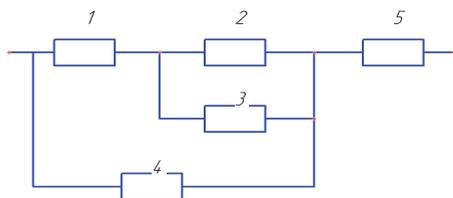
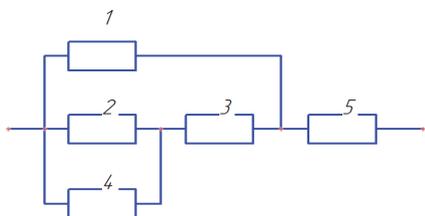
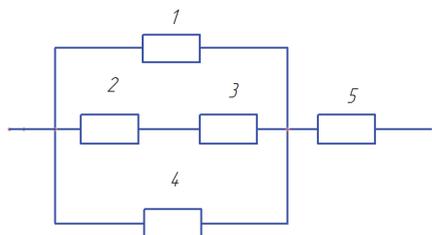
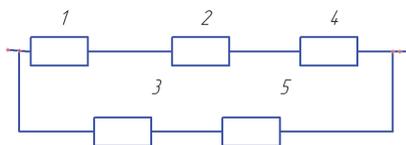
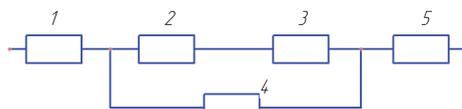
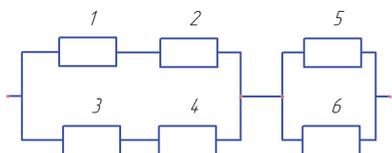


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт энергетики и электротехники  
Кафедра «Электрооборудование автомобилей  
и электромеханика»

В.И. Платов

# РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 621.3.019.3(075.8)  
ББК 31.280.1я73

Рецензенты:

заслуженный работник высшей школы Российской Федерации,  
д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор Поволжского  
государственного университета сервиса *Н.П. Бахарев*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *А.А. Северин*.

Платов, В.И. Расчет показателей надежности систем электрооборудования : электрон. учеб.-метод. пособие / В.И. Платов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 26 с. – 1 опт. диск.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, выполняющих курсовую работу по дисциплине «Надёжность электрооборудования автомобилей». В нём раскрыто содержание методов решения задач расчета показателей надежности систем электрооборудования автомобилей.

Адресовано студентам направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электрооборудование автомобилей и тракторов», а также может быть использовано студентами других технических направлений подготовки.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПП 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Reader.

The background of the top section features a bright sunburst with radiating lines in the center, surrounded by several concentric, wavy lines in shades of red and pink that curve across the page. The overall background is a textured yellow.

Редактор *Г.В. Данилова*  
Технический редактор *З.М. Малявина*  
Компьютерная верстка: *И.И. Шишкина*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 02.04.2015.

Объем издания 2,4 Мб

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-32-14.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

тел. 8(8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

Введение .....	5
I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	7
II. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ .....	12
III. ПРИМЕР РАСЧЕТА .....	16
IV. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	23
Список рекомендуемой литературы .....	25
Приложение .....	26

## Введение

В автомобильном мире постоянно появляются новинки, обладающие большей безопасностью, удобством управления, повышенным комфортом. Это неизбежно ведет к усложнению электрооборудования и обуславливает актуальность поиска путей обеспечения его надежности.

Первые теоретические работы по вопросам надежности в нашей стране были выполнены еще в 50-е годы академиками АН СССР А.И. Бергом и Н.Г. Бруевичем, после чего соответствующие дисциплины появились в учебных программах всех технических вузов. По теории надежности написано множество книг, учебных пособий. В ТГУ наиболее интересно это направление развито в работах В.Н. Козловского.

Учитывая практическую значимость дисциплины «Надежность электрооборудования автомобилей», кроме лекций и практических занятий для лучшего ее освоения студенты выполняют курсовую работу. Ее целью является углубление и систематизация знаний в области теории надежности, полученных в ходе теоретического изучения дисциплины.

В работе решаются две похожие задачи по расчету показателей надежности систем электрооборудования, требующие при этом различных подходов.

В первом случае исследуется простая система, состоящая из невосстанавливаемых элементов в последовательно-параллельном включении. Во втором случае структура системы из восстанавливаемых элементов несколько сложнее и для анализа требуется ее разложение на более простые подсистемы.

