Минобрнауки России

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Транспортный факультет
Кафедра «Автомобильный транспорт»

В.И. Рассоха

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплинам
«Основы теории надежности в транспортных процессах»
«Основы теории надежности и работоспособности технических систем»

«**Основы теории надежности автотранспортных средств**»

Методические указания предназначены для выполнения практического задания и контрольной работы студентам заочной формы, обучающимся по направлению подготовки бакалавров 23.03.01 «Технология транспортных процессов» (общий профиль), 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиля «Автомобильный сервис», специалистов 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

Оренбург 2021

Рецензент:

Рассоха В.И.

Основы теории надежности автотранспортных средств: Методические указания. – Оренбург; ОГУ, 2021. – 36 с.

© Рассоха В.И., 2021

Содержание

Введение……. 4
1 Программа и методические рекомендации по изучению дисциплины…… 5
2 Методика выполнения контрольной работы……..…… 10
2.1 Исходные данные……..…… 10
2.2 Графическое представление эмпирического распределения…… 11
2.3 Определение основных статистических характеристик…… 12
2.4 Подбор теоретического распределения для описания
эмпирических данных……... 15
2.5 Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности
эмпирических данных закону распределения……. 17
2.6 Оценка показателей надежности…….. 21
3 Список рекомендуемой литературы…… 23
Приложение А Варианты заданий для контрольной работы…….. 25
Приложение Б Таблица 1. Значения параметров закона распределения
Вейбулла для расчетных значений асимметрии..……... 33
Приложение В Таблица 1. Значения вероятностей критерия Пирсона…….. 35
Приложение Г Таблица 1. Значения вероятностей критерия Колмогорова.. 36

Введение

Настоящее учебно-методическое руководство составлено в соответствии с программой изучения дисциплины “Основы теории надежности и диагностики” студентами заочной формы обучения специальностей 150200 и 230100.

Литература в области надежности безгранична, чем и объясняется необходимость создания руководства, целью которого является оказание помощи студентам в их самостоятельной работе над учебниками, в освоении научно-теоретических и практических знаний.

Предлагаемый учебно-методический документ содержит программу и методические рекомендации по изучению дисциплины, включая вопросы для самоконтроля знаний, необходимые студентам в качестве ориентира при изучении теории надежности, а также методику выполнения контрольной работы, сопровождающей теоретическое изучение дисциплины, и необходимые для расчетов приложения.

Для квалифицированного использования, обслуживания, хранения и ремонта технически сложной и дорогостоящей автотранспортной техники исключительно важно знать и уметь определять основные показатели надежности. Научить этому и призвана контрольная работа, которая имеет целью:

- закрепить и углубить теоретические знания, полученные при изучении основ теории надежности;
- привить навыки пользования технической и справочной литературой;
- подготовить студентов к выполнению соответствующих разделов дипломного проекта, а в дальнейшем – к самостоятельным исследованиям.

Руководство рассчитано на преподавателей вузов и студентов, имеющих математическую подготовку в объеме обычного курса высших технических учебных заведений.

О замеченных недостатках пособии просьба сообщать на кафедру автомобильного транспорта Оренбургского государственного университета. Автор с благодарностью примет и рассмотрит любые предложения.

1 Программа и методические рекомендации по изучению дисциплины

Дисциплину следует изучать в порядке, установленном программой и данными методическими рекомендациями. Полученные знания студент может проверить по контрольным вопросам, представленным в конце каждой темы.

Тема 1 Основные понятия и показатели теории надежности

Общие рекомендации

Целью изучения темы является уяснение основных понятий теории надежности. Особое внимание следует обратить на взаимосвязь надежности и эффективности эксплуатации автотранспортных средств, а также взаимосвязь таких свойств, определяющих надежность, как безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость. Следует уяснить смысл единичных и комплексных показателей надежности.

Изучаемые вопросы

Понятие и специфика проблемы надежности.

Теоретическая база науки о надежности: математические методы теории надежности, теория повреждающих процессов, прикладные методы обеспечения надежности.

Экономический аспект надежности.

Основные объекты, состояния, события и показатели надежности машин. Нормирование показателей надежности.

Основные понятия и назначение технической диагностики.

Вопросы для самопроверки

1 Понятие и специфика проблемы надежности на различных этапах жизненного цикла изделия – при проектировании и расчете, изготовлении, эксплуатации.

2 Какие методы и теории составляют базу науки о надежности?

3 Что представляет собой кривая изменения суммарной экономической эффективности изделия во времени?

4 Дайте определения основных объектов в надежности машин - изделия, элемента и системы.

5 В чем состоит различие между восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми изделиями?

6 Дайте определения основных состояний и событий в надежности машин - работоспособности, исправности и неисправности, отказа.

7 Приведите классификацию отказов.

8 Что представляет собой кривая изменения интенсивности отказов во времени?

9 Дайте определения основных показателей надежности - безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.

10 Чем отличается безотказность изделия от его долговечности?

11 Дайте определения показателей для оценки безотказности - вероятности безотказной работы и вероятности отказа, параметра потока отказов, средней наработки на отказ (между отказами), средней наработки до отказа, интенсивности отказов. Каковы единицы их измерения?

12 Каков физический смысл параметра потока отказов?

13 Дайте определения показателей для оценки долговечности - технического ресурса, срока службы, гамма-процентных ресурса и срока службы. Каковы единицы их измерения?

14 Чем отличается ресурс от срока службы изделия?

15 Дайте определения показателей для оценки ремонтопригодности - времени восстановления и среднего времени восстановления работоспособности, вероятности восстановления работоспособности в заданные сроки.

16 Дайте определения показателей для оценки сохраняемости - среднего и гамма-процентного сроков сохраняемости.

17 Дайте определения комплексных показателей надежности - коэффициента технического использования, коэффициента готовности и коэффициента оперативной готовности.

18 Что такое экономический показатель надежности?

19 Перечислите основные методы нормирования показателей надежности.

20 Поясните градацию изделий по классам надежности.

21 Что такое категория последствий отказов и уровень опасности отказов?

22 Что понимают под технической диагностикой и каковы ее основные цели?

23 Что такое диагностирование и каковы решаемые в его процессе задачи?

Тема 2 Математические основы надежности

Общие рекомендации

При изучении темы в первую очередь необходимо усвоить, что отказы автотранспортных средств являются случайными событиями. Особое внимание следует уделить изучению порядка сбора и обработки статистической информации о надежности, методы расчета единичных и комплексных показателей надежности.

