

Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Омский государственный университет путей сообщения

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный университет путей сообщения»

Факультет высшего профессионального образования  
(заочная форма обучения)

Кафедра «Инфокоммуникационные системы и информационная  
безопасность»

Контрольная работа

Дисциплина: «Основы теории надежности»

Вариант № 7

Выполнил: студент ЗФ  
Гладков А.В., шифр ДТ-АТ-20507

\_\_\_\_\_

подпись

«10» марта 2015 г.

Руководитель: преподаватель  
Царева Л.А.

\_\_\_\_\_

подпись

Омск 2015

Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Омский государственный университет путей сообщения

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный университет путей сообщения»

Факультет высшего профессионального образования  
(заочная форма обучения)

Кафедра «Инфокоммуникационные системы и информационная  
безопасность»

регистрационный № \_\_\_\_\_

Ф.И.О. студента           Гладков А.В.                           , шифр       ДТ-АТ-20507  
специальность   АТ       , курс       4  
Ф.И.О. рецензента       Царева Л.А.

Рецензия  
на контрольную работу

Оценка \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Подпись рецензента \_\_\_\_\_

## Содержание

Задача № 1. Методы расчета надежности.....	3
Задача № 2 .....	8
Задача № 3 .....	10
Библиографический список .....	11

## Введение

Необходимость расчёта надёжности технических устройств и систем существовала с момента использования их человеком. Например, в начале 1900-х годов существовала задача оценки среднего времени горения газовых фонарей, а в середине 1930-х, благодаря работам шведского ученого В. Вейбулла, получила известность задача описания среднего времени наработки электронной лампы до её выхода из строя (распределение Вейбулла).

Ярким примером поиска методов расчёта надёжности является история создания ракетных комплексов Фау-1 и Фау-2 Вернером фон Брауном. В лаборатории Брауна работал немецкий математик Эрик Пьеружка, который доказал, что надёжность ракеты равна произведению надёжности всех компонент, а не надёжности самого ненадёжного элемента, как считал Браун. Позднее вместе с Брауном в середине 50-х годов в США работал талантливый немецкий инженер Роберт Луссер, который сформулировал основные теоретические положения будущей теории надёжности. Его формула для расчета надёжности системы с последовательным соединением элементов стала известна как «Закон Луссера».

К первым работам по расчёту надёжности в Советском Союзе можно отнести статью инженера Якуба Б.М. «Показатели и методы расчета надёжности в энергетическом хозяйстве», опубликованную в журнале «Электричество», №18, 1934г., и статью профессора Сифорова В.И. «О методах расчёта надёжности работы систем, содержащих большое число элементов» (Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. №6, 1954г.) Независимо от закрытых работ немецких ученых, в указанных статьях надёжность систем с последовательным соединением рассчитывалась как произведение надёжности элементов.

## Задача № 1. Методы расчета надежности

Структурные методы являются основными методами расчета показателей надежности в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надежности, которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами. Расчет показателей надежности структурными методами в общем случае включает:

- представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, видов и способов резервирования и других факторов;

- описание построенной структурной схемы надежности объекта адекватной математической моделью, позволяющей в рамках введенных предположений и допущений вычислить показатели надежности объекта по данным о надежности его элементов в рассматриваемых условиях применения.

В качестве структурных схем надежности могут применяться:

- схемы функциональной целостности;
- структурные блок-схемы надежности;
- деревья отказов;
- графы состояний и переходов.

### 1) Логико-вероятностный метод

В логико-вероятностных методах (ЛВМ) исходная постановка задачи и построение модели функционирования исследуемого системного объекта или процесса осуществляется структурными и аналитическими средствами математической логики, а расчет показателей свойств надежности, живучести и безопасности выполняется средствами теории вероятностей.

ЛВМ являются методологией анализа структурно-сложных систем, решения системных задач организованной сложности, оценки и анализа надежности, безопасности и риска технических систем. ЛВМ удобны для исходной формализованной постановки задач в форме структурного описания исследуемых свойств функционирования сложных и высокоразмерных систем. В ЛВМ разработаны процедуры преобразования исходных структурных моделей в искомые расчетные математические модели, что позволяет выполнить их алгоритмизацию и реализацию на ЭВМ.

