РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

13/19/2

**Одобрено кафедрой
«Локомотивы
и локомотивное хозяйство»**

ОСНОВЫНАДЕЖНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ

Задание на контрольную работу
с методическими указаниями
для студентов VI курса

специальности

150700 ЛОКОМОТИВЫ (Т)

РГОТУПС

Москва – 2004

Составил: канд. техн. наук, доц. БУХТЕЕВ В.Ф.
Рецензент: канд. техн. наук, доц. СКАЛИН А.В.

ВВЕДЕНИЕ

Надежность локомотива — свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции при заданных режимах и условиях его использования, технического обслуживания, ремонтов и хранения.

Перед выполнением контрольной работы студент должен ознакомиться с основными терминами и определениями надежности: работоспособное и исправное состояние, отказ и повреждение, внезапный и постепенный отказы, восстанавливаемое и невосстанавливаемое, ремонтируемое и неремонтируемое изделие, предельное состояние, наработка и продолжительность эксплуатации, ресурс, срок службы, безотказность, ремонтопригодность, долговечность, сохраняемость, надежность. Важно усвоить связь между вероятностью и статистической вероятностью события, средним значением и математическим ожиданием случайной величины. Необходимо также иметь представление о повышении надежности изделий путем структурного резервирования, об основном и резервном элементе, о кратности резерва, о дублировании, об общем резервировании и т.д.

Затем студент должен перейти к изучению способов расчета единичных и комплексных показателей надежности. В контрольной работе студент должен рассчитать показатели надежности для невосстанавливаемых объектов, а для восстанавливаемых — применительно к периоду эксплуатации до первого отказа, для трех из многих, используемых на практике показателей надежности: вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа и интенсивность отказов. Указанные показатели достаточно широко используются для оценки безотказности, как на стадии проектирования и испытания объектов, так и при их эксплуатации. Умение рассчитывать эти показатели поможет студенту освоить расчеты других единичных и комплексных показателей надежности, а также сформировать понимание основных закономерностей изменения исправности и работоспособности локомотивов.

В контрольную работу включены 5 заданий с методическими указаниями и контрольными вопросами для лучшего усвоения выполненных работ и подготовки к зачету по курсу.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа выполняется на листах писчей бумаги формата А4 или в отдельной тетради. На титульном листе отчета по контрольной работе указывают название университета, факультета, кафедры, название дисциплины, фамилию и инициалы студента, его учебный шифр, курс, адрес, фамилию и инициалы преподавателя, год выполнения работы. Список использованных источников приводится в конце работы в соответствии с ГОСТ.

Выполненную работу студент подписывает с указанием даты и высылает в университет для рецензирования. Все ошибки и неточности, допущенные в работе должны быть устранены на помещенных отдельных листах в соответствующих местах. При этом все замечания рецензента должны быть сохранены.

Контрольные работы, выполненные не по своему варианту и без соблюдения указанных выше требований, не зачитываются.

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Задание 1

В табл. 1 приведены значения наработок до отказа в находившейся под контролем партии одинаковых устройств.

Требуется определить статистические вероятности безотказной работы $P(t)$ и $Q(t)$ отказа устройства для заданного значения t (см. табл. 1). Далее необходимо рассчитать значение вероятности безотказной работы $P^*(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа, указанным для соответствующего варианта в табл. 1. Затем для заданной наработки t требуется рассчитать математическое ожидание числа работоспособных устройств $\overline{N}_p(t)$ при общем числе находившихся в эксплуатации устройств (табл. 2). Требуется рассчитать среднюю наработку до отказа $\overline{T}$ рассматриваемого устройства. Первоначально вычис-

