

Министерство транспорта РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования Российский университет транспорта
(РУТ(МИИТ))
Российская открытая академия транспорта

Кафедра "Нетяговый подвижной состав"

Автор к.т.н. , доцент Кривич Ольга Юрьевна

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ
«Основы теории надежности»

Направление/специальность: «Подвижной состав железных дорог»

Профиль/специализация: «Пассажирские вагоны», «Грузовые вагоны»
«Локомотивы», «Электрический транспорт железных дорог», «Технология
производства и ремонта подвижного состава»

1 Введение

По дисциплине «Основы теории надежности» учебным планом предусмотрена контрольная работа. Работа выполняется студентами третьего курса и предназначена для закрепления теоретических знаний, полученных студентами в результате освоения разделов дисциплины.

Контрольная работа содержит девять заданий. Номер варианта задания определяется студентом по последней цифре учебного шифра. Варианты исходных данных для задач контрольной работы приведены в таблицах заданий.

2 Задание на контрольную работу

Задание 1. Дать определения готовности, безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости и надежности.

Задание 2. Наблюдение проводилось за N объектами. За период наблюдений отказали n объектов. По данным таблицы определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа объекта. Произвести проверку расчета, используя связь вероятности безотказной работы и вероятности отказа. Записать определение вероятности безотказной работы и вероятности отказа.

	0 вар	1 вар	2 вар	3 вар	4 вар	5 вар	6 вар	7 вар	8 вар	9 вар
N	1000	2500	9500	3200	5800	11400	8400	3200	8900	15000
n	472	840	8873	736	870	2736	4578	1344	7120	4590

Задание 3. Испытания проводились с $N=20$ невосстанавливаемыми объектами до момента их отказа. Получены данные о наработках в часах. Определить время средней наработки до отказа по данным таблицы. Записать определение средней наработки до отказа.

0 вар $t_i, ч$	50	99	157	284	1003	473	278	8990	326	594
	300	500	268	590	495	387	369	495	6000	376
1 вар $t_i, ч$	250	495	785	1420	500	1003	500	284	1003	500
	1500	2500	1340	2950	590	5700	387	590	5700	1880
2 вар $t_i, ч$	300	2475	3925	7100	1420	5015	2365	1420	5015	1420
	7500	12500	6700	300	2950	300	1935	2950	2950	9400
3 вар $t_i, ч$	50	99	157	284	57	200	1140	57	201	594
	650	500	268	590	118	1140	284	118	57	376
4 вар $t_i, ч$	100	198	314	568	2006	946	556	17980	652	1000
	600	1000	536	1180	990	774	738	990	12000	752

5 вар $t_i, ч$	500	990	1570	738	1000	2006	1000	568	2006	1000
	157	738	2680	157	1180	11400	774	1180	11400	3760
6 вар $t_i, ч$	600	4950	7850	14200	1140	10030	4730	2840	1000	2840
	157	1140	13400	600	5900	600	3870	5900	5900	18800
7 вар $t_i, ч$	100	198	314	14200	114	400	568	114	402	1188
	1300	1000	536	1180	236	2280	14200	236	114	752
8 вар $t_i, ч$	180	1485	2355	4260	852	3009	1419	852	3009	852
	4500	7500	4020	180	4260	2355	1161	4260	1770	180
9 вар $t_i, ч$	900	7425	11775	2280	4260	2280	7095	4260	15045	4260
	495	387	369	900	21300	11775	5805	2130	8850	900
10 вар $t_i, ч$	150	297	471	852	171	600	852	171	603	1782
	1950	1500	804	1770	354	3420	852	354	171	1128

Задание 4. В результате проведенных испытаний получены данные по наработкам до отказов t_i (в часах) испытываемых невосстанавливаемых объектов. Используя данные таблицы построить графики зависимости вероятности безотказной работы (вероятности отказа) от наработки t . Для построения графиков общую наработку эксперимента разбить на десять одинаковых интервалов, схему процесса испытаний (наработки до отказа по интервалам наблюдений) представить графически.

