

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Оренбургский государственный университет»  
(Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ)

Кафедра машиностроения, материаловедения и автомобильного транспорта

Методические указания по порядку оформления и защиты  
контрольной работы по дисциплине

**«Б.1.В.ОД.3 Основы теории надежности и работоспособности  
технических систем»**

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
(код и наименование направления подготовки)

Автомобили и автомобильное хозяйство  
(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Тип образовательной программы

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

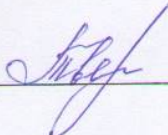
Заочная

Год начала реализации программы (набора)

2018


г. Орск 2017

Методические указания предназначены для обучающихся заочной формы обучения направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических комплексов и машин по дисциплине «Б.1.В.ОД.3 Основы теории надежности и работоспособности систем»

Составитель  В.А. Твердохлебов

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры машиностроения, материаловедения и автомобильного транспорта, протокол №   1   от   06   сентября        2017 г.

Зав. каф. машиностроения,  
материаловедения и автомобильного  
транспорта, д-р хим. наук, профессор

 В.И. Грызунов

© Твердохлебов В.А., 2017  
© Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ, 2017

## Содержание

1 Общие сведения.....	4
2 Правила оформления контрольной работы.....	4
3 Правила защиты контрольной работы.....	5
4 Задания на контрольную работу.....	5
5 Пример выполнения контрольной работы.....	7
6 Рекомендуемая литература.....	17
6.1 Основная литература.....	17
6.2 Дополнительная литература.....	17
6.3 Периодические издания.....	17
6.4 Интернет-ресурсы.....	17

## 1 Общие сведения

Контрольная работа – письменная работа небольшого объема, предполагающая проверку знаний заданного к изучению материала и навыков его практического применения. Контрольные работы могут состоять из одного или нескольких теоретических вопросов. Задание контрольной работы может быть сформулировано и в качестве одной или нескольких задач или заданий.

Написание контрольной работы практикуется в учебном процессе в целях приобретения студентом необходимой практической подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью контрольной работы обучающийся постигает наиболее сложные проблемы дисциплины, учится лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу.

## 2 Правила оформления контрольной работы

Оформление работы должно быть выполнено по единым требованиям, отраженным в стандарте оформления студенческих работ, которое можно найти на сайте ВУЗа (<http://osu.ru>). С данным стандартом необходимо тщательно ознакомиться перед началом выполнения работы.

Контрольная работа выполняется с использованием компьютерной техники. При написании применяется текстовый редактор Word в пакете Microsoftoffice. Текст может располагаться только с одной стороны листа формата А4.

Если у студента отсутствует возможность работы над контрольной работой дома, он может воспользоваться компьютерным классом кафедры машиностроения, материаловедения и автомобильного транспорта (ауд. № 4-213), аудиторией для самостоятельной работы(ауд.№ 4-307) или вузовской библиотеки.

Выполнение контрольной работы рукописным способом нежелательно, но не запрещается. В этом случае контрольная работа пишется четким почерком, черной шариковой (гелевой) ручкой через полуторный межстрочный интервал.

Теоретическая часть контрольной работы представляет собой исследовательскую работу студента по заданному вопросу. Теоретическая часть составляет 8-10 страниц текста. Значительные по объему таблицы, схемы, рисунки могут быть вынесены в приложения к работе.

Не разрешается скачивать и копировать текст из учебных источников и законодательных (нормативных документов). Текст должен быть полностью переработан. В случае использования источников в виде цитат, определений, понятий должны оформляться с указанием ссылки на применяемый источник.

Исследование предполагает написание выводов по изучению теоретического вопроса контрольной работы, которые как итог отображаются в заключении к работе.

Выполненная и оформленная контрольная работа должна включать:

- титульный лист (оформление строго по стандарту);
- содержание, где последовательно отражаются наименования разделов и подразделов контрольной работы с указанием номера страницы, с которой начинается данный подраздел;
- введение;
- теоретические вопросы;
- заключение;
- список использованных источников, в котором отражаются все применяемые при написании контрольной работы студентом источники, на которые встречаются ссылки в работе и оформленные в соответствии со стандартом по оформлению студенческих работ;

- приложения, куда выносятся схемы, рисунки, объемные таблицы. Обязательным приложением к работе является заполненный по результатам проведенного расчета по вариантам итог практической части контрольной работы.