Таблица 1

Значения наработки устройства до отказа и заданные значения t и T_0

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Массив значений наработки до отказа T, 1000 ч	Заданное значение t, 1000 ч	Значение T_0, 1000 ч
0	11, 9, 12, 16, 7, 8, 10, 11, 15, 8, 12, 14, 6, 10, 9, 10, 16, 11, 10, 13, 15, 11, 13, 12, 9, 11, 13, 12, 13, 11, 12, 8, 10, 13, 16, 8, 10, 7, 12, 14, 5, 16, 13, 13, 9, 6, 11, 9, 12, 14	12,5	4,5
1	14, 13, 16, 18, 14, 16, 15, 12, 14, 16, 15, 16, 14, 15, 11, 13, 18, 19, 11, 13, 10, 15, 17, 8, 19, 16, 16, 19, 9, 14, 12, 15, 17, 12, 14, 15, 19, 10, 11, 13, 14, 18, 11, 15, 17, 9, 13, 12, 13, 19	15,5	7,5
2	13, 12, 15, 17, 13, 15, 14, 11, 13, 15, 14, 15, 13, 14, 10, 12, 17, 18, 10, 12, 9, 14, 16, 7, 18, 15, 15, 11, 8, 13, 11, 14, 16, 11, 13, 14, 18, 9, 10, 12, 13, 17, 10, 14, 16, 8, 12, 11, 12, 18	14,5	6,5
3	12, 17, 9, 11, 8, 13, 15, 6, 17, 14, 14, 10, 7, 16, 10, 13, 15, 10, 12, 13, 17, 8, 9, 11, 12, 16, 9, 13, 15, 7, 11, 10, 11, 17, 12, 11, 14, 16, 12, 14, 13, 10, 12, 14, 13, 14, 12, 13, 9, 11	13,5	5,5
4	10, 15, 7, 9, 6, 11, 13, 4, 15, 12, 12, 8, 5, 14, 8, 11, 13, 8, 10, 11, 15, 6, 7, 9, 10, 14, 7, 11, 13, 5, 9, 8, 9, 15, 10, 9, 12, 14, 10, 12, 11, 8, 10, 12, 11, 12, 10, 11, 7, 9	11,5	3,5
5	5, 10, 6, 7, 2, 5, 5, 9, 4, 12, 1, 6, 8, 7, 4, 3, 11, 4, 6, 5, 7, 8, 3, 4, 6, 8, 7, 11, 6, 1, 5, 2, 7, 6, 9, 2, 5, 9, 4, 6, 8, 10, 5, 1, 7, 9, 3, 8, 1, 4	6,5	0,5
6	7, 7, 11, 14, 6, 3, 8, 10, 7, 12, 8, 9, 4, 9, 6, 5, 6, 13, 8, 7, 9, 10, 5, 6, 10, 9, 13, 8, 3, 7, 4, 9, 8, 11, 4, 7, 11, 6, 8, 10, 12, 7, 3, 9, 11, 5, 10, 3, 6, 8	8,5	2,5
7	6, 9, 7, 2, 5, 13, 10, 6, 6, 3, 8, 7, 11, 8, 5, 4, 5, 12, 7, 6, 8, 9, 4, 5, 7, 9, 8, 12, 7, 2, 6, 3, 8, 7, 3, 10, 6, 10, 5, 7, 9, 11, 6, 2, 8, 10, 4, 9, 2, 5	7,5	1,5
8	9, 11, 12, 7, 8, 10, 12, 14, 12, 11, 6, 9, 8, 5, 10, 13, 7, 14, 5, 9, 14, 12, 16, 8, 13, 10, 11, 6, 9, 5, 10, 8, 10, 15, 11, 10, 8, 15, 7, 8, 11, 9, 12, 10, 5, 16, 8, 13, 9, 6	9,5	3,5
9	11, 12, 14, 12, 10, 8, 7, 12, 11, 9, 4, 11, 11, 12, 13, 15, 6, 10, 9, 12, 5, 8, 12, 7, 13, 9, 10, 5, 8, 8, 13, 15, 7, 4, 9, 11, 8, 10, 7, 6, 14, 7, 8, 9, 10, 11, 6, 7, 9, 10	11,5	4,5

ления произвести непосредственно по выборочным значениям T, указанным в табл. 1, а затем с использованием статистического ряда.

Таблица 2

Объем партии устройств и заданное значение К

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем партии	100	1000	300	200	900	700	800	500	600	400
Значение, К	6	2	5	3	6	4	3	5	2	4

Методические указания

Наработка исследуемых устройств до отказа есть непрерывная случайная величина T. По результатам испытания (наблюдение в эксплуатации) партии из N устройств получена дискретная совокупность из N ее значений $t_1, \ldots t_i, \ldots t_N$ (см. табл. 1).

Статистическая вероятность безотказной работы устройства для наработки t определяется как

$$P(t) = \frac{N_p(t)}{N} , \quad (1)$$

где $N_р(t)$ — число объектов, работоспособных на момент времени t (определяется из табл. 1 для значений T, превышающих t).

При выполнении расчетов следует обратить особое внимание на точность полученных результатов, так как они будут использованы в последующем.