## 2) Общий логико-вероятностный метод

Необходимость распространения ЛВМ на немонотонные процессы привела к созданию общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ). В ОЛВМ расчета надежности аппарат математической логики используется для первичного графического и аналитического описания условий реализации функций отдельными и группами элементов в проектируемой системе, а методы теории вероятностей и комбинаторики применяются для количественной оценки безотказности и/или опасности функционирования проектируемой системы в целом. Для использования ОЛВМ должны задаваться специальные структурные схемы функциональной целостности исследуемых систем, логические критерии их функционирования, вероятностные и другие параметры элементов.

В основе постановки и решения всех задач моделирования и расчета надежности систем с помощью ОЛВМ лежит так называемый событийно-логический подход. Этот подход предусматривает последовательное выполнение следующих четырех основных этапов ОЛВМ:

- этап структурно-логической постановки задачи;
- этап логического моделирования;
- этап вероятностного моделирования;
- этап выполнения расчетов показателей надежности.

## 3) Метод деревьев отказов

События в дереве отказов связаны со статистической вероятностью, иными словами, вероятность каждого события оценивается на практике.

Например, сбои в работе компонентов, как правило, происходят с некоторой постоянной интенсивностью  $\lambda$ .

В этом простейшем случае вероятность отказа зависит от интенсивности  $\lambda$ , времени  $t$  и описывается экспоненциальным законом:

$$P = 1 - \exp(-\lambda t)$$
$$P \approx \lambda t, \lambda t < 0.1$$

Вероятность того, что отказ данного узла или компоненты оборудования произойдет в течение  $t$  часов эксплуатации системы, равна  $1 - \exp(-\lambda t)$ .

Дерево отказов часто нормировано на заданном временном интервале, например, час полета или среднее время.

Вероятность события зависит от отношения функции опасности к данному интервалу.

В отличие от обычных диаграмм логических символов, в которых входы и выходы принимают двоичные значения (Правда – 1, ложь – 0), символы вероятности выходного события дерева отказов связаны с набором операций булевой логики.

Вероятность выходного события зависит от вероятности события входа. Символ «И» представляет собой сочетание независимых событий. Это значит, что любое событие входа не зависит от других событий входа. По теории множеств это равнозначно пересечению событий входа, вероятность выхода определяется по формуле:

$$P(A \text{ and } B) = P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

«ИЛИ», наоборот, соответствует объединению.

$$P(A \text{ or } B) = P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Так как вероятность отказа в дереве отказов, как правило, небольшая ( $< 0.01$ ),  $P(A \cap B)$  обычно становится очень малым, выход символа «ИЛИ»

может быть приблизительно оценен из предположения, что входы – взаимоисключающие события:

$$P(A \text{ or } B) \approx P(A) + P(B), P(A \cap B) \approx 0$$

Исключающий символ «ИЛИ» с 2 входами представляет собой вероятность того, что активны либо один, либо другой вход, но не оба одновременно:

$$P(A \text{ xor } B) = P(A) + P(B) - 2P(A \cap B)$$

Т.к.  $P(A \cap B)$  обычно мало, исключаящее «ИЛИ» имеет ограниченное значение в дереве отказов.



## Задача № 2

На испытание поставлено  $N_0$  изделий. За время  $t_1$  отказало  $n(\Delta t_1)$  изделий, за время  $\Delta t_2$  ч. отказало еще  $n(\Delta t_2)$  изделий. Определить вероятности безотказной работы и отказа в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  и на интервале  $\Delta t_2$ , а также величины:  $\lambda(\Delta t_2)$  – интенсивность отказов на интервале  $\Delta t_2$ ,  $T_{cp}$  – среднее время наработки до отказа,  $f(\Delta t_2)$  – частоту отказов.