0 вар $P(t)$	1 вар $F(t)$	2 вар $P(t)$	3 вар $F(t)$	4 вар $P(t)$	5 вар $F(t)$	6 вар $F(t)$	7 вар $P(t)$	8 вар $F(t)$	9 вар $P(t)$
$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$	$t_i, ч$
15	19,5	27	22,5	45	84,6	141	70,5	47	61,1
51	118,3	108	90	249	163,8	273	136,5	91	118,3
56	58,5	149,4	124,5	105	100,8	168	84	56	72,8
95	84,5	63	52,5	195	149,4	249	124,5	83	107,9
26	49,4	55,8	46,5	180	81	135	67,5	45	58,5
40	63,7	75,6	63	210	55,8	93	46,5	31	40,3
47	45,5	117	97,5	273	68,4	114	57	38	49,4
48	54,6	163,8	136,5	285	117	195	97,5	65	84,5
70	78	72	60	141	126	210	105	70	91
27	40,3	100,8	84	153	108	180	90	60	78
83	35,1	48,6	40,5	81	88,2	147	73,5	49	63,7
31	107,9	68,4	57	93	86,4	144	72	48	62,4
35	33,8	86,4	72	120	63	105	52,5	35	45,5
42	52	91,8	76,5	126	75,6	126	63	42	54,6
60	61,1	46,8	39	135	171	285	142,5	95	123,5
38	62,4	84,6	70,5	78	48,6	81	40,5	27	35,1
49	91	88,2	73,5	147	46,8	78	39	26	33,8
45	72,8	126	105	168	91,8	153	76,5	51	66,3
65	123,5	171	142,5	114	27	45	22,5	15	19,5
91	66,3	81	67,5	144	72	120	60	40	52

Задание 5. Определить интенсивность отказа $\lambda(t)$ для пятого интервала наблюдений из задания 4. Записать определение интенсивности отказов.

Задание 6. В результате проведенных испытаний получены данные по наработкам до отказов t_i испытываемых восстанавливаемых объектов. В испытаниях участвовало 15 объектов. Используя данные таблицы определить параметр потока отказов $\omega(t)$ для каждого интервала наработки в 1000 ч, определить среднюю наработку на отказ T , коэффициент готовности K_r . Среднее время восстановления принять равным $T_6=24$ ч.

0 вар	1 вар	2 вар	3 вар	4 вар	5 вар	6 вар	7 вар	8 вар	9 вар
$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$	$T_{i,ч}$
2560	4180	2760	4480	2960	3460	3160	3234	3360	2640
5000	570	4800	770	4970	500	4780	2100	4970	2430
1000	4200	1820	5020	2640	770	3460	2795	4280	3540
2300	340	2365	540	2430	1100	2730	3034	2795	3480
4100	1400	4920	1700	3540	100	4360	3480	1200	2730
500	2120	700	2940	900	980	1100	2730	1300	1400
3700	140	4000	340	4300	3915	4600	4920	4900	295
4700	4635	4765	4935	4830	200	4370	3460	4435	4960
200	1800	400	2620	600	4700	780	2430	980	3234
3000	1260	3200	2080	3400	3285	4420	4900	4620	2400
100	1100	300	1400	500	3740	700	2365	900	4600
1250	230	2070	295	2890	4960	3190	540	4010	785
1900	4760	2720	4960	3540	300	3740	2769	4560	500
2000	3034	2065	3234	2130	4935	2769	2834	2834	3700
3500	320	4320	1140	4700	4960	3950	140	4770	4700
1200	3220	1500	3285	1800	2640	2100	340	2400	3740
3400	3480	4220	3680	4560	295	3780	4765	4600	4960
50	3500	250	3700	450	700	585	2300	785	300
1500	3850	1800	3915	2100	140	2730	1100	3030	3034
2700	1540	2900	2360	3100	2100	3400	4620	3600	3480

Задание 7. По приведенным в таблице данным определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа, плотность распределения наработки до отказа на момент наработки t . Определить среднюю наработку до первого отказа. Надежность объекта подчиняется экспоненциальному закону распределения.

вариант	$\lambda, 1/\text{км}$	$t, \text{км}$
0 вар	$2,7 \cdot 10^{-5}$	2000
1 вар	$3,7 \cdot 10^{-5}$	1700
2 вар	$2,9 \cdot 10^{-5}$	3000
3 вар	$1,7 \cdot 10^{-5}$	2400
4 вар	$4,3 \cdot 10^{-5}$	1000
5 вар	$2,3 \cdot 10^{-5}$	5000

вариант	λ , 1/км	t, км
6 вар	$1,9 \cdot 10^{-5}$	2800
7 вар	$4,1 \cdot 10^{-5}$	4000
8 вар	$3,5 \cdot 10^{-5}$	3200
9 вар	$3,1 \cdot 10^{-5}$	5500

Задание 8. Объект состоит из 5 элементов, соединенных с точки зрения обеспечения надежности последовательно. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа объекта, если вероятности отказа каждого элемента имеют значения, приведенные в таблице. Начертить схему соединения элементов.