Вероятность отказа устройств за наработку t статистически определяется как

$$Q(t) = \frac{N_{нр}(t)}{N} , \quad (2)$$

где $N_{нр}(t)$ — число объектов неработоспособных к наработке t (определяется из табл. 1 для значений T, меньше t).

Поскольку $N_р(t) + N_{нр}(t) = N$, то сумма вероятностей: $P(t) + Q(t)$ используется для проверки правильности вычислений.

Оценку вероятности безотказной работы устройства по первым 20-и значениям наработки до отказа обозначим через $P^*(t)$. Ее значение определяется по формуле (1), но при этом $N = 20$, а число работоспособных объектов $N_р(t)$ выбирается из этой совокупности.

По условиям опыта, включающего 50 наблюдений, необходимо рассчитать вероятность безотказной работы устройства, т.е. $P(t) = 1 – F(t)$, где $F(t)$ — функция распределения случайной величины «наработка до отказа», определяющая вероятность события $T< t$ при $N \to \infty$.

Тогда с учетом формулы (1) математическое ожидание числа объектов $\overline{N_p(t)}$, работоспособных к наработке t определяется как

$$N_р(t) = P(t)\, N ,$$

где N — объем партии устройств, определяемый по табл. 2.

Контрольный вопрос. Чем объясняется возможное различие значений $P(t)$ и $P^*(t)$?

Для вычисления среднего значения $\overline{T}$ случайной величины T непосредственно по ее выборочным $t_1, t_2, \ldots, t_i, \ldots t_N$ используют формулу

$$T = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} t_i . \quad (3)$$

Здесь N равно числу значений T (табл. 1) для заданного варианта.

Приведенная формула не несет в себе методической ошибки, но расчеты с ее помощью обычно трудоемки и части приводят к неверным результатам в силу технических ошибок, во избежание которых расчеты желательно выполнить минимум дважды, вводя в калькулятор значения t_i первоначально с 1-го значения до N-го, а затем наоборот.

Для упрощения расчетов можно использовать преобразования результатов наблюдений (совокупности значений t_i) в статистический ряд. С этой целью весь диапазон наблюдаемых значений T делят на «m» интервалов или «разрядов» и подсчитывают число значений n_i приходящихся на каждый i-й разряд. Результаты такого подсчета удобно записывать в форме табл. 3.

Таблица 3

Преобразование значений наработки до отказа в статистический ряд

Интервал		Число попаданий на интервал	Статистические вероятности
№	Нижняя и верхняя границы, 10^3 ч		
1	8,5 ÷ 11,5	~~11111~~ ~~11111 11111~~ $n_1=15$	$q_1 = 0,15$
2	11,5 ÷ 14,5	~~1111~~1 ~~1111~~11 ~~1111~~1 ~~1111~~ ~~1111~~ ~~1111~~ ~~11111~~ $n_2=35$	$q_2 = 0,35$
3	14,5 ÷ 17,5	~~11111~~ ~~11111~~ ~~111111~~ ~~11111~~ ~~1111~~1 ~~1111~~1 $n_3=30$	$q_3 = 0,30$
4	17,5 ÷ 20,5	~~11111~~ ~~11111~~ ~~11111~~ ~~11111~~ $n_4=20$	$q_4 = 0,20$

Для выполнения второй части задания примем $\Delta t = 3\cdot10^3$ ч, а m=4. Для примера в табл. 3 указаны результаты систематизации в виде статистического ряда 100 значений случайной величины, распределенной на интервале [$8,5\cdot10^3 \div 20,5\cdot 10^3$ ч], для тех же условий, т.е. $\Delta t = 3\cdot10^3$ ч, а m=4.

Заполняя табл. 3, последовательно просматриваем массив значений (t_i) и оцениваем к какому разряду относится каждое число. Принадлежность числа к определенному разряду отмечают чертой в соответствующей строке таблицы. Затем подсчитывают $n_1, \ldots, n_i, \ldots, n_m$ — число попаданий значений случайной величины (число черточек) соответственно в 1-й, …, i-й, …, m-й разряд. Правильность подсчетов определяют, используя соотношение

$$\sum_{i=1}^{m} n_i = N .$$

Нижнюю границу интервала T_0 можно установить, пользуясь табл. 1. Статистический ряд отражают графически (см. рис. 1).