Результатом выполнения курсовой работы должно стать закрепление на практике полученных знаний по изучаемой дисциплине, приобретение умения правильно выбирать и использовать методы оценки надежности систем различной конфигурации и формирование навыков в практических

расчетах показателей надежности устройств из восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов.

В ходе выполнения и защиты курсовой работы студент должен продемонстрировать следующие профессиональные компетенции:

1) способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2);

2) готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3);

3) готовность работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов (ПК-8);

4) готовность обосновывать принятие конкретного технического решения при создании электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-14).

# I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Надежность отдельно взятого элемента и системы в целом характеризуется множеством показателей, получаемых в ходе испытаний или эксплуатации. Для восстанавливаемых объектов до первого отказа или между отказами могут применяться такие же показатели, как и для невосстанавливаемых. В данной работе практический интерес представляют следующие показатели.

1. Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – вероятность того, что в пределах заданного времени отказ не возникнет.

2. Вероятность отказа  $Q(t)$  – вероятность того, что в пределах заданного времени отказ возникнет.

3. Плотность вероятности отказа в заданный момент времени  $f(t)$ .

4. Среднее время безотказной работы или средняя наработка до отказа  $T_0$  – математическое ожидание наработки до первого отказа.

5. Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  – условная плотность вероятности возникновения отказа, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

6. Частота отказов  $a(t)$  – плотность распределения времени безотказной работы, определяемая как производная от вероятности безотказной работы.

Рассмотрим математический аппарат, используемый для расчета перечисленных показателей надежности.

Основной количественной характеристикой надежности каждого элемента системы является интенсивность его отказов  $\lambda(t)$ , статистически определяемая по формуле, ч<sup>-1</sup>

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \Delta t}, \quad (1.1)$$

где  $N_{\text{ср}}$  – среднее число элементов, работоспособных в интервале времени  $\Delta t$ ;  $n(\Delta t)$  – количество отказавших элемен-

тов за период времени  $\Delta t$ ;  $\Delta t$  – рассматриваемый интервал времени в часах.

На практике вероятность безотказной работы оценивается статистически по формуле

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1.2)$$

где  $N_0$  – общее количество элементов для испытания или эксплуатируемых;  $n(t)$  – число элементов, отказавших за время  $t$ .

Теоретически в период нормальной эксплуатации устройств (исключающей время приработки и старения) интенсивность отказов считается постоянной величиной. В этом случае вероятность безотказной работы  $P(t)$  описывается экспоненциальным законом:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.3)$$

Вероятность отказа  $Q(t)$  по отношению к вероятности безотказной работы является противоположным событием, поэтому

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (1.4)$$

Плотность вероятности отказа  $f_c(t)$ ,  $\text{ч}^{-1}$  равна производной по времени вероятности безотказной работы:

$$f_c(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (1.5)$$

Частота отказов рассчитывается следующим образом:

$$a(t) = q'(t) = -p'(t). \quad (1.6)$$

Для ее определения можно использовать следующую статистическую оценку:

$$a^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (1.7)$$

где  $n(\Delta t)$  — общее количество элементов, взятых для испытания или эксплуатируемых;  $N_0$  — число отказавших элементов в интервале времени от  $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$  до  $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ ;  $\Delta t$  — интервал времени.

В общем случае для оценки среднего времени наработки до отказа используется выражение

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (1.8)$$

С учетом принятого ранее допущения о постоянной интенсивности отказов элементов для экспоненциального закона распределения получим:

$$T_0 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (\lambda = \text{const}). \quad (1.9)$$

Таким образом, среднее время наработки объекта на отказ численно равно средней, по множеству объектов, продолжительности безотказной работы (между двумя соседними отказами), приходящейся на один объект. Из  $\lambda(t) = \text{const}$  следует, что и  $T_0 = \text{const}$ .

При расчете показателей надежности систем, состоящих из элементов, включенных последовательно и параллельно, следует руководствоваться приведенными ниже правилами.