Изучаемые вопросы

Графическое представление эмпирического распределения. Статистические меры случайных распределений. Законы распределения случайных величин; нормальное и экспоненциальное распределения, распределение Вейбулла. Критерии согласия экспериментальных и теоретических распределений; критерии Пирсона, Романовского и Колмогорова. Доверительные границы для параметров законов распределения и показателей надежности.

Корреляционный и регрессионный анализы экспериментальных данных.

Вопросы для самопроверки

1 Каковы понятие и методика построения гистограммы и кривой эмпирического распределения?

2 Дайте определения характеристик положения случайных распределений - математического ожидания, моды, медианы и среднего геометрического.

3 Дайте определения характеристик рассеяния случайных распределений – дисперсии, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации.

4 Дайте определение асимметрии и поясните ее влияние на положение кривой распределения.

5 Дайте определение эксцесса и поясните его влияние на положение кривой распределения.

6 Дайте понятие и поясните назначение законов распределения случайных величин.

7 В каких случаях на практике целесообразно применять нормальное или экспоненциальное распределения или распределение Вейбулла, каков вид кривых их плотностей и функций распределения?

8 Поясните назначение критериев согласия экспериментальных и теоретических распределений.

9 Какие ошибки возможны при выдвижении гипотез о принадлежности эмпирических распределений теоретическим законам?

10 Поясните методику применения критериев Пирсона, Романовского и Колмогорова.

11 Дайте определения независимых, функционально зависимых и связанных вероятностной зависимостью случайных величин.

12 Объясните следующие термины - корреляционный анализ; корреляционный момент и коэффициент корреляции.

13 Каковы задачи и правила регрессионного анализа экспериментальных данных.

Тема 3 Основы надежности сложных систем

Общие рекомендации

Особое внимание при изучении темы следует уделить принципам повышения надежности сложных систем – резервированию и обеспечению избыточности.

Изучаемые вопросы

Понятие сложной системы. Элементы сложных систем. Основные типы структур сложных систем.

Расчет схемной надежности сложных систем. Резервирование. Принцип избыточности.

Вопросы для самопроверки

1 Объясните понятие сложной системы и ее особенности с позиций надежности.

2 Перечислите четыре группы элементов сложных систем.

3 Поясните отличия основных типов структур сложных систем - расчлененных, связанных и комбинированных.

4 Поясните расчет схемной надежности сложных систем при последовательном и при параллельном соединении элементов.

5 Перечислите виды резервирования.

6 Дайте определение характеристикам резервирования - кратности и коэффициенту выигрыша надежности.

7 Поясните расчет схемной надежности при различных видах резервирования.

8 В чем заключается принцип избыточности при повышении надежности?

Общие рекомендации к изучению тем 4 – 6

Целью указанных тем является раскрытие причин нарушения работоспособности и снижения надежности автотранспортных средств в эксплуатации. Необходимо уяснить сущность различных теорий разрушающих процессов, а также классификацию этих процессов. Особое внимание необходимо уделить изучению форм проявления и воздействию различных факторов на интенсивность разрушающих процессов, а также уяснить методы снижения их отрицательного воздействия.

Тема 4 Изнашивание

Изучаемые вопросы

Виды трения. Виды фрикционных связей.

Виды и характеристики изнашивания. Экспериментальные методы определения износа. Методы снижения интенсивности изнашивания.

Вопросы для самопроверки

1 Назовите различия и приведите примеры сухого, граничного, полусухого и жидкостного трения.

2 Поясните различия между видами фрикционных связей - упругим и пластическим оттеснением металла, микрорезанием, адгезией.

3 Приведите классификацию изнашивания.

4 Поясните механизм и назовите факторы, влияющие на интенсивность изнашивания, и способы снижения этого влияния для следующих видов изнашивания - абразивного, гидро- и газоабразивного, усталостного, адгезионного, эрозионного, кавитационного, окислительного, изнашивания при фреттинге и при фреттинг-коррозии.

5 Дайте определения характеристик изнашивания - износа (линейного, объемного, массового), скорости и интенсивности изнашивания, износостойкости и относительной износостойкости.

6 Поясните методики экспериментальных методов определения износа - микрометрирования, метода искусственных баз, измерения износа по уменьшению массы, анализа содержания железа в масле и радиоактивных изотопов. Каковы достоинства и недостатки перечисленных методов?

7 Назовите основные методы снижения интенсивности изнашивания.

8 Опишите и объясните эффект избирательного переноса.

Тема 5 Коррозионные разрушения

Изучаемые вопросы

Понятие и проблема коррозии. Виды коррозии. Методы борьбы с коррозией.

Вопросы для самопроверки

1 Поясните понятие и важность проблемы коррозии для автомобильного транспорта.

2 Перечислите виды коррозии в зависимости от характера коррозионной среды.

3 Перечислите виды коррозии в зависимости от условий протекания коррозионного процесса.

4 Перечислите виды коррозии в зависимости от вида коррозионного разрушения.

5 Перечислите и поясните на конкретных примерах основные методы борьбы с коррозией

Тема 6 Усталостные разрушения

Изучаемые вопросы

Усталость металла и механизм усталостного разрушения.

Циклы нагружения и их характеристики.

Характеристики сопротивления усталости и их экспериментальное определение, построение кривой усталости (кривой Велера). Расчет усталостной долговечности. Факторы, влияющие на сопротивление усталости.

Вопросы для самопроверки

1 Дайте определение усталости металла и раскройте ее механизм.

2 Опишите зоны усталостных изломов деталей - фокус излома, очаг разрушения, участки избирательного и ускоренного развития трещин, зону долома.

3 Дайте определение цикла напряжений и его основных характеристик - среднего напряжения цикла, амплитуды и коэффициента асимметрии.

4 Охарактеризуйте виды циклов нагружения - симметричный, отнулевой, асимметричный, случайный.

5 Перечислите характеристики сопротивления усталости.

6 Опишите методику экспериментального определения характеристик сопротивления усталости и построения кривой усталости.

7 Каковы основные зависимости для расчета усталостной долговечности?

8 Перечислите и поясните факторы, влияющие на сопротивление усталости.

Тема 7 Пути и методы повышения надежности машин при проектировании, серийном производстве и эксплуатации

Общие рекомендации

Необходимо изучить конструктивно-технологические методы обеспечения и повышения надежности, такие как повышение ремонтопригодности, улучшение конструкции деталей, сборочных единиц и машин, упрочнение деталей и т.д.