С этой целью по оси абсцисс откладывают разряды и на каждом разряде строят прямоугольник, высота которого равна статической вероятности попадания случайной величины на данный интервал. Здесь $T_1, \ldots, T_i, \ldots, T_m$ соответственно верхние

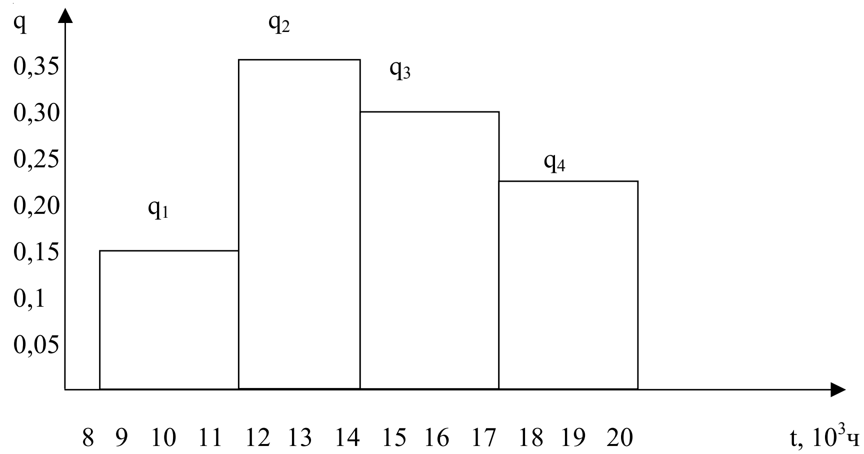

Рис. 1

границы 1, …, i, …, m-го интервалов, определяемые принятыми значениями T_0 и Δt.

Статистическая вероятность q_i попадания случайной величины на i-й интервал рассчитывается как

$$q_i = \frac{n_i}{N} .$$

После подсчетов значения q_i для всех разрядов проверяют правильность расчетов используя выражение

$$\sum_{i=1}^{m} q_i = 1 .$$

Для расчета среднего значения случайной величины принимают середину $\tilde{t}_i$ принадлежащей i-му интервалу. В этом случае наработка до отказа определяется

$$\overline{T} = \sum_{i=1}^{m} \tilde{t}\, q_i \, . \qquad (4)$$

Ошибку в расчетах оценивают по формуле

$$\delta = \frac{\overline{T}(II) - \overline{T}(I)}{\overline{T}(I)} \cdot 100\% ,$$

где $\overline{T}(I)$ и $\overline{T}(II)$ — средние значения, вычисленные соответственно с использованием формул (3) и (4).

Контрольный вопрос. Каким образом можно уменьшить ошибки в расчетах с использованием второго метода?

Задание 2

Требуется определить интенсивность отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt.

Необходимо определить также среднюю наработку до отказа $\overline{T}_Б$ блока сложной технической системы, исходя из предположения, что безотказность некоторого блока характеризуется интенсивностью отказов, численно равной рассчитанной, которая не меняется в течение всего срока службы локомотива.

На рис. 2 изображена подсистема управления, включающая в себя «*К*» последовательно соединенных блоков.

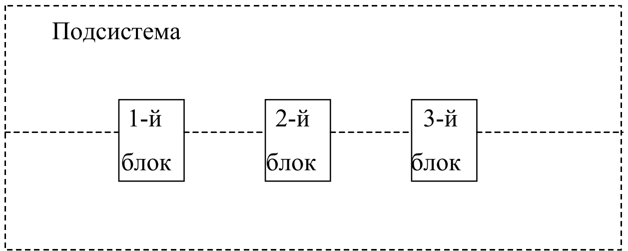

Рис. 2

Блоки имеют одинаковую интенсивность отказов, численно равную рассчитанной. Необходимо определить интенсивность отказов подсистемы $\lambda_п$ и среднюю наработку до отказа $\overline{T}_П$, построить зависимости вероятности безотказной работы одного блока $P_Б(t)$ и подсистемы $P_П(t)$ от наработки и определить вероятности безотказной работы блока $P_Б(t)$ и подсистемы $P_П(t)$ к наработке $t = \overline{T}_П$. Значение «*К*» берем из табл. 2.

Методические указания

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяется по формуле

$$\lambda(t) = \frac{q(t, \Delta t)}{P(t)\Delta t}, \tag{5}$$

где $q(t, \Delta t)$ — статистическая вероятность отказа устройства на интервале $[t_1 t + \Delta t]$ или иначе — статистическая вероятность попадания на указанный интервал случайной величины T;

$P(t)$ — рассчитанная на шаге 1 вероятность безотказной работы устройства (из табл.1, а $\Delta t = 3 \cdot 10^3$ ч).