вариант	$F_1(t)$	$F_2(t)$	$F_3(t)$	$F_4(t)$	$F_5(t)$
0 вар	0,99	0,99	0,93	0,99	0,91
1 вар	0,89	0,95	0,93	0,99	0,92
2 вар	0,99	0,99	0,93	0,99	0,91
3 вар	0,95	0,95	0,93	0,99	0,95
4 вар	0,97	0,89	0,93	0,87	0,91
5 вар	0,91	0,96	0,93	0,99	0,94
6 вар	0,99	0,99	0,97	0,87	0,84
7 вар	0,99	0,99	0,88	0,99	0,91
8 вар	0,92	0,81	0,92	0,89	0,87
9 вар	0,82	0,99	0,83	0,99	0,83

Задание 9. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа объекта из задания 8, если 2, 3 и 4 элементы соединены параллельно. Начертить схему соединения элементов.

3 Методические указания к выполнению контрольной работы

Приступая к выполнению контроль работы, студент обязан хорошо изучить рекомендуемую литературу, относящуюся к теме работы.

Контрольная работа подлежит защите.

Необходимые для выполнения работы теоретические сведения изложены в литературе, указанной в п.4 настоящих методических указаний.

3.1 Правила оформления работы

Работа должна включать в себя:

- титульный лист (см. приложение 1). На титульном листе обязательно наличие подписи студента и даты выполнения работы;
- пояснительную записку.

Работа выполняется на листах формата А4, печать производится с помощью шрифтом 12пт, междустрочный интервал 1,5, центрирование «по ширине». Допускается уменьшать размер шрифта и использовать другое выравнивание текста при оформлении таблиц.

Текст выполняется с одной стороны листа. Абзацы начинаются с абзацного отступа.

На каждом листе работы за исключением титульного выполняется рамка, размеры которой 20 мм от левого края и по 7 мм от остальных краев листа.

Текст работы должен содержать исходные данные, соответствующие варианту задания, необходимые расчетные формулы с обязательными пояснениями входящих в них величин, рисунки, таблицы и расчеты.

Заголовки разделов и подразделов представляют собой номера заданий (пример: «Задание 1»). Заголовок выполняется с заглавной буквы, в конце заголовка не ставится. Для оформления заголовков используют тот же размер и начертание шрифта, а также то же выравнивание, что и в основном тексте. Заголовок отделяется от предыдущего и последующего текстов увеличенным междустрочным интервалом.

Формулы, рисунки и таблицы должны быть пронумерованы арабскими цифрами. Нумерация формул, рисунков и таблиц выполняется с указанием номера раздела и номера рисунка (например, первый рисунок в задании 3 должен иметь номер 3.1)

Номер рисунка указывается под изображением после всех поясняющих надписей с приведением перед ним слова «Рисунок». После указания номера, проставляется тире и приводится название рисунка с заглавной буквы (пример: «Рисунок 3.1 – Структурная схема объекта»).

Номер таблицы указывается над шапкой таблицы в правом углу с приведением перед ним слова «Таблица». После указания номера,

проставляется тире и приводится название таблицы с заглавной буквы (пример: «Таблица 3.1 – Расчеты по заданию 3»). При продолжении таблицы на несколько страниц на второй и последующей страницах повторяется шапка таблицы, над которой выполняется запись «Продолжение таблицы ...» с указанием ее номера (пример: «Продолжение таблицы 3.1»).

По тексту работы необходимо выполнять ссылки на приводимые таблицы и рисунки (пример: «Маршрутная схема ремонта приведена на рисунке 3.1»).

Запись расчетной формулы производится по центру строки, справа от нее проставляется запятая, после которой указывается в круглых скобках номер формулы, состоящей из номера раздела и номера формулы, а на следующей строке с абзацного отступа со строчной буквы записывается слово «где», после которого приводятся обозначения и, через тире, наименования всех входящих в формулу величин. Описание каждой величины производится на отдельной строке (строках) через знак «;». После заключительного пояснения формулы ставится точка (см. примеры оформления формул 3.1-3.7 в настоящих методических указаниях).

Запись расчетов производится по центру строки. При необходимости указания размерности получаемой величины, она проставляется в круглых скобках.

Страницы работы должны быть пронумерованы. Номер страницы указывается внизу страницы по центру.

3.2 Теоретические сведения для выполнения контрольной работы

Задание 1 выполняется по материалам лекционных занятий, а также литературы, указанной в разделе 4 настоящих методических указаний.

