы расчёта параметров надёжности в пакете Mathcad.

1. Функции вычисления плотности распределения вероятности

1.1. dchisq(x,d) – Хи квадрат распределение;
1.2. dexp(x,r) – экспоненциальное распределение;
1.3. dnorm(x, μ, σ) – нормальное распределение;
1.4. dlnorm(x, μ, σ) – логарифмическое нормальное распределение.

2. Функции распределения

2.1. pchisq(x,d) – значение функции в точке x Хи-квадрат распределения;
2.2. pexp(x,r) – значение функции в точке x экспоненциального распределения;
2.3. pnorm(x, μ, σ) – значение функции в точке x нормального распределения;
2.4. plnorm(x, μ, σ) – значение функции в точке x логарифмического нормального распределения.

3. Квантили распределения

3.1. qchisq(p,d) – квантили обратного Хи-квадрат распределения;
3.2. qexp(p,r) – квантили обратного экспоненциального распределения;
3.3. qnorm(p, $\mu$, $\sigma$) – квантили обратного нормального распределения;
3.4. qlnorm(p, $\mu$, $\sigma$) – квантили обратного логарифмического нормального распределения.

**Список использованных источников:**


1. Музипов Х.Н., Кузяков О.Н. Автоматизированное проектирование средств и систем управления
2. Гаврилов А.Н., Пятаков Ю.В. Системы управления химико-технологическими процессами. В 2 ч. Ч. 1
3. Гаврилов А.Н., Пятаков Ю.В. Средства и системы управления технологическимим процессами
4. ЮРАЙТ
5. Шишмарёв В.Ю. Автоматика 2-е изд., испр. и доп. Учебник для СПО
6. Шишмарёв В.Ю. Автоматика 2-е изд., испр. и доп. Учебник для академического бакалавриата
7. Серебряков А.С. Автоматика. Учебник и практикум для академического бакалавриата
8. Троценко В.В., Федоров В.К., Забудский А.И., Комендантов В.В. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии 2-е изд., испр. и доп. Учебное пособие для СПО
9. Троценко В.В., Федоров В.К., Забудский А.И., Комендантов В.В. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии 2-е изд., испр. и доп. Учебное пособие для академического бакалавриата
10. Телицин В.В. Системы автоматического управления. Учебное пособие для вузов

*Учебное издание*

***ДИАГНОСТИКА И НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ***

Лабораторный практикум

Составители:
Предместьин В.Р.
Сидельников С.И.
Киреев П.А.

Издано на средства авторов
Компьютерная верстка:___
Редактор: *Туманова Е.М.*
Подписано в печать Формат 60x84 1/16.
Бумага «SvetoCopy». Отпечатано на ризографе.
Усл.печ.л. 1,63. Уч.-изд.л. 0,56.
Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им.Д.И.Менделеева
Новомосковский институт (филиал). Издательский центр
Адрес университета:125047, Москва, Миусская площадь пл.,9

Адрес института:301665 Новомосковск, Тульской обл., ул. Дружбы,