Если интенсивность отказов не меняется в течение всего срока службы объекта, т.е. $\lambda(t) = \lambda =$ const, то наработка до отказа распределена по экспоненциальному (показательному) закону. В этом случае вероятность безотказной работы блока

$$P_Б(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-\lambda t) , \tag{6}$$

а средняя наработка блока до отказа находится как

$$\overline{T}_Б = \frac{1}{\lambda}. \tag{7}$$

При последовательном соединении «*К*» блоков интенсивность отказов образуемой ими подсистемы

$$\lambda_П = \sum_{i=1}^{K} \lambda_i . \tag{8}$$

Если интенсивности отказов всех блоков одинаковы, то интенсивность отказов подсистемы

$$\lambda_П = \kappa\lambda . \tag{9}$$

а вероятность безотказной работы подсистемы

$$P_П(t) = \exp(-\lambda_П t) = \exp(-\kappa\lambda t) . \tag{10}$$

На основе (7) и (8) средняя наработка подсистемы до отказа находится как

$$\overline{T} = \frac{1}{\lambda_П} = \frac{1}{\kappa\lambda}, \tag{11}$$

Для построения зависимостей $P_Б(t)$ и $P_П(t)$ используют калькулятор, а для расчета значений $P_Б(t)$ и $Р_П(t)$ интервал наработки t принимают $t = 400$ ч.

График строят на миллиметровой бумаге, установив максимальное значение $t = 5200$ ч, но при вычислении $P_П(t)$ расчеты можно прекратить, достигнув значения 0,05.

Для любого распределения наработки до отказа вероятность безотказной работы подсистемы, состоящей из «K» последовательно соединенных блоков, связана с вероятностями безотказной работы этих блоков следующим соотношением:

$$P_П(t) = \prod_{i=1}^{K} P_i(t). \tag{12}$$

При равнонадежных блоках

$$P_П(t) = P^*_Б{\cdot}(t). \tag{13}$$

Полученное значение по формуле (13) для $t = \overline{T}_П$, сравнивают со значением, рассчитанным по формуле (10).

Контрольный вопрос. В какой период эксплуатации — начальный или по мере приближения к предельному состоянию — интенсивность отказов объектов резко и неуклонно возрастает и почему?

Задание 3

Требуется определить стоимость зарезервированной системы $C(x)$, обладающей надежностью R_0, которая достигается при использовании «x» систем параллельно.

Известно, что резервируя аппаратуру, можно достичь любой наперед заданной надежности системы. При этом стоимость системы возрастает и может достичь сколь угодно большой величины.

Установить затраты необходимые на увеличение надежности системы от R^* до R_0 заданного сравнительно несложно. Допустим, что исходная система имеет стоимость C^*, тогда

$$(1 - R^*)^x = 1 - R_0, \tag{14}$$

или

$$x = \frac{\log(1 - R_0)}{\log(1 - R^*)}, \tag{15}$$

Поскольку $C(x) = xc^*$, то,

$$\frac{C(x)}{C} = \frac{\log(1 - R_0)}{\log(1 - R^*)}. \tag{16}$$

В случае поэлементного резервирования предположим, что все элементы обладают равной надежностью и стоимостью. При этом каждый из «n» элементов исходной системы имеет надежность $(R^*)^{\frac{1}{n}}$. Для достижения заданной надежности R_0 необходимо, чтобы надежность каждой из «n» параллельных групп, содержащих по «X» элементов, составляла $(R)^{\frac{1}{n}}$. «X» численно равно отношению конечной стоимости и начальной, т.е.

$$x = \frac{C_0}{C} = \frac{\log\left(1 - R_0^{\frac{1}{n}}\right)}{\log\left(1 - R^{\frac{1}{n}}\right)}. \tag{17}$$

Когда элементы различаются по стоимости и надежности, возникает задача отыскания оптимального распределения резервных элементов, при котором максимальная достигается при минимальных затратах

$$\frac{C_0}{C} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{C_i}{C \log q_i}\right) \log\left(1 - R_0^{\alpha_i}\right), \tag{18}$$

где $\alpha_i = \dfrac{C_j / \log q_i}{\sum_i^n C_j / \log q_j{}'}$ — переменная, обеспечивающая равенство $R_i(x_i) = R_i = R^{\lambda I}$, а число $q_i = 1 - r_i$ параллельных элементов i–го типа.