Изучаемые вопросы

Методы отработки конструкций изделий на технологичность.

Принципы конструирования, обеспечивающие создание надежных машин.

Повышение надежности деталей машин упрочняющей поверхностной обработкой.

Процесс изменения надежности изделия на этапах его жизненного цикла.

Вопросы для самопроверки

1 Что такое технологичность конструкций и каковы пути ее достижения?

2 Перечислите основные принципы конструирования, обеспечивающие создание надежных машин.

3 Перечислите и поясните основные технологические методы поверхностного упрочнения.

4 Опишите процесс изменения надежности изделия на этапах его жизненного цикла.

2 Методика выполнения контрольной работы

2.1 Исходные данные

Студентам заочной формы обучения, сбор реальной информации о надежности автотранспортных средств в эксплуатации которыми в силу известных причин затруднен, задания выдаются на кафедре. Исходные данные в этом случае представляют собой полученное с использованием генератора случайных чисел некоторое множество условно считающихся наработками на отказ чисел. В приложении А приведены 45 вариантов заданий, из которых 15 вариантов содержат 65, 15 - 60 и 15 - 55 таких чисел. Варианты с различным количеством данных чередуются.

Все действия и использование расчетных соотношений в контрольной работе должны быть подробно объяснены и обоснованны.

2.2 Графическое представление эмпирического распределения

В результате сбора информации о 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.

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

2.2.2 Выявление наименьшего и наибольшего значений выборки:

$$L_{min}, L_{max}.$$

2.2.3 Определение размаха варьирования выборки R

$$R = L_{max} - L_{min}. \qquad (1)$$

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

2.2.4 Определение приближенного количества интервалов группирования K

$$K = 1 + 3{,}3\, lgn. \qquad (2)$$

Полученное значение округляется до целого числа в меньшую сторону.

2.2.5 Определение величины интервала группирования ΔL

$$ДL = R / K. \qquad (3)$$

2.2.6 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 частости

$$P_j = n_j / n, \qquad j = 1, 2, \ldots, K. \qquad (4)$$

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.

Наиболее удобный способ подсчета показан в таблице 1.

Таблица 1 – Данные для построения гистограммы

№ интер-вала, j	Границы интервалов (L_j, L_{j+1}), км	Середина интервала, $\overline{L}_j$, км	Частота попадания в интервал, n_j	Частость попадания в интервал, $p_j = n_j/n$	Эмпирическая плотность распределения $f_э(L) = p_j / ДL$
1	2	3	4	5	6

2.2.7 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.

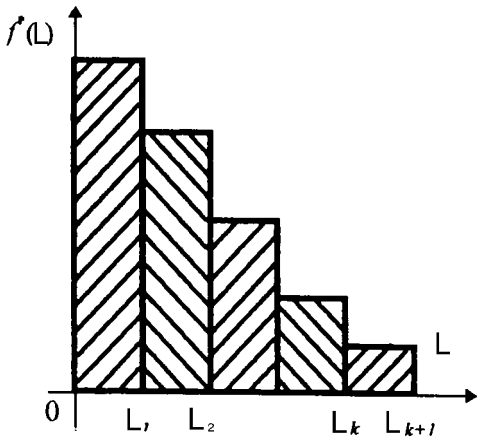


Рисунок 1 – Гистограмма

Для построения гистограммы по оси абсцисс откладываются в выбранном масштабе интервалы, и, взяв их как основания, строят прямоугольники, площадь которых равна частости попадания случайной величины в интервал. Частость каждого интервала делится на его ширину. Полученное число берется как высота прямоугольника. Построенная таким образом ступенчатая функция $f_э(L)$ называется гистограммой выборки. Эта функция служит статистическим аналогом плотности распределения вероятности случайной величины и определяется как

$$F_э(L) = n_j / ДL \; n = p_j / ДL. \qquad (5)$$

2.3 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.

2.3.1 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:

$$\bar{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i \,. \tag{6}$$

2.3.2 Определение дисперсии

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

$$D = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (L_i - \bar{L})^2 \,. \tag{7}$$

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

2.3.3 Определение среднего квадратического отклонения

Среднее квадратическое отклонение *S* равно квадратному корню из дисперсии, взятому с положительным знаком:

$$S = \sqrt{D} \,. \tag{8}$$

2.3.4 Определение коэффициента вариации

Коэффициент вариации *V* оценивает рассеивание в относительных единицах

$$V = \frac{S}{\bar{L}} \tag{9}$$

или в процентах, для чего значения, вычисленные по формуле, умножают на 100.

Дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации показывают, насколько тесно сгруппированы возможные значения случайной величины около ее математического ожидания, то есть характеризуют степень рассеивания.

2.3.5 Определение асимметрии

Асимметрия ρ_b вычисляется по формуле

$$\rho_b = \frac{\sum_{j=1}^{K} n_j (L_j - \bar{L})^3}{nS^3}. \qquad (10)$$

Если кривая распределения симметрична, то асимметрия равна нулю; если вытянутая часть кривой расположена слева от моды, то асимметрия отрицательна, а если справа - положительна. На рисунке 2 показаны два асимметричных распределения, из которых *1* имеет положительную, а *2* – отрицательную асимметрию.

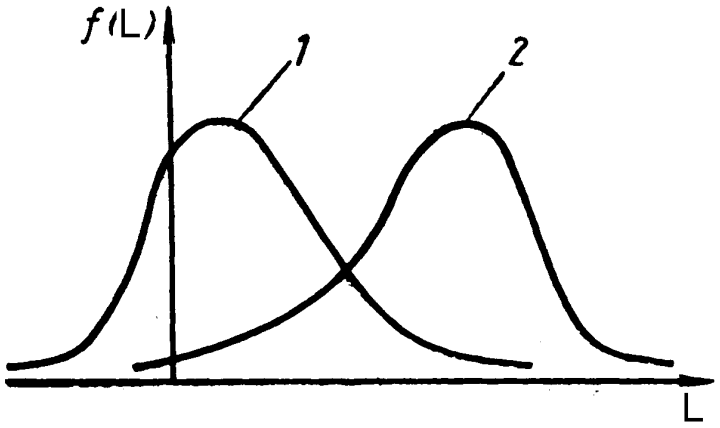


Рисунок 2 - Влияние асимметрии на положение кривой распределения

2.3.6 Определение эксцесса

Эксцесс E_k характеризует плосковершинность кривой распределения

$$E_K = \frac{\sum_{j=1}^{K} n_j (L_j - \bar{L})^4}{nS^4} - 3. \qquad (11)$$

Влияние эксцесса на положение кривой распределения показано на рисунке 3. Для нормального распределения (кривая *1*) эксцесс равен нулю. Если эксцесс отрицательный (кривая *2*), распределение *f(L)* по сравнению с нормальным имеет более низкую и "плоскую" вершину, а если эксцесс положительный (кривая *3*), то - более высокую и "острую".

