ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «НАДЕЖНОСТЬ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ»

Каждый студент выполняет 3 задания. Задания необходимо выполнять по варианту, который соответствует номеру студента в списке группы. При числе студентов в группе больше 20, 21-й номер берет вариант 1, 22-й номер берет вариант 2 и т.д.

Методические указания к выполнению заданий, примеры решения и список литературы приведены после заданий.

Работа оформляется в виде файла в формате Word или pdf.

Формат имени файла: Группа_ФамилияИО_ВарМ_вN.

Здесь М – номер варианта, N – номер версии (версия 1 – 1-я редакция, последующие версии – редакции с исправлениями по сделанным замечаниям).

Например: БИС2151_ИвановИИ_Вар1_в2.

Работы с именами файлов, не соответствующими указанному формату, оцениваться не будут!

При загрузке 2-й и последующих версий предыдущие версии не удалять!

В начале самой работы (например, на титульном листе) также должны быть указаны номер группы, студент, номер варианта и номер версии.

Задание 1

Для оценки надежности проведены испытания четырёх однотипных образцов аппаратуры (№№ 1–4), результаты которых представлены в табл. 1.1. На основании этих данных требуется рассчитать статистические оценки показателей надёжности: средней наработки на отказ $T_о$, вероятности безотказной работы $P(t_{б.р})$ в течение времени $t_{б.р}$, среднего времени восстановления $T_в$, вероятности восстановления $P_в(t_в)$ за время $t_в$, коэффициента готовности $K_г$. Для каждого варианта следует совместно учитывать данные по двум образцам аппаратуры (взяв их в совокупности) и произвести оценку трёх показателей, указанных в табл. 1.2 знаком «+».

Таблица 1.1

Номер отказа	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
	Время работы, ч	Время восстановления, ч	Время работы, ч	Время восстановления, ч	Время работы, ч	Время восстановления, ч	Время работы, ч	Время восстановления, ч
1	123	1,0	69	1,5	92	0,1	110	0,1
2	42	0,5	122	0,4	131	0,2	39	0,2
3	111	0,1	87	0,8	47	0,5	84	0,5
4	59	0,3	94	0,2	115	1,1	96	0,1
5	86	0,4	113	0,9	77	0,8		
6	94	0,7	45	0,4				
7	136	1,2	83	0,5				
8	81	0,3						

Таблица 1.2

Номер варианта	Номера образцов	$T_о$	$P(t_{б.р})$ при $t_{б.р}$		$T_в$	$P_в(t_в)$ при $t_в$		$K_г$
			50 ч	100 ч		0,5 ч	1 ч	
1	1 и 2	+				+		+
2	1 и 2		+		+			+
3	1 и 2			+	+			+
4	1 и 2	+					+	+
5	1 и 3	+				+		+
6	1 и 3		+		+			+
7	1 и 3			+	+			+
8	1 и 3	+					+	+
9	1 и 4	+				+		+
10	1 и 4		+		+			+
11	1 и 4			+	+			+
12	1 и 4	+					+	+
13	2 и 3	+				+		+
14	2 и 3		+		+			+
15	2 и 3			+	+			+
16	2 и 3	+					+	+
17	2 и 4	+				+		+
18	2 и 4		+		+			+
19	2 и 4			+	+			+
20	2 и 4	+					+	+

Задание 2

Рассчитать надежность устройства, исходя из значений интенсивности отказов его элементов. Отказ устройства происходит при отказе любого элемента. Все элементы разбиты на 4 группы в соответствии с величиной их интенсивности отказов λ_j (табл. 2.1). Интенсивности отказов всех элементов считаются при этом постоянными. Известно количество элементов устройства из каждой группы n_j (j = 1,…,4). Значения n_j для каждого варианта приведены в табл. 2.2. Требуется рассчитать среднюю наработку устройства до отказа и вероятность его безотказной работы в течение 2 лет.

Таблица 2.1

№ п/п	Типы элементов	λ_j, 1/ч
1	Постоянные резисторы, паяные соединения, постоянные конденсаторы (не электролитические)	10^{-10}
2	Диоды общего назначения, катушки индуктивности, электролитические конденсаторы	10^{-9}
3	Транзисторы малой и средней мощности, ИС и БИС	10^{-8}
4	Мощные транзисторы, СБИС	10^{-7}

Таблица 2.2

n_j	Номер варианта																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n_1	350	345	340	335	330	325	320	315	310	305	300	295	290	285	280	275	270	265	260	255
n_2	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32
n_3	80	78	76	74	72	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42
n_4	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

Задание 3

Сеть связи имеет структуру, изображенную на рис. 1 («мостик с двумя перемычками»). Рассматривается связь между двумя полюсами сети (выделены на рисунке заливкой). Предполагается, что связь возможна, если между полюсами сети существует хотя бы один работоспособный путь. Состояния всех линий

независимы, узлы считаются абсолютно надежными. Вероятности работоспособности линий p_i (i = 1,…,6) для каждого варианта даны в табл. 3.