$$x_i = \frac{\log\left(1 - R^{\alpha_i}\right)}{\log q_i}. \qquad (19)$$

Поскольку каждый элемент i–го типа имеет стоимость C_i, полная стоимость элементов данного типа составит $x_i\,C_i$, а всей системы, состоящей из элементов «n» типов

$$C_0 = \sum_{i=1}^{n} C_i x_i\ . \qquad (20)$$

Таким образом стоимость системы как функция кратности резервирования вычисляется по уравнению (20), а надежность системы составляет при этом

$$R_0 = \prod_{i=1}^{n}\left(1 - q_i^{m_i}\right).$$

Методические указания

В табл. 4 приведены исходные данные для расчетов.

Таблица 4

Вариант (предпоследняя цифра учебного шифра)	Надежность элементов системы, r_i	Стоимость элементов системы, C_i
0	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9	1, 2, 3, 4, 5
1	0,6; 0,8; 0,8; 0,9; 0,9	2, 4, 6, 8, 10
2	0,8; 0,8; 0,7; 0,6; 0,95	4, 3, 6, 5, 4
3	0,85; 0,75; 0,55; 0,55; 0,8	2, 4, 5, 3, 6
4	0,52; 0,58; 0,62; 0,66; 0,68	1,5; 2,5; 2,0; 2,8; 3,0
5	0,75; 0,82; 0,85; 0,9; 0,95	3, 4, 5, 6, 7
6	0,8; 0,82; 0,84; 0,86; 0,88	4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0
7	0,7; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85	3,0; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5
8	0,79; 0,8; 0,92; 0,95; 0,98	4,0; 4,0; 5,0; 5,2; 6,0
9	0,55; 0,65; 0,75; 0,85; 0,95	1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5

Вероятность безотказной работы системы состоящей из взаимнонезависимых систем можно представить в виде

$$R = \prod_{i=1}^{n} R_i\,, \qquad (21)$$

где R_i — вероятность безотказной работы i-ой подсистемы.

Исходная система состоит из n элементов, каждый из которых обладает определенной надежностью r_i и стоимостью C_i (см. табл. 4).

Требуется определить минимальную стоимость системы, при которой ее надежность составит 0,999.

На основании уравнения (21) запишем

$$R = \mathit{\Pi}_{i=1}^{n} r_i = r_1 \cdot r_2 \cdot \ldots, r_n\ . \qquad (22)$$

Степень ненадежности системы определяется как $q_i = 1 - r_i$, затем определяем логарифм полученных чисел. После этого находят,

$$x_i = \frac{\log\left(1 - R*_i\right)}{\log q_i} = \frac{\log\left(1 - (1-Q)_i*\right)}{\log q_i}. \qquad (23)$$

Или в связи с тем, что $Q<<1$ можно записать

$$x \approx \frac{\log \alpha_i Q}{\log q_i}\ . \qquad (24)$$

Затем определяем стоимость каждого элемента

$$\left.\begin{array}{l} C_1^1 = \dfrac{C_1}{\log q_1} \\[2ex] C_2^1 = \dfrac{C_2}{\log q_2} \\[2ex] C_3^1 = \dfrac{C_3}{\log q_3} \\[2ex] C_4^1 = \dfrac{C_4}{\log q_4} \\[2ex] C_5^1 = \dfrac{C_5}{\log q_5} \end{array}\right\} \qquad (25)$$

и общую стоимость элементов

$$C' = \sum C_i \,. \tag{26}$$

Теперь определяем значение переменной величины

$$\alpha_i = \frac{C_i'}{C'} \,. \tag{27}$$

Полная стоимость системы

$$C_0 = \sum_{i=1}^{n} x_i C_i \,; \quad \text{а} \quad \frac{C_0}{\sum C_i} = n \,. \tag{28}$$

Если известны статистические и стоимостные данные о каждом из «n» элементов системы, то становится очевидным, что надежность может быть увеличена оптимальным способом от R до 0,999 при «m» — кратном повышении стоимости.

Необходимо сравнить этот случай со случаем посистемного резервирования. Если исходное значение надежности R, то $Q = 1 - R$. Тогда для подсчета необходимого количества параллельных систем определяется по формуле

$$x = \frac{\log Q_0}{\log Q} = \frac{\log(1 - 0{,}999)}{\log Q} \,. \tag{29}$$

Формула (29) показывает, что при посистемном резервировании можно достичь заданной надежности за счет увеличения стоимости в «m» раз.