Контрольная работа по завершении написания и оформления перед сдачей на проверку подписывается студентом на титульном листе (дата и подпись студента).

### **3. Правила защиты контрольной работы**

Сроки сдачи контрольной работы на кафедру устанавливаются в соответствии с утвержденным графиком учебного процесса по кафедре ведущим преподавателем.

В соответствии с внутренними правилами кафедры, срок для проверки контрольной работы – 10 календарных дней, включая день регистрации работы на кафедре.

Научный руководитель контрольной работы после проверки отмечает положительные стороны контрольной работы, указывает выявленные недостатки, ошибки и недочеты.

К защите допускается контрольная работа, всецело удовлетворяющая требованиям выпускающей кафедры и ВУЗа, как по содержанию, так и по соответствию приобретаемым компетенциям. Работа не проверяется и возвращается на доработку, если требования, по сути, и содержанию не выполнены, а также, если оформление не соответствует стандарту оформления.

К дате защиты контрольной работы, студенту необходимо устранить в ней обозначенные рецензентом недочеты, внести нужные дополнения и подготовить ответы на замечания. Доработка осуществляется непосредственно в контрольной работе ручкой на обороте листов, без «изъятия» замечаний преподавателя. Перепечатывание проверенной работы не разрешается.

Небрежно оформленная, выполненная не по стандарту или не скрепленная контрольная работа не принимается.

По результатам проверки контрольной работы выставляется оценка «зачтено» - «незачтено».

Оценка «зачтено» ставится, если контрольная работа отвечает следующим критериям: работа написана студентом самостоятельно и ней в полном объеме раскрыты вопросы контрольных заданий; использована монографическая и специальная литература; работа содержит правильную формулировку понятий и категорий; в освещении вопросов заданий не содержится грубых ошибок; при решении практической части, сделаны правильные и аргументированные выводы.

Оценка «незачтено» ставится, если студент не справился с заданиями, в работе не раскрыто основное содержание вопросов, а также имеются явные признаки плагиата. Оформление работы не соответствует предъявляемым требованиям.

Работа, по результатам проверки которой выставлена оценка «не зачтено» возвращается студенту на доработку, причем, до того времени пока студент не предоставит контрольную работу с устраненными недочетами и исправленными ошибками, он не может быть допущен к сдаче зачета или экзамена.

### **4 Задания на контрольную работу**

В методических указаниях представлены 10 вариантов контрольных заданий для выполнения студентами контрольной работы по дисциплине «Основы теории надежности и работоспособности систем». Задания представлены в виде случайной выборки. Не зачтенное контрольное задание с рецензией возвращается на доработку студенту, а затем вновь сдается на проверку преподавателю. Контрольное задание, выполненное не по своему варианту, возвращается без проверки и рецензии.