Рассчитать вероятность работоспособности (возможности связи между полюсами) сети, используя разложения по элементам.

Перечислить все простые пути и простые сечения системы.

Рассчитать нижнюю и верхнюю оценки вероятности работоспособности системы на основе попарно непересекающихся простых путей и сечений (оценки Литвака-Ушакова).

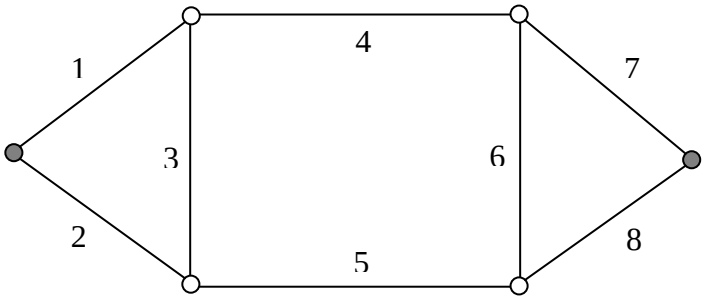


Рис. 1. Схема сети связи («мостик с двумя перемычками»)

Таблица 3

Номер варианта	Вероятность p_i		Номер варианта	Вероятность p_i	
	для $i \neq 3, 6$	для $i = 3, 6$		для $i \neq 3, 6$	для $i = 3, 6$
1	0,91	0,96	11	0,91	0,98
2	0,92	0,96	12	0,92	0,98
3	0,93	0,96	13	0,93	0,98
4	0,94	0,96	14	0,94	0,98
5	0,95	0,96	15	0,95	0,98
6	0,91	0,97	16	0,91	0,99
7	0,92	0,97	17	0,92	0,99
8	0,93	0,97	18	0,93	0,99
9	0,94	0,97	19	0,94	0,99
10	0,95	0,97	20	0,95	0,99

Методические указания к выполнению заданий

Решения заданий располагаются в порядке возрастания номеров. Перед решением необходимо написать его условие с указанием исходных данных требуемого варианта. Номер варианта должен совпадать с номером по списку до варианта 20, далее 21-й номер берет вариант 1, 22-й берет вариант 2 и т.д.

Решения заданий должны быть четкими, краткими, без сокращения слов (допускается использование общепринятых сокращений). Используемая терминология и обозначения для показателей надежности должны соответствовать стандартам.

Расчетные формулы необходимо вначале приводить в тексте в общем виде с объяснением входящих в них буквенных обозначений. Только после этого в формулы следует подставлять числовые значения, указывая при необходимости единицы измерения, для обозначения которых следует использовать стандартные сокращения. Формулы лучше записывать в текстовом режиме, не используя редактор формул (см. примеры ниже). Для показателей, имеющих размерность времени, точность вычислений должна быть от 0 до 2 знаков после запятой в зависимости от числового значения (например, 12750 ч; 12,7 ч; 0,05 ч = 3 мин); для показателей типа вероятности – от 3 до 6 знаков после запятой (чем ближе к 1, тем выше точность, например, 0,975; 0,999998).

Задание 1. Статистические оценки вероятностей вычисляются как отношение числа благоприятных случаев к общему числу случаев. При оценке $P(t_{б.р})$ благоприятным случаем является реализация времени работы $t_i \geq t_{б.р}$, а для $P_в(t_в)$ – реализация времени восстановления $t_{в\,i} \leq t_в$.

Задание 2. Следует обратить внимание, что для расчета показателей надежности необходимо определить тип распределения наработки до отказа.

Задание 3. Надо выбрать элементы, по которым будет производиться разложение, рассмотреть все возможные сочетания состояний элементов разложения (работоспособен/неработоспособен) и для каждого сочетания нарисовать получающуюся в этом случае схему. При этом неработоспособность

элемента разложения влечет удаление соответствующего ребра графа, а работоспособность – стягивание ребра, т.е. отождествление его граничных вершин. Важно, чтобы все получившиеся схемы оказались приводимыми, т.е. представлялись в виде комбинаций последовательных и параллельных соединений. После этого искомая вероятность находится в виде суммы, число слагаемых в которой равно числу сочетаний состояний элементов разложения, а каждое слагаемое есть произведение вероятностей соответствующих состояний элементов разложения и вероятности работоспособности схемы, получившейся для данного сочетания.