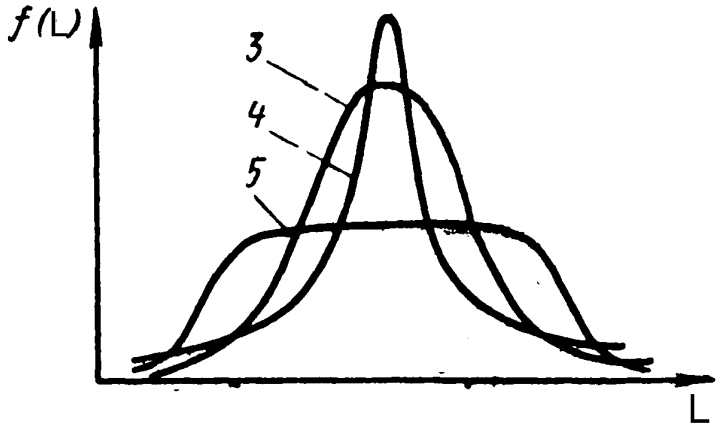


Рисунок 3 - Влияние эксцесса на положение кривой распределения

2.4 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 $V \leq 0{,}3 \ldots 0{,}4$ 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:

$$f(L,a,b,c)=\begin{cases}\dfrac{b}{c}\left[\dfrac{L-c}{a}\right]^{b-1}\exp\left[-\left[\dfrac{L-c}{a}\right]^{b}\right] & \text{при } L\geq c,\\ 0 & \text{при } L<c,\end{cases} \tag{12}$$

где *a* - параметр масштаба,

b - параметр формы,

c - параметр сдвига.

Интегральная функция распределения записывается в виде

$$F(L)=1-\exp\left[-\left[\frac{L-c}{a}\right]^{b}\right]. \tag{13}$$

Кривые плотностей и функции распределения приведены на рисунке 4.

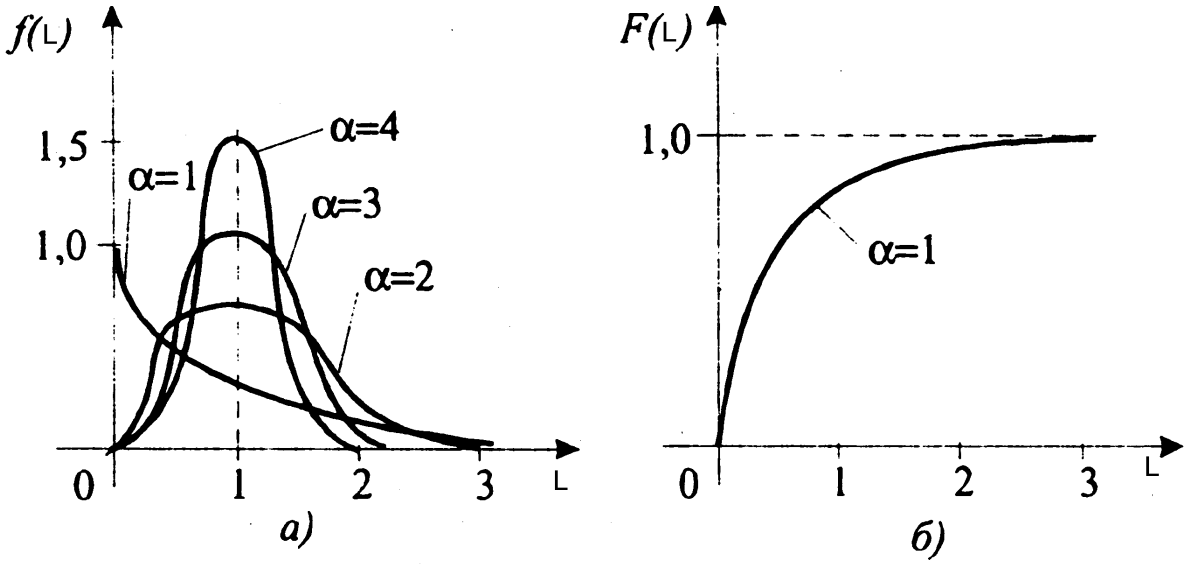


Рисунок 4 – Кривые плотностей (*а*) и функции (*б*) распределения Вейбулла

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 уравнений, 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 c_b из таблицы 1 приложения Б находят оценку параметра формы $\bar{b}$ и значения коэффициентов g_b и k_b. Значения находятся методом линейной интерполяции табличных данных.

Определяют оценку параметра масштаба $\bar{a}$ по формуле

$$\bar{a} = \bar{S} / g_b. \quad (14)$$

Находят значение $\bar{c}$ по формуле

$$\bar{c} = \bar{L} - \bar{a}K_b. \quad (15)$$

В качестве оценки параметра *c* принимают одно из двух значений:

$$c = \begin{cases} \bar{c}, & \text{если } \bar{c} \le L_{min}, \\ L_{min}, & \text{если } \bar{c} > L_{min}, \end{cases} \quad (16)$$

где L_{min} - наименьшее значение выборки эмпирических данных.

С использованием полученных значений параметров *a, b* и *c* строят график плотности распределения Вейбулла.

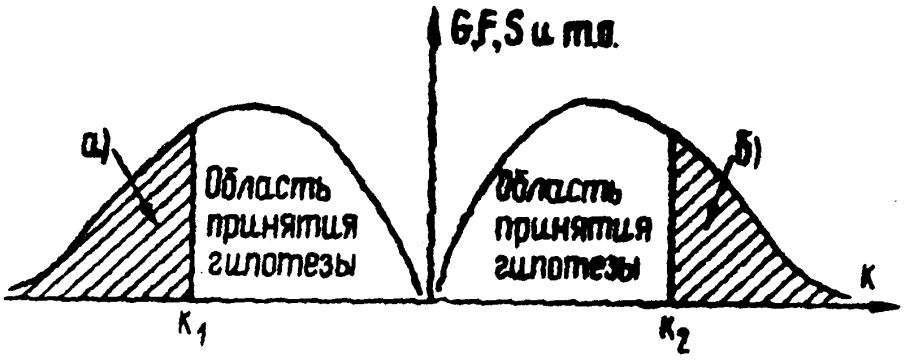
Дальнейшая задача состоит в проверке согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями.