№ варианта

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12010	19216	19696	20188	20692	21209	21739	22282	22839	23409	23994
7942	12707	13024	13349	13682	14024	14374	14733	15101	15478	15864
28634	45814	46959	48132	49335	50568	51832	53127	54455	55816	57211
19548	31276	32057	32858	33679	34520	35383	36267	37173	38102	39054
7009	11214	11494	11781	12075	12376	12685	13002	13327	13660	14001
22761	36417	37327	38260	39216	40196	41200	42230	43285	44367	45476
7809	12494	12806	13126	13454	13790	14134	14487	14849	15220	15600
18694	29910	30657	31423	32208	33013	33838	34683	35550	36438	37348
16295	26072	26723	27391	28075	28776	29495	30232	30987	31761	32555
23075	36920	37843	38789	39758	40751	41769	42813	43883	44980	46104
9264	14822	15192	15571	15960	16359	16767	17186	17615	18055	18506
25711	41137	42165	43219	44299	45406	46541	47704	48896	50118	51370
19821	31713	32505	33317	34149	35002	35877	36773	37692	38634	39599
19515	31224	32004	32804	33624	34464	35325	36208	37113	38040	38991
24275	38840	39811	40806	41826	42871	43942	45040	46166	47320	48503
1670	2672	2738	2806	2876	2947	3020	3095	3172	3251	3332
25345	40552	41565	42604	43669	44760	45879	47025	48200	49405	50640
30863	49380	50614	51879	53175	54504	55866	57262	58693	60160	61664
7317	11707	11999	12298	12605	12920	13243	13574	13913	14260	14616
31743	50788	52057	53358	54691	56058	57459	58895	60367	61876	63422
13742	21987	22536	23099	23676	24267	24873	25494	26131	26784	27453
607	971	995	1019	1044	1070	1096	1123	1151	1179	1208
22821	36513	37425	38360	39319	40301	41308	42340	43398	44482	45594
27015	43224	44304	45411	46546	47709	48901	50123	51376	52660	53976
22093	35348	36231	37136	38064	39015	39990	40989	42013	43063	44139
18403	29444	30180	30934	31707	32499	33311	34143	34996	35870	36766
471	753	771	790	809	829	849	870	891	913	935
8965	14344	14702	15069	15445	15831	16226	16631	17046	17472	17908
4062	6499	6661	6827	6997	7171	7350	7533	7721	7914	8111
3936	6297	6454	6615	6780	6949	7122	7300	7482	7669	7860
31531	50449	51710	53002	54327	55685	57077	58503	59965	61464	63000
10093	16148	16551	16964	17388	17822	18267	18723	19191	19670	20161
11049	17678	18119	18571	19035	19510	19997	20496	21008	21533	22071
2694	4310	4417	4527	4640	4756	4874	4995	5119	5246	5377
13903	22244	22800	23370	23954	24552	25165	25794	26438	27098	27775
8209	13134	13462	13798	14142	14495	14857	15228	15608	15998	16397
29624	47398	48582	49796	51040	52316	53623	54963	56337	57745	59188
11145	17832	18277	18733	19201	19681	20173	20677	21193	21722	22265
16013	25620	26260	26916	27588	28277	28983	29707	30449	31210	31990
31874	50998	52272	53578	54917	56289	57696	59138	60616	62131	63684
2745	4392	4501	4613	4728	4846	4967	5091	5218	5348	5481
16821	26913	27585	28274	28980	29704	30446	31207	31987	32786	33605
19233	30772	31541	32329	33137	33965	34814	35684	36576	37490	38427
6502	10403	10663	10929	11202	11482	11769	12063	12364	12673	12989
26255	42008	43058	44134	45237	46367	47526	48714	49931	51179	52458
18810	30096	30848	31619	32409	33219	34049	34900	35772	36666	37582
10331	16529	16942	17365	17799	18243	18699	19166	19645	20136	20639
6616	10585	10849	11120	11398	11682	11974	12273	12579	12893	13215

16164 25862 26508 27170 27849 28545 29258 29989 30738 31506 32293  
 26147 41835 42880 43952 45050 46176 47330 48513 49725 50968 52242  
 27455 43928 45026 46151 47304 48486 49698 50940 52213 53518 54855  
 19758 31612 32402 33212 34042 34893 35765 36659 37575 38514 39476  
 6206 9929 10177 10431 10691 10958 11231 11511 11798 12092 12394  
 7625 12200 12505 12817 13137 13465 13801 14146 14499 14861 15232  
 27144 43430 44515 45627 46767 47936 49134 50362 51621 52911 54233  
 31558 50492 51754 53047 54373 55732 57125 58553 60016 61516 63053  
 3184 5094 5221 5351 5484 5621 5761 5905 6052 6203 6358  
 30496 48793 50012 51262 52543 53856 55202 56582 57996 59445 60931  
 23878 38204 39159 40137 41140 42168 43222 44302 45409 46544 47707  
 1460 2336 2394 2453 2514 2576 2640 2706 2773 2842 2913

## 5 Пример выполнения контрольной работы

Примерное задание на контрольную работу.

12010 7942 28634 19548 7009 22761 7809 18694 16295 23075 9264 25711 19821  
 19515 24275 1670 25345 30863 7317 31743 13742 607 22821 27015 22093 18403 471  
 8965 4062 3936 31531 10093 11049 2694 13903 8209 29624 11145 16013 31874 2745  
 16821 19233 6502 26255 18810 10331 6616 16164 26147 27455 19758 6206 7625  
 27144 31558 3184 30496 23878 1460

В результате сбора информации об эксплуатационной надежности (или получения соответствующего варианта исходных данных) у студента оказывается некоторая выборка наработок на отказ  $L_n$ . Наиболее наглядным является ее графическое представление. Методика его построения следующая.