Если система состоит из соединенных последовательно независимых элементов с вероятностями безотказной работы элементов  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ , ...  $p_n(t)$ , то вероятность безотказной работы системы будет равна их произведению

$$P_c(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_n(t). \quad (1.10)$$

Если функции надежности элементов имеют экспоненциальное распределение с постоянными интенсивностями отказов, тогда

$$P_c(t) = \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) \cdot t] = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t\right]. \quad (1.11)$$

При параллельном соединении вероятность отказа системы будет равна произведению вероятностей отказа элементов:

$$Q_c(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \dots q_n(t). \quad (1.12)$$

В настоящей курсовой работе наиболее часто встречаются параллельное и последовательное соединения двух элементов, для которых справедливы следующие формулы:

$$P_{\text{посл}}(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}; \quad (1.13)$$

$$q_{\text{посл}}(t) = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}; \quad (1.14)$$

$$P_{\text{парал}}(t) = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}; \quad (1.15)$$

$$q_{\text{парал}}(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t}). \quad (1.16)$$

Если структурная схема системы сложнее и не может быть исследована такими же простыми методами, то ее стараются преобразовать к виду, более удобному для расчетов, используя, в частности, разложение по «ключевым» элементам. Сущность метода заключается в замене сложной структуры двумя более простыми, такими, что сумма вероятностей работоспо-

собных состояний этих структур равна вероятности работоспособного состояния исходной структуры. В основу метода положена формула разложения логического уравнения работоспособности (или вытекающая из нее формула вероятности полного события).

### **Правило разложения**

1. В исходной схеме выбирается элемент с наибольшим количеством связей – элемент разложения  $x$ .
2. В месте элемента  $x$  делается замыкание, получается первая структура.
3. В месте расположения элемента  $x$  делается обрыв в исходной структуре. Получается вторая структура.
4. Вероятность работоспособного состояния первой структуры умножается на вероятность безотказной работы элемента  $x$ . Получается первая составляющая  $P_1$  вероятности работоспособного состояния исходной схемы.
5. Вероятность работоспособного состояния второй структуры умножается на вероятность отказа элемента  $x$ . Получается вторая составляющая  $P_2$  вероятности работоспособного состояния исходной схемы.
6. Суммируя составляющие  $P_1$  и  $P_2$ , получаем вероятность работоспособного состояния исходной структуры.

## II. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

### I. Исходные данные

Номер варианта задания соответствует порядковому номеру студента в списке группы. Из приведенных ниже таблиц и рисунков нужно определить свои рисунки: в первой строке – для первой, более простой задачи, во второй – для более сложной.

№ по списку (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номера рисунков	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
	9	10	11	12	9	10	11	12	10	11

№ по списку (вариант)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номера рисунков	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
	12	9	11	10	12	9	10	11	12	9

№ по списку (вариант)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номера рисунков	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
	9	10	11	12	10	9	11	9	10	11