Задания 2-6 направлены на закрепление навыков статистического определения показателей надежности. Рабочие формулы к заданиям 2-6 контрольной работы приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1- Формулы для статистического определения показателей надежности

Показатель	Математическая зависимость
Вероятность безотказной работы	$P(t) = \frac{N_o - n_{отк}(t)}{N_o}$ N_o – число объектов в начале испытания; $n_{отк}(t)$ – количество отказавших объектов на момент времени t
Вероятность отказа	$F(t) = \frac{n_{отк}(t)}{N_o}$ N_o – число объектов в начале испытания; $n_{отк}(t)$ – количество отказавших объектов на момент времени t
Средняя наработка до отказа	$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_o} t_i}{N_o},$ где T_{cp} – средняя наработка до отказа; N_o – число объектов наблюдения; t_i – наработка до отказа i-го объекта.
Интенсивность отказов	$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \Delta t}$ где $n(\Delta t)$ – количество объектов, отказавших в интервале наработки от t до $t+\Delta t$; N_{cp} – среднее число объектов наблюдения, которые не имели отказов на интервале наработки от t до $t+\Delta t$; Δt – интервал наработки. Среднее число объектов наблюдения определяется как полусумма $N_{cp} = (N_1 + N_2)/2$ где N_1 – количество объектов наблюдения, исправно работающих на момент наработки t; N_2 – количество объектов наблюдения, исправно работающих на момент наработки $t+\Delta t$.
Параметр потока отказов	$\omega(t) = \frac{r(\Delta t)}{N \Delta t}$ где $\omega(t)$ – параметр потока отказов; $r(\Delta t)$ – число отказов за наработку $t+\Delta t$; N – количество объектов наблюдения; Δt – интервал наработки.
Средняя наработка на отказ	$T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^{сум}}{k}$ где T – средняя наработка на отказ; $t_i^{сум}$ – суммарная наработка до отказов за период наблюдений i-го объекта; n – количество объектов, отказавших за период наблюдений; k – суммарное число отказов объектов за период наблюдений.
Коэффициент оперативной готовности	$K_z = \frac{T}{T + T_{всп}}$ где K_z – коэффициент готовности; T – средняя наработка на отказ; $T_{всп}$ – среднее время восстановления.

Задание 7. При принятии экспоненциального закона для описания надежности, предполагается, что изделие проходит период эксплуатации, когда постепенные отказы еще не проявились и надёжность характеризуется внезапными отказами с постоянной интенсивностью $\lambda(t) = \lambda$.

Вероятность безотказной работы за наработку t при принятии экспоненциального закона определяется по зависимости:

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (3.1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы за наработку t ;

λ – интенсивность отказов.

Вероятность отказа за наработку t :

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (3.2)$$

где $F(t)$ – вероятность отказа за наработку t ;

λ – интенсивность отказов.

Плотность распределения наработки до отказа:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (3.3)$$

где $f(t)$ – плотность вероятности отказов;

λ – интенсивность отказов.

Средняя наработка до первого отказа:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.4)$$

где T_{cp} – средняя наработка до отказа;

λ – интенсивность отказов.

Задания 8-9. Структурная надёжностная модель объекта позволяет понять влияние того или иного элемента объекта (изделия или узла или сборочной единицы) на его общую надёжность. Под структурной схемой понимают количество элементов, входящих в объект и их связь с точки зрения обеспечения надёжности. Для того, чтобы определить надёжность всего объекта, необходимо знать показатели надёжности всех его элементов, составляющих структурную схему.

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы всего объекта рассчитывается как произведения вероятностей безотказной работы его элементов.

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3.5)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы объекта за наработку t ;

n – количество элементов в структуре объекта;

$P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента конструкции за наработку t .

Вероятность отказа:

$$F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3.6)$$

где $F(t)$ – вероятность отказа объекта за наработку t ;

n – количество элементов в структуре объекта;

$P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента конструкции за наработку t .

При параллельном соединении элементов конструкции вероятность безотказной работы всего объекта:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)], \quad (3.7)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы объекта за наработку t ;

n – количество элементов в структуре объекта;

$P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента конструкции за наработку t .

Смешанное соединение предполагает наличие параллельных и последовательных соединений объектов. Для расчета вероятности безотказной работы такого объекта сначала рассчитывают показатель для каждой группы параллельно соединённых элементов, а потом производят расчет всего объекта, считая параллельную группу последовательным элементом с определенной ранее вероятностью безотказной работы.

4 Перечень литературы

Список литературы

1. Надежность подвижного состава железнодорожного транспорта: учеб. пособие / В. В. Пигунов; М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 202 с
2. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения
3. ГОСТ Р 27.607-2013. Надежность в технике. Управление надежностью. Условия проведения испытаний на безотказность и статистические критерии и методы оценки их результатов
4. Р 50–109–89 Рекомендации. Надежность в технике. Обеспечение надежности изделий. Общие требования

Приложение 1- Титульный лист

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА
(РУТ (МИИТ))**

Академия/институт/факультет РОАТ

Кафедра «Нетяговый подвижной состав»

Контрольная работа

по дисциплине

Основы теории надежности

Специальность: «Подвижной состав железных дорог»

Специализация: « _____ »

Обучающийся

_____ (ФИО)

(подпись, дата)

уч шифр

группа

Проверил

_____ (ФИО)

(подпись, дата)

2021 г.