1.1 Формирование ранжированного (в порядке возрастания) ряда из  $n$  исходных данных:  $L_1, L_2, \dots, L_n$ .

471 607 1460 1670 2694 2745 3184 3936 4062 6206 6502 6616 7009 7317 7625  
 7809 7942 8209 8965 9264 10093 10331 11049 11145 12010 13742 13903 16013 16164  
 16295 16821 18403 18694 18810 19233 19515 19548 19758 19821 22093 22761 22821  
 23878 24475 25346 25711 26147 26255 27015 27144 27455 28634 29624 30496 30863  
 31531 31558 31743 31874

1.2 Выявление наименьшего и наибольшего значений выборки:

$$L_{\min} = 471, L_{\max} = 31874.$$

1.3 Определение размаха варьирования выборки  $R$

$$R = L_{\max} - L_{\min} = 31874 - 471 = 31403.$$

При объеме выборки  $n > 50$  обработку эмпирических данных рекомендуется вести по значениям, сгруппированным в  $K$  непересекающихся интервалов.

1.4 Определение приближенного количества интервалов группирования  $K$

$$K = 1 + 3,3 \cdot \lg n = 1 + 3,3 \cdot \lg 60 = 6.$$

Полученное значение округляется до целого числа в меньшую сторону.

#### 1.5 Определение величины интервала группирования $\Delta L$

$$\Delta L = \frac{R}{K} = \frac{31403}{6} = 5234.$$

#### 1.6 Подсчет частот (частостей) попадания случайных величин в интервалы группирования $P_j$

Вычисляются границы интервалов. Подсчитывается количество  $n_j$  данных, находящихся в каждом из интервалов, и вычисляются соответствующие частоты:  $P_j = \frac{n_j}{n}$

Необходимо следить, чтобы в каждый интервал попадало не менее пяти данных, в противном случае интервал объединяется с соседним интервалом таким образом, чтобы число наработок на отказ в объединенном интервале было не менее пяти.

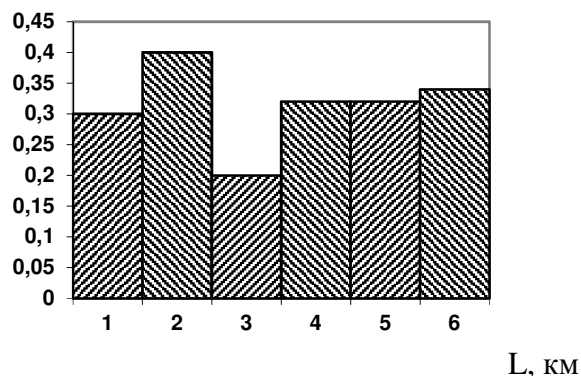
Результаты расчета показаны в таблице 1

№ интервала, J	Границы интервалов ( $L_j, L_{j+1}$ ), км	Середина интервала, $\bar{L}_j$ , км	Частота попадания в интервал, $n_j$	Частость попадания в интервал, $P_j = \frac{n_j}{n}$	Эмпирическая плотность распределения $f_j(L) = \frac{P_j}{\Delta L}$
1	471-5705	3088	9	0,15	$0,3 \cdot 10^{-4}$
2	5705-10939	8322	13	0,22	$0,4 \cdot 10^{-4}$
3	10939-16173	13556	7	0,12	$0,2 \cdot 10^{-4}$
4	16173-21407	18790	10	0,17	$0,32 \cdot 10^{-4}$
5	21407-26641	24024	10	0,17	$0,32 \cdot 10^{-4}$
6	26641-31875	29258	11	0,18	$0,34 \cdot 10^{-4}$

#### 1.7 Построение гистограммы и кривой распределения

Для графического изображения эмпирического распределения по верхним граничным точкам или серединам интервалов строится график - гистограмма, вид которого представлен на рисунке 1.





## 2 Определение основных статистических характеристик

Числовыми характеристиками случайной величины называются характеристики наиболее существенных особенностей распределения - центра распределения, масштаба и формы кривой распределения, которые служат для описания и сравнения распределений. Наиболее часто используемыми в теории надежности являются математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс.