Перед вычислениями двусторонних оценок следует указать используемые множества простых путей и сечений и изобразить схемы оценочных приводимых систем.

Примеры выполнения заданий

Ниже приведены примеры решения аналогичных задач.

1. Даны результаты испытаний образцов, которые приведены ниже в таблице (в ней указаны наработки всех рассматриваемых образцов).

Номер отказа	Время работы t_i, ч	Время восстановления $t_{в\,i}$, ч
1	745	1,1
2	427	0,5
3	1023	0,3
4	1115	0,2
5	864	0,6
6	956	0,4
7	1217	1,2
8	612	0,7
9	773	0,3
10	1335	0,8
Всего	9067	6,1

Р е ш е н и е. Статистические оценки средней наработки на отказ $T_о$ и среднего времени восстановления $T_в$ вычисляются по формулам:

$$T_{\text{о}} = (1/N) \sum t_i, \quad T_{\text{в}} = (1/N) \sum t_{\text{в}\,i},$$

где N – число реализаций (отказов), а суммы берутся по всем реализациям.

Значения сумм приведены в последней строке таблицы ("Всего"), откуда получаем:

$$T_{\text{о}} = 9067/10 \text{ ч} = 906{,}7 \text{ ч}; \; T_{\text{в}} = 6{,}1/10 \text{ ч} = 6{,}11 \text{ ч}.$$

Для коэффициента готовности $K_{\text{г}}$ имеет место формула $K_{\text{г}} = T_{\text{о}}/(T_{\text{о}}+T_{\text{в}})$, откуда

$$K_{\text{г}} = 906{,}7/(906{,}7+6{,}11) = 906{,}7/912{,}71 = 0{,}9934.$$

Оценка вероятности безотказной работы $P(t_{\text{б.р}})$ в течение времени $t_{\text{б.р}} = 500$ ч рассчитывается как отношение $N(t_{\text{б.р}})/N$, где $N(t_{\text{б.р}})$ – число реализаций времени работы $t_i \geq t_{\text{б.р}}$. Для $t_{\text{б.р}} = 500$ ч таких благоприятных случаев равно 9 (все кроме 2-го), поэтому

$$P(t_{\text{б.р}}) = 9/10 = 0{,}9.$$

Аналогично оценивается вероятность восстановления $P_{\text{в}}(t_{\text{в}})$ за время $t_{\text{в}} = 1$ ч. Число благоприятных случаев $t_{\text{в}\,i} \leq t_{\text{в}}$ равно 8 (все кроме 1-го и 7-го), поэтому

$$P(t_{\text{в}}) = 8/10 = 0{,}8.$$

2. Даны количества элементов устройства, относящихся к указанным в табл. 2.1 группам: $n_1 = 120$, $n_1 = 40$, $n_1 = 20$, $n_1 = 10$.

Р е ш е н и е. Поскольку отказ устройства происходит при отказе любого элемента, имеет место последовательное соединение элементов. Поэтому интенсивность отказов устройства λ равна сумме интенсивностей отказов всех его элементов, т.е.

$$\lambda = \sum \lambda_i \, n_i = 120 \cdot 10^{-10} + 40 \cdot 10^{-9} + 20 \cdot 10^{-8} + 10 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^{-1} = 1{,}252 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^{-1}.$$

Поскольку интенсивности отказов всех элементов постоянны (не зависят от времени), постоянна и интенсивность отказов устройства. Поэтому распределение наработки до отказа является экспоненциальным, т.е. вероятность безотказной работы выражается формулой $P(t) = \mathrm{e}^{-\lambda t}$.

Для средней наработки устройства до отказа имеем:

$$T = 1/\lambda = 1/(1{,}252\cdot 10^{-7})\ \text{ч} = 798722\ \text{ч}.$$

Если $t = 1$ год $= 365\cdot 24$ ч $= 8760$ ч, то $\lambda t = 1{,}252\cdot 10^{-7}\cdot 8760 = 0{,}0110$, откуда получим вероятность безотказной работы в течение года:

$$P(1\ \text{год}) = e^{-0{,}0110} = 0{,}989.$$

3. В качестве примера приведён расчет вероятности работоспособности (возможности связи между полюсами) мостика (рис. 2) методом разложения по элементу. Вероятности работоспособности элементов $p_i = 0{,}9$.