2.5 Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности эмпирических данных закону распределения

Разработано множество критериев для проверки гипотез. Некоторые из них справедливы лишь для определенных распределений, другие справедливы для широкого круга распределений. Наиболее универсальными считаются критерии Пирсона, Колмогорова, Романовского, Мизеса, Стьюдента и др., для которых при заданном уровне значимости *б* подсчитаны и составлены таблицы критических значений.

При этом область возможных значений каждого из критериев делят на две части (рисунок 5):

- область принятия гипотезы,
- область непринятия гипотезы (так называемая критическая область), которая для различных критериев может быть левосторонней или правосторонней.



K_1 и K_2 – критические точки (табличные значения критериев)

Рисунок 5 – Левосторонняя (*а*) и правосторонняя (*б*) критические области

Порядок проверки статистических гипотез можно сформулировать следующим образом: если опытное значение критерия $k_{опытн}$, вычисляемое при заданном уровне значимости *б* попадает в область принятия гипотезы, то гипотеза принимается. Если же опытное значение критерия попадает в критическую область, то гипотезу отвергают.

Уровню значимости *б* соответствует доверительная вероятность $P_д=1-б$. При решении задач надежности автотранспортных средств надежность $P_д$ принимается равной 0,95 и, следовательно уровень значимости принимается равным *б* = 0,05 или 5%.

Рассмотрим наиболее широко распространенные критерии статистической оценки гипотез.

2.5.1 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:

$$P_{опытн}(ч^2;\ k)= \begin{cases} \geq б - \text{гипотеза о принадлежности опытных данных к рассматриваемому закону не отвергается;} \\ < б - \text{гипотеза отвергается;} \end{cases}$$

где χ^2 вычисляется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{k} \frac{(n_j - n_j^*)^2}{n_j^*}, \qquad (17)$$

где n_j - экспериментальные частоты попадания исходных данных в интервал,

n_j* - теоретические частоты по уравнению плотности распределения;

$к$ - число степеней свободы, равное $к = К - Н$;

$К$ - число интервалов гистограммы;

$Н$ - число наложенных связей, равное $Н = П + 1$,

$П$ - число параметров закона распределения.

При рассмотрении нормального распределения, например, необходимо знать два параметра - математическое ожидание и дисперсию, то есть $П = 2$. Отсюда

$$Н = 2 + 1 = 3.$$

Ниже приведен порядок проверки согласия по критерию Пирсона.

Вычисляются значения χ^2, что наиболее удобно сделать с помощью таблицы 2.

Таблица 2 – Поэтапное вычисление χ^2

№ интервала	Эмпири-ческая частота попадания в интервал n_j	Теорети-ческая плотность распре-деления $f(L)$	Вероятность попадания эмпиричес-ких данных в интервал P_j	Теорети-ческая частота попада-ния в интер-вал n_j*	(n_j-n_j*)	$(n_j-n_j*)^2$	$\frac{(n_j-n_j*)^2}{n_j*}$
1	2	3	4	5	6	7	8

Вероятность попадания эмпирических данных в j-й интервал определяется по формуле

$$P_j = f(L)\, ДL. \qquad (18)$$

Теоретическая частота попадания в интервал определяется по формуле

$$n_j* = n\, P_j. \qquad (19)$$

По таблице 1 приложения В определяется значение вероятности критерия Пирсона $P_{опытн}(ч^2; k)$.

Задается доверительная вероятность $P_д$ или уровень значимости $б$.

Делается заключение о согласованности эмпирических данных с выбранным законом теоретического распределения.

2.5.2 Проверка гипотезы по критерию Романовского

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

$$K_p = \frac{\left|\chi^2 - k\right|}{\sqrt{2k}} = \begin{cases} \leq 3 - \text{гипотеза о принадлежности опытных данных к} \\ \qquad \text{рассматриваемому закону не отвергается;} \\ > 3 - \text{гипотеза отвергается,} \end{cases}$$

где k – число степеней свободы.

О распределении можно судить не только по плотности вероятности, но и по функции распределения. Этот подход отражается в критерии Колмогорова.

2.5.3 Проверка гипотезы по критерию Колмогорова

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

$$P\left\{\max\left[F_э(L) - F_т(L)\right]\sqrt{n}\right\} = \begin{cases} \geq P_д - \text{гипотеза о принадлежности} \\ \quad \text{опытных данных к} \\ \quad \text{рассматриваемому закону} \\ \quad \text{не отвергается;} \\ < P_д - \text{гипотеза отвергается;} \end{cases}$$

где $F_э(L)$ – эмпирическая функция распределения, определяемая по формуле

$$F_э(L) = \frac{\sum_{j=1}^{k} n_j}{n}, \qquad (20)$$

$F_т(L)$ - теоретическая функция распределения,

n - объем выборки.

Наиболее удобный способ подсчета представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для определения критерия Колмогорова

№ интервала	$F_э(L)$	$F_т(L)$	$F_э(L) - F_т(L)$
1	2	3	4

Суть метода, предложенного А.Н. Колмогоровым, заключается в том, чтобы найти из всей совокупности данных максимальное отклонение между эмпирической и теоретической функциями распределений (рисунок 6).

Табличные значения вероятностей критерия Колмогорова приведены в приложении Г.