### 2.1 Определение математического ожидания

Математическим ожиданием  $\bar{L}$  случайной величины называется постоянное число, около которого устойчиво колеблется среднее арифметическое значение случайной величины. При большой выборке среднее арифметическое значений случайной величины сходится по вероятности к ее математическому ожиданию, которое может быть вычислено по следующей формуле:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} = \frac{976140}{60} = 16269.$$

### 2.2 Определение дисперсии

Дисперсией  $D$  случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1} = 90949504$$

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины, что не всегда удобно. Поэтому часто на практике используется характеристика, размерность которой совпадает с размерностью случайной величины - среднее квадратичное отклонение.

### 2.3 Определение среднего квадратического отклонения

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  равно квадратному корню из дисперсии, взятому с положительным знаком:

$$S = \sqrt{D} = \sqrt{90949504} = 9537.$$

### 2.4 Определение асимметрии

Асимметрия  $\rho_b$  вычисляется по формуле

$$\rho_b = \frac{\sum_{j=1}^K n_j (\bar{L}_j - \bar{L})^3}{nS^3} = 0,029$$

### 3 Подбор теоретического распределения для описания эмпирических данных

Случайная величина считается, исчерпывающе описанной с вероятностной точки зрения, если известна ее математическая модель - закон распределения. Из множества разработанных законов распределения наибольшее распространение для исследования эксплуатационной надежности получили экспоненциальный (показательный), нормальный (закон Гаусса) и закон Вейбулла.

Решение задачи о наилучшем подборе теоретического распределения в общем случае является неопределенным, поэтому для принятия модели описания случайной величины часто учитывают внешний вид эмпирического распределения или анализируют числовые характеристики. Например, при коэффициенте вариации  $V \leq 0,3 \dots 0,4$  принимается нормальное распределение.

В контрольной работе принимается гипотеза о принадлежности эмпирического распределения закону Вейбулла. Это объясняется тем, что этот закон является универсальным, так как при определенных значениях параметров он может превращаться в экспоненциальное (при  $b = 1$ ), нормальное (при  $b \approx 3,3$ ) и другие распределения.

Распределение Вейбулла занимает центральное место при исследовании характеристик надежности машин. Этому распределению подчиняются наработки до отказа многих восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий, у которых отказ наступает по причине усталостного разрушения.

Непрерывная случайная величина  $L$  называется распределенной по закону Вейбулла, если ее плотность распределения имеет вид:

$$f(L, a, b, c) = \begin{cases} \frac{b}{a} \left[ \frac{\bar{L}_j - c}{a} \right]^{b-1} \cdot \exp \left[ - \left[ \frac{\bar{L}_j - c}{a} \right]^b \right] & \text{при } \bar{L}_j \geq 0 \\ 0 & \text{при } \bar{L}_j < 0, \end{cases}$$

где  $a$  – параметр масштаба,

$b$  – параметр формы,

$c$  – параметр сдвига.

Интегральная функция распределения записывается в виде

$$F(L) = 1 - \exp \left[ - \left[ \frac{\bar{L}_j - c}{a} \right]^b \right].$$

Определение оценок параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  осуществляется методом моментов, сущность которого состоит в том, что параметры функции распределения могут быть выражены через начальные и центральные моменты. По эмпирическим данным вычисляются моменты, которые затем приравниваются к теоретическим. В конечном счете решается система урав-

нений, связывающая параметры с моментами, и определяются оценки соответствующих параметров.

Определение оценок параметров распределения Вейбулла по совокупности статистических данных осуществляется в следующей последовательности.

По полученному значению асимметрии  $r_b$  из таблицы 1 приложения Б находят оценку параметра формы  $b$  значения коэффициентов  $g_b$  и  $k_b$ . Значения находятся методом линейной интерполяции табличных данных.

$$g_b = 0,290, k_b = 0,899, b = 3,50$$

Определяют оценку параметра масштаба  $a$  по формуле

$$a = \frac{S}{g_b} = \frac{9537}{0,290} = 32886$$

Находим значение  $c$  по формуле

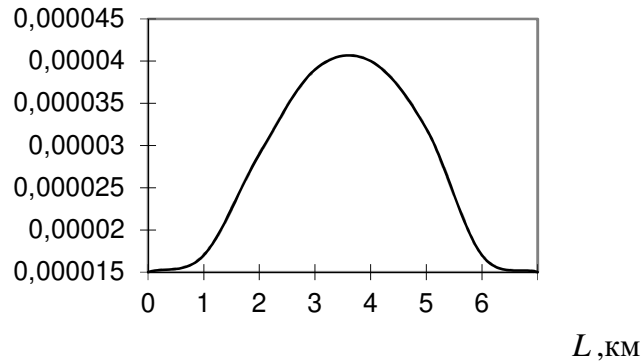
$$c = \bar{L} - a \cdot k_b = 16269 - 32886 \cdot 0,899 = -13296$$