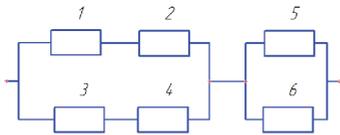


Рис. 1

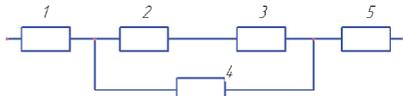


Рис. 2

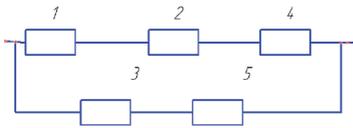


Рис. 3

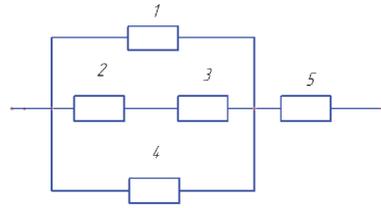


Рис. 4

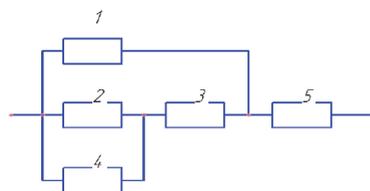


Рис. 5

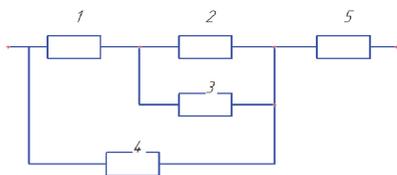


Рис. 6

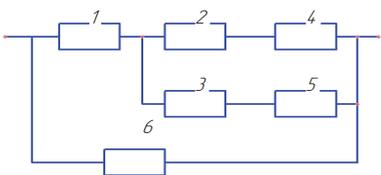


Рис. 7

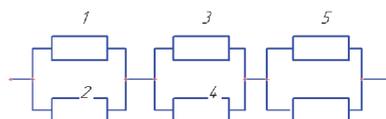


Рис. 8

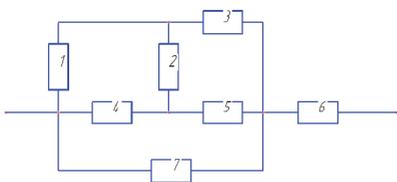


Рис. 9

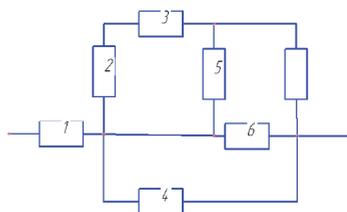


Рис. 10

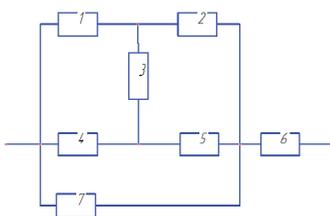


Рис. 11

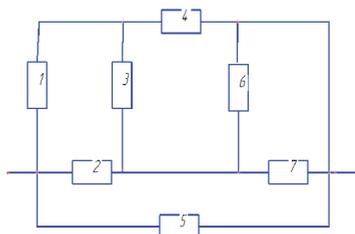


Рис. 12

Значения интенсивности отказов элементов рассчитываются по формуле

$$\lambda_i = \left( 0,1i + \frac{N}{100} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

где  $i$  – номер элемента в схеме;  $N$  – вариант задания.

Время работы системы в часах определяется по формуле

$$T = 150 + N. \quad (2.2)$$

## 2. Определить:

*для первой структурной схемы* (рис. 1...8) и рассчитанных значений интенсивности отказов элементов системы и времени ее работы:

1) вероятность безотказной работы системы  $P_c(t)$  за заданное время  $t$ ;

2) плотность вероятности отказа системы  $f_c(t)$  в момент времени  $t$ ;

3) вероятность появления отказа  $Q_c(t)$  за заданное время  $t$ ;  
**для второй структурной схемы** (рис. 9...12) и рассчитанных значений интенсивности отказов элементов системы и времени ее работы:

1) вероятность безотказной работы системы  $P_c(t)$  за заданное время  $t$ ;

2) среднюю наработку до отказа  $T_0$ ;

3) частоту отказов  $a_c(t)$ ;

4) интенсивность отказов системы  $\lambda_c$ .

### III. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные для структурной схемы системы № 1

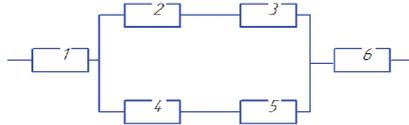


Рис. 13

По приведенным формулам рассчитаем значения интенсивности отказов элементов и время работы системы (табл. 1).

Таблица 1

*Значения интенсивности отказов элементов системы*

№ элемента	1	2	3	4	5	6
$\lambda \cdot 10^{-3}, \text{ ч}$	1,2	2,2	3,3	4,5	2,7	0,9

Время  $t = 120$  ч.

На начальном этапе расчетов примем  $P(t) = P$ . Так как элементы  $P_2$  и  $P_3$  соединены последовательно, то обобщенное выражение вероятности их безотказной работы имеет вид:

$$P_{23} = P_2 \cdot P_3. \quad (3.1)$$

Элементы  $P_4$  и  $P_5$  также соединены последовательно, значит, обобщенное выражение вероятности их безотказной работы имеет аналогичный вид:

$$P_{45} = P_4 \cdot P_5. \quad (3.2)$$

Обобщенное выражение вероятности безотказной работы для этих двух параллельных цепочек принимает вид:

$$P_{01} = 1 - (1 - P_{23})(1 - P_{45}) = P_{45} + P_{23} - P_{45} \cdot P_{23}. \quad (3.3)$$

С учетом (3.1) и (3.2) можно записать

$$P_{01} = P_2 P_3 + P_4 P_5 - P_2 P_3 P_4 P_5. \quad (3.4)$$

В результате преобразований получим следующую структурную схему системы из трех последовательно соединенных элементов  $P_1, P_{01}, P_6$ .



Рис. 14

При этом вероятность безотказной работы системы  $P_c = P_c(t)$  будет равна произведению вероятностей безотказной работы элементов:

$$P_c = P_1 P_{01} P_6 = P_1 P_2 P_3 P_6 + P_1 P_4 P_5 P_6 - P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6. \quad (3.5)$$

Так как  $P = P(t) = e^{-\lambda t}$ , то  $P_c(t)$  принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} P_c(t) &= e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} \times e^{-\lambda_3 t} \times e^{-\lambda_6 t} + e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_4 t} \times e^{-\lambda_5 t} \times e^{-\lambda_6 t} - \\ &\quad - e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} \times e^{-\lambda_3 t} \times e^{-\lambda_4 t} \times e^{-\lambda_5 t} \times e^{-\lambda_6 t} = \\ &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_6)t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)t}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Выражение плотности вероятности отказа  $f_c(t)$  с учетом

$$f_c(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} f_c(t) = & (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_6) \times e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_6)t} + \\ & + (\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6) \times e^{-(\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)t} + \\ & + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6) \times e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)t}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Для определения вероятности появления отказа  $Q_c(t)$  воспользуемся соотношением

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t). \quad (3.9)$$

Подставив исходные данные в выражения, выведенные в I разделе, получим.