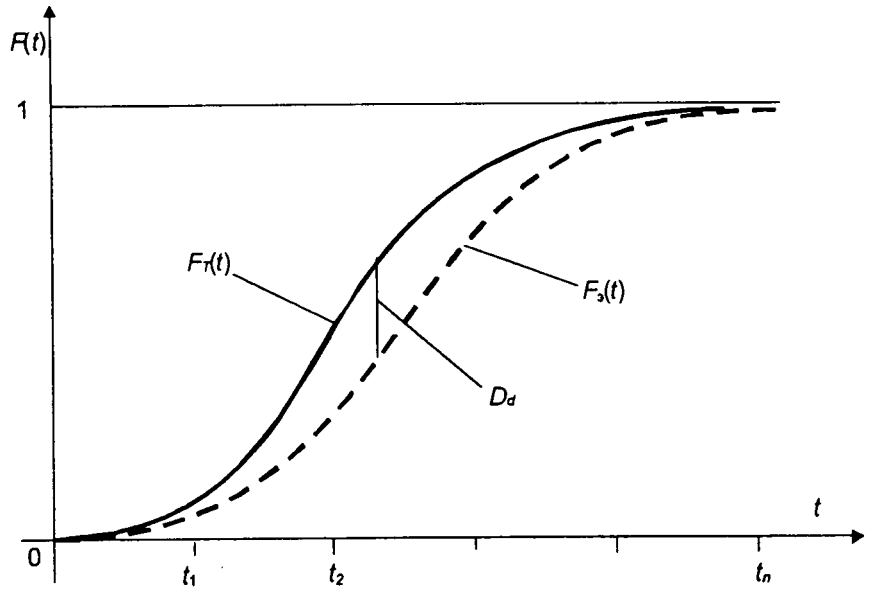


Рисунок 6 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения

2.6 Определение оценок показателей надежности

Зная значения параметров эмпирического распределения можно вычислить оценки показателей надежности.

2.6.1 Оценка среднего ресурса $\overline{T}_p$ или средней наработки на отказ и среднего квадратического отклонения $\overline{S}$ вычисляется как математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение закона Вейбулла

$$\overline{T}_p = \overline{a}K_b + \overline{c}, \tag{21}$$

$$\overline{S} = ag_b. \tag{22}$$

2.6.2 Оценка вероятности безотказной работы $\overline{P}(L)$ за заданную наработку *L* вычисляется как

$$\overline{P}(L) = \exp\left[-\left[\frac{L-\overline{c}}{\overline{a}}\right]^{\overline{b}}\right], \tag{23}$$

а оценка вероятности появления отказа $\overline{F}(L)$ как

$$\overline{F}(L) = 1 - \overline{P}(L). \qquad (24)$$

2.6.3 Оценка интенсивности отказов $\overline{\lambda}(L)$ вычисляется по уравнению

$$\overline{\lambda}(L) = \frac{f(L)}{\overline{P}(L)} = \begin{cases} \dfrac{\overline{b}}{\overline{c}}\left[\dfrac{L-\overline{c}}{\overline{a}}\right]^{\overline{b}-1} & \text{при } L \geq c, \\ 0 & \text{при } L < c. \end{cases} \qquad (25)$$

2.6.4 Оценки гамма-процентного ресурса $\overline{T}_{\gamma}(L)$ или гамма-процентного срока сохраняемости при заданном значении γ находятся по формуле

$$\frac{\gamma}{100} = \exp\left[-\left[\frac{T_{\gamma}-c}{a}\right]^{b}\right]. \qquad (26)$$

3 Список рекомендуемой литературы

а) к теоретическому изучению дисциплины

1 **Когаев В.П., Дроздов Ю.Н.**. Прочность и износостойкость деталей машин: Учеб. пособие для вузов.- М.: Высш. шк., 1991.- 319 с.

2 **Надежность** в машиностроении: Справочник / Под. общ. ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. – СПб.: Политехника, 1992.- 719 с.

3 **Надежность** машин: Учеб. пособие / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова.- М.: Высш. шк., 1988.- 238 с.

4 **Проников А.С.** Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978.- 592с.

5 **Прочность** и долговечность автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский, Ю.Г. Стефанович и др. – М.: Машиностроение, 1974.- 328 с.

6 **Рассоха В.И.** Надежность транспортных средств: Учебное пособие.- Оренбург: ОГУ, 2000.- 100 с

7 **Труханов В.М.** Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. - М.: Машиностроение, 1995.- 304 с.

8 **Труханов В.М.** Надежность изделий машиностроения: Теория и практика. - М.: Машиностроение, 1996.- 336 с.

9 **Труханов В.М.** Надежность сложных систем: Учебное пособие.- М.: РВСН, 1997.- 100 с.

10 **Труханов В.М.** Надежность в технике. - М.: Машиностроение, 1999.- 598 с.

б) к контрольной работе

11 **Большев Л.Н., Смирнов Н.В.** Таблицы математической статистики.- М.: Наука, 1965.- 464 с.

12 **Груничев А.С., Михайлов А.И., Шор Я.Б.** Таблицы для расчетов надежности при распределении Вейбулла.- М.: Изд-во стандартов, 1974.- 64с.

13 **Завадский Ю.В.** Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта: Учебное пособие.- М.: МАДИ, 1982.- 136 с.

14 **Керимов Ф.Ю.** Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 1979.- 135 с.

15 **Керимов Ф.Ю.** Инженерный практикум по лабораторным работам курса “Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин”. – М.: МАДИ, 1980.- 121 с.

16 **Лавренчик В.Н**. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986.- 272 с.

17 **Митропольский А.К.** Техника статистических вычислений. - М.: Наука, 1971.- 395 с.

18 **Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.** Краткий курс математической статистики для технических приложений .- М.: Физматгиз, 1959.- 436 с.

19 **Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И.** Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Советское радио, 1968.- 288 с.

20 **Шторм Р.** Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества.- М.: Мир, 1970.- 368 с.

Приложение А
(обязательное)

Варианты заданий для контрольной работы

Вариант 1
49250 52863 52861 52265 56475 50270 38178 19702 20163 47437 13673 5632 57853 34856 49543 23458 27383 59617 59456 31379 27783 60792 62168 33899 9011 59080 4444 4911 49538 45648 29919 25385 16996 36310 14722 4972 8383 58504 2008 24963 32453 18543 31253 7563 31532 2740 28208 57028 1475 11525 17335 27976 63068 57559 49701 63729 61128 19019 52201 19273 44288 33170 465 41817 51576

Вариант 2
44604 38412 14517 45281 46098 45360 64875 11254 7324 55520 41915 38203 23513 22225 7011 5274 535 59313 55481 18462 29160 33332 12307 22656 17460 61493 16595 22362 26592 41545 35623 20388 41459 60988 5596 35068 3961 39298 37470 52784 42848 28088 12438 48872 5378 10377 52953 31168 12294 6385 56402 11781 3832 9526 4761 23859 30761 7532 49881 56411