Результаты подсчета показаны в таблице 2

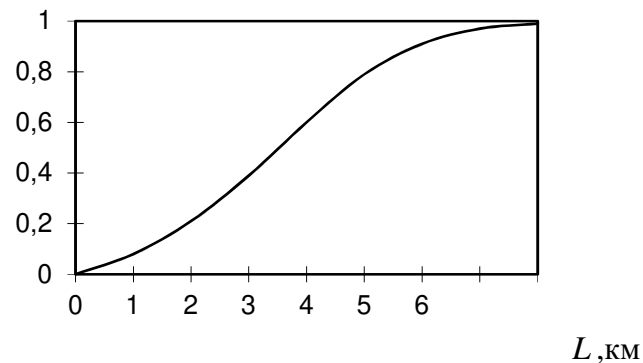
№ интервала	$f(L, a, b, c)$	$F(L)$
1	0,000017	0,08
2	0,000029	0,21
3	0,000039	0,39
4	0,00004	0,6
5	0,000032	0,79
6	0,000017	0,91

С использованием полученных значений параметров  $a, b$  и  $c$  строим график плотности распределения Вейбулла.

$f(L, a, b, c)$



$F(L)$



#### **4 Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности эмпирических данных закону распределения**

##### **4.1 Проверка гипотезы по критерию Пирсона**

Критерий Пирсона (критерий хи-квадрат) считается наиболее удобным и универсальным. Он может быть использован для проверки допущения о любом распределении, даже в том случае, если не известны значения параметров распределения. Главный недостаток критерия - его нечувствительность к обнаружению адекватного распределения в случае, когда выборка невелика.

Критерий записывается в виде следующего альтернативного условия, отвечающего левосторонней критической области:

$$P_{\text{опыт}}(\chi^2; k) \geq \alpha - \text{гипотеза принадлежности опытных данных}$$

рассматриваемому закону не отвергается;

$$P_{\text{опыт}}(\chi^2; k) < \alpha - \text{гипотеза отвергается;}$$

где  $\alpha = 0,05$ ;

где  $\chi^2$  вычисляется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - n_j^*)^2}{n_j^*},$$

где  $n_j$  - экспериментальные частоты попадания исходных данных в интервал;

$n_j^*$  - теоретические частоты по уравнению плотности распределения;

$\kappa$  – число степеней свободы, равно  $\kappa = K - H$ ;

$K$  – число интервалов гистограммы;

$H$  – число наложенных связей, равно  $H = \Pi + 1$ ;

$\Pi = 4$  – число параметров закона распределения.

$$H = 4 + 1 = 5; \kappa = 6 - 5 = 1.$$

Вероятность попадания эмпирических данных в  $j$ -и интервал определяется по формуле

$$P_j = f(L, a, b, c) \cdot \Delta L$$

Теоретическая частота попадания в интервал определяется по формуле

$$n_j^* = n \cdot P_j.$$

Результаты подсчета  $\chi^2$  записаны в таблице 3

Таблица 3 – Поэтапное вычисление  $\chi^2$

№ интервала	$n_j$	$f(L, a, b, c)$	$P_j$	$n_j^*$	$n_j - n_j^*$	$(n_j - n_j^*)^2$	$\frac{(n_j - n_j^*)^2}{n_j^*}$
1	9	0,000017	0,09	5,4	3,6	12,96	2,4
2	13	0,000029	0,15	9	4	16	1,8
3	7	0,000039	0,2	12	-5	25	2,1
4	10	0,00004	0,21	12,6	-2,6	6,76	0,5
5	10	0,000032	0,17	10,2	-0,2	0,04	0,004
6	11	0,000017	0,09	5,4	5,6	31,36	5,8

$$\chi^2 = 12,604$$

По таблице 1 приложения В определяется значение вероятности критерия Пирсона

$$D_{i\ddot{u}\ddot{o}} = 0,002 < \alpha = 0,05 - \text{гипотеза отвергается.}$$

#### 4.2 Проверка гипотезы по критерию Романовского

Критерий Романовского записывается в виде следующего альтернативного условия, отвечающего правосторонней критической области

$$K_p = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}} \leq 3 - \text{гипотеза о принадлежности опытных данных к рассматриваемому закону не отвергается;}$$

$$K_p = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}} > 3 - \text{гипотеза отвергается;}$$