1. Вероятность безотказной работы системы за заданное время  $t = 120$  ч:

$$P_c(t) = 0,56.$$

2. Плотность вероятности отказа системы  $f_c(t)$  в момент времени  $t = 120$  ч:

$$f_c(t) = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

3. Вероятность появления отказа  $Q_c(t)$  за заданное время  $t = 120$  ч:

$$Q_c(t) = 0,44.$$

Расчет показателей надежности более сложной системы с разложением ее на простые подсистемы рассмотрим применительно к схеме, приведенной на рис. 15.

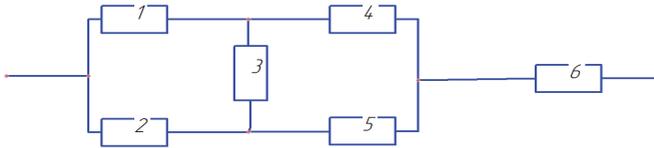


Рис. 15

Расчетное время также равно 120 ч, а значения интенсивности отказов элементов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ элемента	1	2	3	4	5	6
$\lambda \cdot 10^{-3}, \text{ ч}$	1,2	2,3	3,0	2,8	2,8	0,3

1. Для нахождения вероятности безотказной работы системы используем метод разложения структуры относительно базового элемента, в качестве которого выберем 3-й элемент, имеющий максимальное количество связей. В соответствии с теоремой о сумме вероятностей несовместных событий рассмотрим два таких события – когда базовый элемент работоспособен и когда он не работоспособен.

Для работоспособного базового элемента ( $P_3 = 1$ ) заменяем его перемычкой. Тогда структурная схема системы принимает вид, показанный на рис. 16.

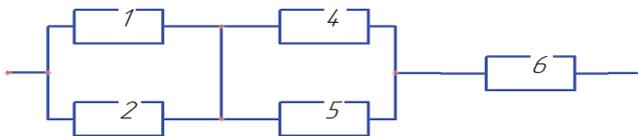


Рис. 16

При этом вероятность безотказной работы  $P_{c1}(t)$  будет определяться выражением

$$\begin{aligned}
 P_{c1} &= [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)] \cdot [1 - (1 - P_4)(1 - P_5)] \cdot P_6 = \\
 &= [P_1 + P_2 - P_1P_2] \cdot [P_4 + P_5 - P_4P_5] \cdot P_6.
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Если базовый элемент находится в состоянии отказа ( $P_3 = 0$ ), структурная схема системы принимает следующий вид (рис. 17).

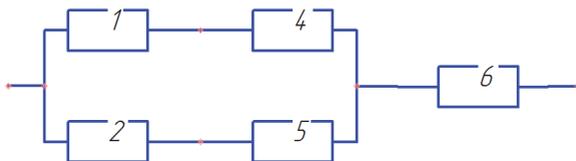


Рис. 17

Для данной системы вероятность безотказной работы  $P_{c2}(t)$  будет:

$$P_{c2} = [1 - (1 - P_1P_4)(1 - P_2P_5)] \cdot P_6 = P_1P_4P_6 + P_2P_5P_6 - P_1P_2P_4P_5P_6. \tag{3.11}$$

Вероятность безотказной работы исходной системы определится по формуле

$$P_c(t) = P_{69}P_{c1}|_{P_{69}=1} + Q_{69}P_{c2}|_{Q_{69}=1}, \quad (3.12)$$

где  $P_{69}$  – вероятность безотказной работы базового элемента;  $Q_{69}$  – вероятность его отказа;  $P_{c1}, P_{c2}$  – вероятности безотказной работы первой и второй вспомогательных структур.