Данные по варианту № 7

$N_0$	$t_1$ , ч.	$n(\Delta t_1)$	$\Delta t_2$ , ч.	$n(\Delta t_2)$
5134	6500	276	263	49

1. Вероятность безотказной работы:

- в момент времени  $t_1$  : 
$$P(t_1) = \frac{N_0 - n(t_1)}{N_0};$$

- в момент времени  $t_2$  : 
$$P(t_2) = \frac{N_0 - n(t_2)}{N_0};$$

- в момент времени  $\Delta t_2$  : 
$$P(\Delta t_2) = \frac{N_0 - n_{cp}(\Delta t_2)}{N_0},$$

где  $n_{cp}(\Delta t_2) = \frac{n(t_1) + n(t_2)}{2} = n(t_1) + \frac{n(\Delta t_2)}{2}.$

2. Вероятность отказа:

- в момент времени  $t_1$  : 
$$Q(t_1) = 1 - P(t_1);$$

- в момент времени  $t_2$  : 
$$Q(t_2) = 1 - P(t_2);$$

- в момент времени  $\Delta t_2$  : 
$$Q(\Delta t_2) = 1 - P(\Delta t_2).$$

3. Частота отказов на интервале  $\Delta t_2$  : 
$$f(\Delta t_2) = \frac{n(\Delta t_2)}{N_0 \cdot \Delta t_2}.$$

4. Интенсивность отказов на интервале  $\Delta t_2$  : 
$$\lambda(\Delta t_2) = \frac{n(\Delta t_2)}{N_{cp} \cdot \Delta t_2}.$$

5. Средняя наработка до первого отказа:

$$T_{cp} = \frac{n(t_1) \cdot \frac{t_1}{2} + n(\Delta t_2) \cdot (t_1 + \frac{\Delta t_2}{2})}{N_0}.$$

Подставляем численные значения в формулы:

No	t1	n( $\Delta t1$ )	$\Delta t2$	n( $\Delta t2$ )
5134	6500	276	263	49
	$P(t1) = 0,947$	$Q(t1) = 0,053$		
	$P(t2) = 0,937$	$Q(t2) = 0,063$		
	$P(\Delta t2) = 0,942$	$Q(\Delta t2) = 0,058$		
	$n_{cp} = 300,5$	$f(\Delta t2) = 3,629E-05$		
		$N_{cp} = 4833,5$		
		$\lambda(\Delta t2) = 3,855E-05$		
		$T_{cp} = 238,01003$		

Задача № 3

Электронное устройство непрерывно работает в течение  $t$  ч. Число входящих в него элементов и режимы их работы приведены в задании по варианту. Вычислить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до отказа.

Данные по варианту 7:

Количество $n_i$				Интенсивность отказов, $\lambda_i, 10^{-6}, 1/\text{ч}$				Поправочный коэффициент $\alpha$			t, ч.
К	Р	Т	П	К	Р	Т	П	К	Р	Т	
26	22	5	120	0,01	0,007	0,35	0,007	0,15	0,47	0,42	1920

- Вероятность безотказной работы устройства:  $P_y(t) = \exp(-\lambda_y t)$ .
- Вероятность отказа устройства:  $Q_y(t) = 1 - P_y(t) = 1 - \exp(-\lambda_y t)$ .
- Интенсивность отказов устройств:  

$$\lambda_y = \alpha_K \cdot n_K \cdot \lambda_K + \alpha_R \cdot n_R \cdot \lambda_R + \alpha_T \cdot n_T \cdot \lambda_T + \alpha_{II} \cdot n_{II} \cdot \lambda_{II}$$
- Средняя наработка до отказа при экспоненциальном законе надежности:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_y}$$

Подставляем численные значения в формулы:

Кол-во элементов $n_i$				Интенсивность отказа $\lambda_i$				поправочный коэф $\alpha$				t
К	Р	Т	П	К	Р	Т	П	К	Р	Т	П	
26	22	5	120	0,01	0,01	0,35	0,007	0,15	0,47	0,42	0	1920
	$\lambda_y =$	8,46E-07										
	$P_y(t) =$	0,998376										
	$Q_y(t) =$	0,001624										
	$T_{cp} =$	1181502 ч ->	134,9 г									

## Библиографический список

1. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. СПб: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
2. Половко А. М. Основы теории надежности. Практикум / А. М. Половко, С. В. Гуров. СПб: БХВ-Петербург, 2006. 560 с.
3. Основы надежности электронных средств: Учебное пособие / Под ред. Н. П. Ямпурин. М.: Академия, 2010. 240 с.
4. Копытов Е. Ю., Любченко А. А. Решение задач по дисциплине «Основы теории надежности»: Методические указания к практическим занятиям / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2013. 21 с.