где  $k$  - число степеней свободы.

$$K_p = \frac{|12,604 - 1|}{\sqrt{2 \cdot 1}} = 8,3 > 3 - \text{гипотеза отвергается.}$$

#### 4.3 Проверка гипотезы по критерию Колмогорова

Критерий Колмогорова записывается в виде следующего альтернативного условия, отвечающего левосторонней критической области

$P\{\max[F_s(L) - F(L)] \cdot \sqrt{n} \geq P_0 = 0,95$  - гипотеза о принадлежности опытных данных к рассматриваемому закону не отвергается;

$P\{\max[F_s(L) - F(L)] \cdot \sqrt{n} < P_0 = 0,95$  - гипотеза отвергается;

где  $F_s(L)$  - эмпирическая функция распределения, определяющееся по формуле

$$F_s(L) = \frac{\sum_{j=1}^k n_j}{n},$$

$F(L)$  - теоретическая функция распределения,

$n$  - объем выборки.

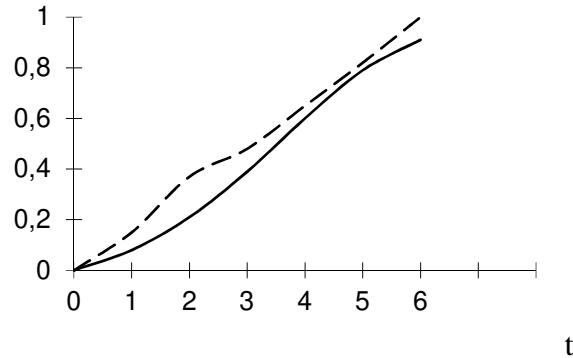
Таблица 3 – Результаты расчета для определения критерия Колмагорова

№ интервала	$F_s(L)$	$F(L)$	$F_s(L) - F(L)$
1	0,15	0,08	0,07
2	0,37	0,21	0,16
3	0,48	0,39	0,09
4	0,65	0,6	0,05
5	0,82	0,79	0,03
6	1	0,91	0,09

$$P\{0,16 \cdot \sqrt{60}\} = P\{1,2\}$$

$P = 0,112 < P_0 = 0,95$  - гипотеза отвергается.

$F(t)$  График эмпирической и теоретической функции распределения



### 5 Определение оценок показателей надежности

Зная значения параметров эмпирического распределения можно вычислить оценки показателей надежности.

5.1 Оценка среднего ресурса  $T_p$  или средней наработки на отказ и среднего квадратического отклонения  $\sigma$  вычисляется как математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение закона Вейбулла

$$T_p = a \cdot k_b + c = 32886 \cdot 0,899 - 13296 = 16269,$$

$$\sigma = a \cdot g_b = 32886 \cdot 0,29 = 9537.$$

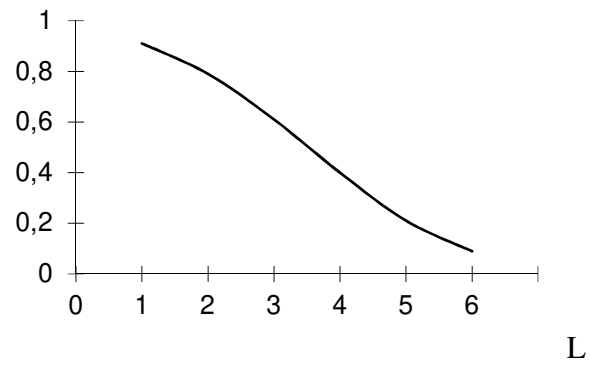
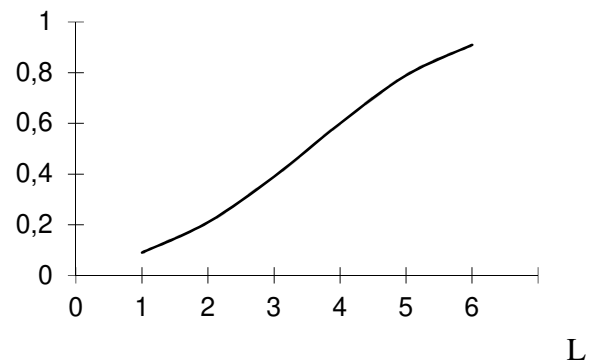
5.2 Оценка вероятности безотказной работы  $\bar{P}(L)$  за заданную наработку  $L$  вычисляется как