Если неизвестна стоимость и надежность элементов, но известна стоимость и надежность системы, то, предполагая, что отдельные элементы характеризуются равной стоимостью и равной надежностью, можно определить

$$x = \frac{\log\left(1 - R_0^{\frac{1}{n}}\right)}{\log\left(1 - R^{\frac{1}{n}}\right)} \,. \tag{30}$$

Сравнить результаты, полученные по формулам (30) и (28) и сделать выводы.

Задание 4

Для наработки $t = \overline{T}_П$ требуется определить вероятность безотказной работы $P_с(\overline{T}_П)$ системы (рис. 3) состоящей из четырех подсистем, две из которых являются резервными

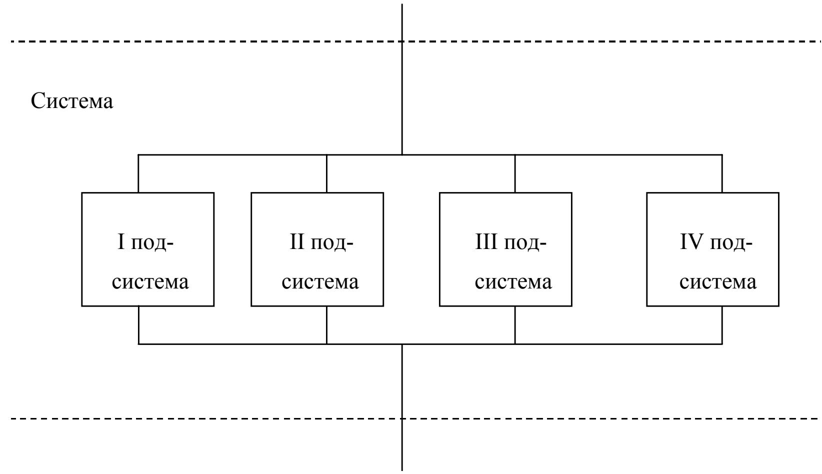

Рис. 3

Расчет ведется в предположении, что отказы каждой из 4-х подсистем независимы, т.е. отказ каждой из подсистем не нарушает работоспособность других и наоборот.

Вероятности безотказной работы каждой подсистемы одинаковы и равны $P_П(\overline{T}_П)$. Тогда вероятность отказа одной системы

$$Q_П(\overline{T}_П) = 1 - P_П(\overline{T}_П). \tag{31}$$

Вероятность отказа всей системы $Q_с(\overline{T}_П)$ определяется из условия, что отказали все подсистемы, т.е.

$$Q_с(\overline{T}_П) = Q_П(\overline{T}_П)\, Q_П(\overline{T}_П)\, Q_П(\overline{T}_П)\, Q_П(\overline{T}_П) = Q_П^4(\overline{T}_П) \tag{32}$$

или

$$P_{с}(\overline{T}_{П}) = 1 - (1 - P_{П}(\overline{T}_{П}))^4 . \qquad (33)$$

Контрольный вопрос. Какие недостатки Вы видите в принятой схеме резервирования?

Задание 5

Необходимо определить зависимости математического ожидания (среднего значения) износа деталей $y(t)$ и дисперсии $D(y(t))$ от пробега (наработки) используя данные из табл. 5. Параметры искомых зависимостей следует рассчитать с использованием правила определения прямой, проходящей через две точки с известными координатами.

Методические указания

При выполнении задания исходят из предположения, что математическое ожидание и дисперсия износа деталей представляют собой линейные функции от пробега.

Зависимость износа «y» от пробега t представляет случайную функцию, реализация которой является монотонными убывающими функциями. Для описания случайной функции часто вполне достаточно знать, как меняются ее математическое ожидание и дисперсия $\overline{y}(t)$ и $D(y(t))$ от пробега. Для описания зависимости износа от пробега могут быть использованы линейные функции

$$\overline{y}(t) = \overline{y}_0 + at \text{, мм} \qquad (34)$$

$$D(y(t)) = D(y_0 + bt) \text{, мм} \qquad (35)$$

где $\overline{y}_0$ — среднее значение износа деталей при $t = 0$;
$D(y_0)$ — дисперсия износа деталей при $t = 0$;
a — средняя скорость увеличения износа мм/тыс.км;
b — скорость увеличения дисперсии износа, мм^2/тыс.км;
t — пробег локомотива, тыс.км.