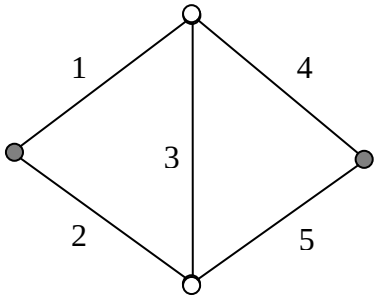


Рис.2. Мостиковая схема

Р е ш е н и е. В качестве элемента разложение берется перемычка – элемент 3. Обозначим через A событие работоспособности системы. Для его вероятности имеет место равенство:

$$P = \mathbf{P}(A) = (1 - p_3)\,\mathbf{P}\{A \mid x_3 = 0\} + p_3\,\mathbf{P}\{A \mid x_3 = 1\}.$$

Условие неработоспособности элемента разложение $x_3 = 0$ приводит к удалению соответствующего ребра из графа, а условие работоспособности элемента разложение $x_3 = 1$ – к стягиванию его граничных вершин. При этом получаются системы, изображенные на рис. 3*а* и 3*б* соответственно. Они являются приводимыми, расчёт вероятностей их работоспособности P_0 и P_1 осуществляется на основе формул для последовательного и параллельного соединений.

Первая система представляет собой параллельное соединение двух модулей, первый из которых – последовательное соединение элементов 1 и 4, второй – последовательное соединение элементов 2 и 5. Для первого модуля $p_{14} = p_1 p_4$, для второго $p_{25} = p_2 p_5$, откуда

$$P_0 = 1 - (1 - p_{14})\,(1 - p_{25}) = p_1p_4 + p_2p_5 - p_1p_4p_2p_5.$$

Вторая система представляет собой последовательное соединение двух модулей, первый из которых – параллельное соединение элементов 1 и 2, второй – параллельное соединение элементов 4 и 5. Для первого модуля

$$p_{12} = 1 - (1-p_1)(1-p_2) = p_1 + p_2 - p_1p_2,$$

для второго

$$p_{45} = 1 - (1-p_4)(1-p_5) = p_4 + p_5 - p_4p_5,$$

откуда

$$P_1 = p_{12}\,p_{45} = (p_1 + p_2 - p_1p_2)(p_4 + p_5 - p_4p_5).$$

Окончательный результат:

$$P = (1-p_3)P_0 + p_3P_1 = (1-p_3)(p_1p_4 + p_2p_5 - p_1p_4p_2p_5) + p_3(p_1 + p_2 - p_1p_2)\times$$

$$\times(p_4 + p_5 - p_4p_5) = 0{,}1\cdot 0{,}9639 + 0{,}9\cdot 0{,}9801 = 0{,}97848.$$



а *б*

Рис. 3. Системы, полученные при разложении мостика и используемые для получения нижней и верхней оценок.

Все простые пути мостика: {1, 4}, {2, 5}, {1, 3, 5}, {2, 3, 4}.

Все простые сечения мостика: {1, 2}, {4, 5}, {1, 3, 5}, {2, 3, 4}.

Для расчёта нижней оценки вероятности работоспособности берём попарно непересекающиеся простые пути {1, 4}, {2, 5}, соединяя их параллельно (рис. 3*а*). Вероятность работоспособности получившейся системы есть рассчитанная выше вероятность P_0, откуда $P_н = P_0 = 0{,}9639$.

Для расчёта верхней оценки вероятности работоспособности берём попарно непересекающиеся простые сечения {1, 2}, {4 5}, соединяя их последовательно (рис. 3*б*). Вероятность работоспособности получившейся системы есть рассчитанная выше вероятность P_1, откуда $P_в = P_1 = 0{,}9801$.

Убеждаемся, что $P_н < P < P_в$.

В случае разложения по двум элементам k и l, что требуется для выполнения задания, рассматриваются четыре ситуации: $x_k = 0$ и $x_l = 0$; $x_k = 0$ и $x_l = 1$; $x_k = 1$ и $x_l = 0$; $x_k = 1$ и $x_l = 1$. В каждой из них неработоспособность элемента разложения приводит к удалению соответствующего ребра из графа, а условие работоспособности элемента разложение – к стягиванию (отождествлению) его граничных вершин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Нетес В.А. Основы теории надёжности: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2019.
   или
   Нетес В.А. Основы теории надёжности: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2014.

Дополнительная литература

2. Ушаков И.А. Курс теории надёжности систем. – М.: Дрофа, 2008.