$$\bar{P}(L) = \exp \left[ - \left( \frac{L_j - c}{a} \right)^b \right],$$

а оценка вероятности появления отказа  $\bar{Q}(L)$  как

$$\bar{Q}(L) = 1 - \bar{P}(L)$$

$\bar{P}(L)$	$\bar{Q}(L)$
0,91	0,09
0,79	0,21
0,61	0,39
0,4	0,6
0,21	0,79
0,09	0,91

$\bar{P}(L)$  $\bar{Q}(L)$ 

5.3 Оценки гамма-процентного ресурса  $\bar{T}_\gamma(L)$  или гамма-процентного срока сохранения при заданном значении  $\gamma = 80$  находятся по формуле

$$\frac{\gamma}{100} = \exp \left[ - \left[ \frac{\bar{T}_\gamma - c}{a} \right]^b \right]$$

$$\ln 0,8 = - \left[ \frac{\bar{T}_\gamma - c}{a} \right]^b ;$$

$$\bar{T}_\gamma = -\sqrt[b]{\ln 0,8} \cdot a + c ;$$

$$\bar{T}_\gamma = -\sqrt[4,00]{\ln 0,8} \cdot 38606 - 18356 = 8179 .$$



## **6 Рекомендуемая литература**

### **6.1 Основная литература**

- 1 Яхьяев, Н. Я. Основы теории надежности и диагностика : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. - М. : Издательский центр «Академия», 2009. - 256 с.
- 2 Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. А. Зорин. - М. : Издательский центр «Академия», 2009. - 208 с.
- 3 Щурин, К. В. Надежность мобильных машин / К. В. Щурин. – Оренбург : ОГУ, 2010. - 585 с.

### **6.2 Дополнительная литература**

- 1 Надежность машин : Учебное пособие для вузов/ Д. И Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. / Под ред. Д. Н. Решетова. - М. : Высшая школа, 1988. - 238 с.
- 2 Повышение долговечности транспортных машин : Учебное пособие для вузов / В. А. Бондаренко, К. В. Щурин, Н. Н. Якунин [и др.] / Под ред. В. А. Бондаренко. - М. : Машиностроение, 1999. - 144 с.
- 3 Рассоха, В. И. Основы теории надежности и диагностика автомобилей : Учебное пособие. – Оренбург : ОГУ, 2002. - 144 с.

### **6.3 Периодические издания**

*Журналы:*

«АвтоМир»

«За рулем»

### **6.4 Интернет-ресурсы**

#### **6.4.1. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Бесплатная база данных ГОСТ – <https://docplan.ru/> Доступ свободный.
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" - <http://window.edu.ru/> Доступ свободный.

#### **6.4.2. Тематические профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Союз машиностроителей России - <https://soyuzmash.ru/> Доступ свободный.
2. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Машиностроение [http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.2.75.11](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.11) Доступ свободный.
3. АСКОН – <https://ascon.ru/> Доступ свободный.
4. Техническая библиотека – <http://techlibrary.ru/> Доступ свободный.
5. Росстандарт – <http://www.gost.ru> Доступ свободный.

### **6.4.3. Электронные библиотечные системы**

1. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – <http://www.biblioclub.ru/> После регистрации доступ возможен из любой точки сети Интернет.

2. ЭБС Znanium.com – <https://znanium.com/> После регистрации доступ возможен из любой точки сети Интернет.

### **6.4.4 Дополнительные Интернет-ресурсы**

1. BestReferat.ru - Банк рефератов, дипломы, курсовые работы, сочинения, доклады– [www.bestreferat.ru](http://www.bestreferat.ru) Доступ свободный.

2. Pandia.ru - Энциклопедия знаний» – [www.pandia.ru](http://www.pandia.ru) Доступ свободный.