Вариант 3
23808 56219 34195 61661 18067 27468 62558 40764 28503 31615 44909 54562 62489 30538 49480 32162 29107 26090 11502 43329 18933 8709 24705 13148 43319 63517 55242 58831 24345 39762 7332 50138 62862 25713 46179 1147 53292 27369 59958 57369 5119 60591 18913 28424 42238 62521 15863 57784 42573 19381 23678 7296 1653 9036 6494

Вариант 4
1921 47112 52261 51052 46940 20699 60598 49494 61527 33557 4716 5253 61424 4800 30943 7577 59628 26943 8270 57242 7892 36852 40282 22164 9464 62876 22982 22427 13921 27439 34968 37151 41204 50666 47732 11878 48216 6819 60030 6387 62598 26597 21579 4116 54534 14600 32564 60617 8696 37505 21676 54708 24693 9733 6684 12242 30626 44685 42758 38683 10622 60812 20039 17882 38435

Вариант 5
43091 8184 30756 10494 36688 41881 58761 27995 5861 12545 23362 53904 32402 22712 58897 21969 44154 15833 22512 31120 35420 45480 56110 14841 2290 29176 1448 46396 2190 58347 35842 52006 48212 12129 37122 60339 20002 34010 12783 52925 49262 1537 44481 56351 34171 35593 35319 28345 8256 16948 18570 16122 50524 59098 47785 41573 64889 2602 4438 29193

Вариант 6
970 54868 16581 17786 40915 12822 38611 44785 37868 45915 43459 49702 49553 3492 55238 58756 44120 247 50910 12983 56607 24488 61304 41759 8795 8319 46732 64313 3921 62172 9305 54749 39001 7339 40316 47393 43737 21451 17291 15498 1242 3057 46579 32617 52081 22727 33577 37177 44338 19366 28962 32064 23718 36644 25527

Вариант 7
42331 49904 17504 255 14447 22218 54543 56754 18256 16825 55367 39803 3037 57808 17619 22481 27200 56024 43363 52780 17879 16757 40812 39472 41200 5725 37789 31589 5629 10538 37460 29262 12094 45973 53128 39890 45786 22663 143 4889 60813 20077 49230 18488 30141 60892 46762 41320 4475 60105 3803 17785 45025 53519 31938 22426 41300 46441 5213 11791 26383 9710 23717 9532 58333

Вариант 8
46415 40602 8704 52653 53909 20599 61523 31983 41983 64314 3046 40458 9304 13863 26516 26373 51479 21635 29364 13114 25356 5223 20088 49497 60421 22846 57498 31949 39392 44777 30073 27204 21388 17592 54398 50431 22258 29287 12923 24973 52954 9553 17525 16111 33037 40758 26621 2525 57688 31438 44791 25384 17827 55335 10170 11226 59209 10288 51078 11053

Вариант 9
43092 41316 2709 30026 9665 60744 64943 8168 42710 30116 49928 35599 26859 18076 2019 58538 54120 62977 3275 52507 22019 60774 63873 39116 5965 14044 63121 30803 11383 39849 44732 56887 2422 5440 16278 50545 15268 42036 44008 42568 50377 18151 20437 19013 39158 35216 58393 51101 1917 59476 11428 21984 10100 5394 16778

Вариант 10
24395 16133 58163 39708 14237 46233 15863 37973 33100 46872 18817 52225 40263 39641 49716 3393 51483 62691 14864 64478 27914 1234 46355 54875 44877 37382 957 18211 8252 7995 64049 20503 22445 5472 28242 16675 60175 22639 32528 64744 5576 34169 39068 13208 53331 38208 20985 13439 32833 53112 55768 40133 12606 15489 55137 64102 6468 61945 48502 2966 64168 3233 3345 21537

Вариант 11
12289 15976 9129 15386 3723 15523 1349 13887 28075 726 5673 8534 13772 24246 26025 26024 25730 27803 24748 18795 9699 9926 23353 6731 2773 28481 17160 24390 11549 13481 29350 29271 15448 13677 29928 30605 16689 4436 29085 2188 2418 24388 22472 14729 12497 8367 17876 7248 2447 4127 28802 988 31049 28336 24468 31374 30094 9363 25699 9488

Вариант 12
21959 18910 7146 22292 22694 22331 31938 5540 3606 27332 20635 18808 11575 10941 3452 2596 263 29200 27314 9089 14356 16409 6059 11154 8596 30273 8170 11009 13091 20453 17537 10037 20410 30025 2755 17264 1950 19346 18447 25986 21094 13828 6123 24060 2647 5108 26069 15344 6052 3143 27767 5800 1886 4690

Вариант 13
11721 27677 16834 30356 8894 13522 30797 20068 14032 15564 22109 26861 30764 15034 24359 15833 14329 12844 5662 21331 9320 4287 12162 6473 21326 31270 27196 28963 11985 19575 3609 24683 30947 12658 22734 565 26236 13473 29518 28243 2520 29829 9311 13993 20794 30779 7809 28447 20959 9541 11657 3592 813 4448 3197 12547 4952 1430 30888 19627 25067 1530 16871 12184 17154

Вариант 14
946 23194 25728 25133 23109 10190 29833 24366 30290 16520 2321 2586 30239 2363 15233 3730 29355 13264 4071 28180 3885 18142 19831 10911 4659 30954 11314 11041 6853 13508 17215 18289 20285 24943 23499 5847 23737 3357 29553 3144 30817 13093 10623 2026 26847 7188 16031 29842 4281 18464 10671 26933 12156 4792 3291 6027 15077 21998 21050 19044

Вариант 15
21214 4029 15141 5166 18061 20618 28928 13782 2885 6176 11501 26537 15951 11181 28995 10815 21737 7794 11083 15320 17437 22390 27623 7306 1127 14363 713 22841 1078 28724 17645 25603 23735 5971 18275 29705 9847 16743 6293 26055 24252 756 21898 27742 16822 17522 17387 13954 4064 8343 9142 7937 24873 29094 23525

Вариант 16
477 27012 8163 8756 20143 6312 19008 22048 18642 22604 21395 24468 24395 1719 27194 28926 21720 122 25063 6391 27868 12055 30180 20558 4330 4095 23006 31662 1930 30607 4581 26953 19200 3613 19847 23332 21532 10560 8512 7630 611 1505 22931 16057 25640 11188 16530 18302 21827 9534 14258 15785 11676 18040 12567 3572 26538 17583 20427 29441 23956 13127 20870 15611 26292