Искомыми параметрами функция (34) и (35) являются $\overline{y}_0$, a, $D(y_0)$, и b. На практике для их нахождения необходимо область возможных значений пробега (нижняя граница которой $t = 0$, а верхняя находится из условия достижения предельного значения износа) разбить на несколько (10–20) интервалов. При каж-

Таблица 5

Результаты обработки измерений износа деталей локомотивов

Расчетная величина	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первое измерение									
Пробег, t_1, тыс.км	50	25	75	80	40	60	90	30	65	20
Средний износ, $\overline{Y}_1$, мм	0,149	0,081	0,218	0,232	0,123	0,177	0,259	0,094	0,091	0,067
Дисперсия износа $D(y_1)$, мм^2	0,00098	0,0005	0,00147	0,00157	0,00079	0,00118	0,00176	0,0006	0,00128	0,0004
	Второе измерение									
Пробег, t_2, тыс.км	150	125	175	180	140	160	190	130	165	120
Средний износ, $\overline{Y}_2$, мм	0,424	0,430	0,493	0,507	0,397	0,452	0,534	0,369	0,466	0,342
Дисперсия износа $D(y_2)$, мм^2	0,00292	0,00244	0,00341	0,00381	0,00273	0,00312	0,0037	0,0254	0,00322	0,00234

дом из разделяемых этими интервалами пробегов t_1, t_2, …, t_i… производят измерение износа большого количества деталей и вычисляют соответствующие пробегам средние значения $\bar{y}_1, \bar{y}_2, ..., \bar{y}_i ...$, а затем дисперсия $D(y_1)$, $D(y_2)$, …, $D(y_i)$,… Используя метод зависимости квадратов, определяем искомые зависимости $\bar{y}(t)$ и $D(y(t))$ по имеющимся значениям t_i и y_i или t_i и $D(y_i)$.

Учитывая сложность задачи, предполагаем, что массивы данных износа для каждого t_i обработаны. Кроме того, считаем возможным определить искомые линейные зависимости, имея координаты двух точек. При таком существенном упрощении параметры «a» и «b» из (34) и (35) определяются по уравнениям

$$a = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1}, \tag{36}$$

$$b = \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1}. \tag{37}$$

Используя координаты любой из двух известных точек, находят два других параметра (например, для второй точки)

$$\bar{y}_0 = \bar{y}_2 - \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} t_2, \tag{38}$$

$$D(y_0) = D(y_2) - \frac{D(y_2) - D(y_i)}{t_2 - t_1} t_2. \tag{39}$$

Значения последних четырех уравнений (36–39) подставим в уравнения (34) и (35) и получим выражения, определяющие зависимости среднего износа деталей и дисперсии от пробега

$$\bar{y}(t) = \bar{y}_2 - \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} + \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} t, \tag{40}$$

$$D(y(t)) = D(y_2) - \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1} + \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1} t. \tag{41}$$

По уравнениям (34) и (35) производят необходимые вычисления и записывают их с числовыми значениями параметров.

Контрольный вопрос. Могут ли исходные значения среднего износа деталей $\bar{y}_0$ и дисперсии износа $D(y_0)$, соответствующие $t = 0$, быть равными 0? Отрицательными числами?

Рекомендуемая литература

Основная

1. В о з н ю к В.Н., П у ш к а р е в И.Ф., С т а в р о в Т.В. и др. Надежность тепловозов. — М.: Транспорт, 1991.

2. Г а л к и н В.Г., П а р а м з и н В.П., Ч е т в е р г о в В.А. Надежность тягового подвижного состава. Уч. пос. для вузов железнодорожного транспорта. — М.:Транспорт, 1981.

Дополнительная

3. Б о р о д и н А.П., П а х о м о в В.А. Диагностика тепловозных дизелей по спектральному анализу масла. — М.: ВЗИИТ, 1981.

4. П у ш к а р е в И.Ф., П а х о м о в В.А. Контроль и оценка технического состояния тепловозов. — М.: Транспорт. 1985.

При составлении задания были использованы методические указания В.М. Тимошечкина

ОСНОВЫНАДЕЖНОСТИЛОКОМОТИВОВ

Задание на контрольную работу

Редактор *Г.В. Тимченко*
Компьютерная верстка *Н.Ф. Цыганова*

Тип. зак.	Изд. зак. 358	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 29.06.04	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 1,5		Формат $60\times90^{1}/_{16}$

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2