Так как в качестве базового элемента принят 3-й элемент и  $Q_c(t) = 1 - P_c(t)$ , имеем:

$$P_c(t) = P_3P_{c1} + (1 - P_3)P_{c2} = (P_1 + P_2 - P_1P_2)(P_4 + P_5 - P_4P_5)P_6P_3 + \\ + (1 - P_3)(P_1P_4P_6 + P_2P_5P_6 - P_1P_2P_4P_5P_6). \quad (3.13)$$

Подставив исходные данные, получим:

$$P_c(t) = 99/118.$$

2. Определим среднюю наработку до отказа, используя выражение

$$T_0 = \int_0^{\infty} P_c(t) dt. \quad (3.14)$$

Для экспоненциального закона распределения с учетом (1.11) получим:

$$T_0(t) = \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_6)t} dt - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 - \lambda_5 + \lambda_6)t} dt + \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_6)t} dt - \\ - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)t} dt - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_6)t} dt - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_6)t} dt + \\ + 2 \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_5 + \lambda_6)t} dt + \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_6)t} dt + \\ + \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_2 + \lambda_5 + \lambda_6)t} dt - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_6)t} dt. \quad (3.15)$$

Так как  $P(t) = e^{-\lambda t}$ , то  $T_0 = \frac{1}{\lambda}$ .

В результате имеем:

$$\begin{aligned}
 T_0 = & \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_6} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6} + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_6} + \\
 & + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_6} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_6} + \\
 & + 2 \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_6} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_6} + \\
 & + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_5 + \lambda_6} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6}.
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

Подставив исходные данные, получим  $T_0 = 683,334$  ч.

3. Интенсивность отказов системы:

$$\lambda_c = \frac{1}{T_0} = 1,465 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

4. Частота отказов системы:

$$a_c(t) = \lambda_c(t) \cdot e^{-\lambda t}.$$

Подставив исходные данные, получим  $a_c(t) = 1,228 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ .

## IV. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### Структура курсовой работы

1. Титульный лист, на котором указываются название учебного заведения, тема курсовой работы, фамилия, имя и отчество студента, номер учебной группы, номер варианта, год выполнения работы.

2. Оглавление.

3. Введение, в котором следует кратко охарактеризовать роль надежности электрооборудования в обеспечении надежности автомобиля в целом.

4. Пояснительная записка с расчетами показателей надежности для двух структурных схем в соответствии с индивидуальным заданием.

5. Библиографический список.

Общий объем курсовой работы не должен превышать 20 листов формата А4. Текст пишется на одной стороне листа с полями шириной 20 мм. Листы пояснительной записки должны быть пронумерованы. Необходимые пояснения должны быть изложены кратко, без повторений. Размерность всех физических величин должна быть указана в соответствии с системой СИ. При наличии замечаний исправления делаются на чистой стороне листа рядом с замечаниями.

Защита курсовой работы проводится устно, в форме собеседования при наличии выполненной и правильно оформленной письменной работы.

### Критерии и нормы оценки курсовой работы

Критерии и нормы оценки	
«Отлично»	заслуживает студент, представивший письменную работу с правильными расчетами, оформленную согласно требованиям учебно-методического пособия, и обнаруживший в ходе защиты полное знание учебного материала

Критерии и нормы оценки	
«Хорошо»	заслуживает студент, представивший письменную работу с правильными расчетами, продемонстрировавший в ходе защиты понимание материала, но допустивший не принципиальные ошибки в ходе защиты
«Удовлетворительно»	заслуживает студент, представивший курсовую работу с ошибками в расчетах, но устранивший их в ходе защиты, продемонстрировавший удовлетворительное понимание учебного материала

## Список рекомендуемой литературы

1. Прохоров, А.В. Задачи по теории вероятностей: Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы : учеб. пособие / А.В. Прохоров, В.Г. Ушаков, Н.Г. Ушаков. – М. : КДУ, 2009. – 328 с.
2. Козловский, В.Н. Управление качеством и надежностью электромеханических подсистем электрооборудования автомобиля : учеб.-метод. пособие / В.Н. Козловский, А.Д. Немцев. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 94 с.
3. Балдин, К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / К.В. Балдин, В.Н. Большаков, А.В. Рукосуев. – 2-е изд. – М. : Дашков и К°, 2010. – 473 с.
4. Лисьев, В.П. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие / В.П. Лисьев. – М. : ЕАОИ, 2010. – 200 с.

# Приложение

## Образец титульного листа

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт энергетики и электротехники  
Кафедра «Электрооборудование автомобилей и электромеханика»

Курсовая работа на тему

«Расчет показателей надежности  
систем электрооборудования»

Студент.....

Группа.....

Вариант №.....

Тольятти  
2015