Вариант 17
20840 24568 8617 125 7112 10938 26852 27940 8987 8283 27257 19595 1495 28459 8674 11067 13390 27581 21348 25984 8802 8249 20092 19432 20283 2818 18604 15551 2771 5188 18442 14405 5954 22633 26155 19638 22541 11157 70 2407 29939 9884 24236 9102 14838 29977 23021 20342 2203 29590 1872 8755 22166 26347 15723 11040 20332 22863 2566 5805

Вариант 18
22850 19988 4285 25921 26540 10141 30288 15745 20668 31662 1499 19917 4580 6825 13054 12983 25343 10651 14456 6456 12483 2571 9889 24368 29745 11247 28306 15729 19393 22044 14805 13392 10529 8661 26781 24827 10958 14418 6362 12294 26070 4703 8627 7931 16264 20065 13105 1243 28400 15477 22051 12497 8776 27242 5006

Вариант 19
21214 20340 1333 14782 4758 29905 31972 4021 21026 14826 24580 17525 13222 8899 994 28818 26643 31004 1612 25849 10840 29919 31445 19257 2936 6914 31075 15164 5604 19618 22022 28006 1192 2678 8014 24884 7516 20694 21665 20956 24801 8936 10061 9360 19277 17337 28747 25157 944 29280 5626 10822 4972 2655 8259 22753 18281 20699 4079 14315 28757 122 31000 6921 30638

Вариант 20
12010 7942 28634 19548 7009 22761 7809 18694 16295 23075 9264 25711 19821 19515 24475 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

Вариант 21
15938 20720 11839 19953 4828 20132 1749 18010 36410 942 7358 11068 17861 31444 33751 33749 33369 36057 32096 24375 12579 12873 30287 8729 3596 36937 22254 31631 14977 17483 38063 37960 20034 17738 38813 39691 21643 5753 37720 2837 3136 31628 29144 19102 16207 10851 23183 9399 3174 5352 37352 1282 40266 36749 31732

Вариант 22
28478 24524 9268 28910 29431 28960 41420 7185 4676 35447 26761 24391 15012 14190 4476 3367 341 37869 35422 11787 18618 21281 7858 14465 11147 39261 10595 14277 16978 26525 22743 13017 26470 38938 3573 22389 2529 25090 23923 33701 27357 17933 7941 31203 3433 6625 33809 19899 7849 4076 36010 7522 2446 6082 3039 15233 19640 4808 31847 36016 3623 22254 25685 36058 32580

Вариант 23
15200 35894 21832 39368 11535 17537 39941 26026 18198 20185 28673 34835 39897 19497 31591 20534 18584 16657 7343 27664 12088 5560 15773 8394 27657 40553 35270 37561 15543 25386 4681 32011 40135 16416 29483 732 34025 17474 38281 36628 3268 38685 12075 18147 26967 39917 10128 36893 27181 12374 15118 4658 1055 5769 4146 16272 6423 1855 40058 25454

Вариант 24
1227 30079 33366 32594 29969 13215 38690 31600 39283 21425 3011 3354 39217 3065 19756 4837 38070 17202 5280 36546 5038 23529 25719 14151 6042 40144 14673 14318 8888 17519 22326 23719 26307 32348 30475 7584 30784 4353 38327 4077 39966 16981 13777 2628 34818 9322 20790 38702 5552 23945 13839 34929 15765 6214 4268

Вариант 25
27512 5225 19636 6700 23424 26739 37516 17874 3742 8009 14916 34415 20687 14500 37603 14026 28191 10109 14373 19869 22614 29037 35824 9475 1462 18627 924 29622 1398 37252 22883 33203 30782 7744 23701 38524 12770 21714 8161 33791 31452 981 28399 35978 21817 22724 22549 18097 5271 10821 11856 10293 32257 37732 30509 26543 41429 1661 2833 18639 21200 27083 341 27978 39864

Вариант 26
619 35031 10586 11355 26122 8186 24652 28594 24177 29315 27747 31732 31638 2229 35267 37513 28169 158 32504 8289 36141 15635 39140 26662 5615 5311 29836 41061 2503 39694 5941 34955 24901 4685 25740 30258 27924 13696 11039 9895 793 1951 29739 20824 33251 14510 21438 23736 28308 12364 18491 20472 15143 23395 16298 4632 34416 22803 26491 38182

Вариант 27
27026 31862 11175 163 9223 14185 34824 36235 11656 10742 35349 25413 1939 36908 11249 14353 17366 35769 27686 33698 11415 10698 26057 25201 26304 3655 24127 20168 3593 6728 23917 18682 7722 29352 33920 25468 29233 14469 91 3122 38827 12818 31431 11804 19244 38877 29856 26381 2857 38374 2428 11355 28746 34169 20391

Вариант 28
29634 25923 5557 33616 34419 13151 39280 20420 26804 41062 1944 25830 5940 8851 16929 16838 32867 13813 18748 8373 16189 3334 12825 31602 38576 14586 36710 20398 25150 28588 19200 17368 13655 11232 34731 32198 14211 18699 8250 15944 33809 6099 11189 10286 21093 26022 16996 1612 36831 20072 28597 16207 11382 35329 6493 7167 37802 6568 32611 7057 1650 39913 34881 34678 14886

Вариант 29
27512 26379 1729 19170 6171 38783 41464 5215 27269 19228 31877 22728 17148 11541 1289 37374 34553 40208 2090 33523 14058 38802 40780 24974 3808 8967 40300 19666 7268 25442 28560 36320 1546 3473 10393 32271 9748 26838 28097 27178 32164 11588 13048 12139 25001 22484 37282 32626 1224 37973 7296 14035 6448 3444 10712 29508 23708 26845 5290 18565

Вариант 30
15575 10300 37135 25352 9089 29518 10128 24244 21133 29926 12014 33344 25706 25309 31742 2166 32870 40026 9490 41166 17822 788 29596 35035 28652 23867 611 11627 5268 5105 40893 13090 14330 3494 18031 10646 38419 14454 20768 41337 3560 21815 24943 8433 34049 24394 13398 8580 20962 33910 35605 25623 8048 9889 35203

Вариант 31
21123 27460 15690 26444 6399 26681 2319 23869 48254 1248 9752 14668 23672 41673 44730 44728 44224 47787 42536 32304 16671 17061 40139 11569 4766 48953 29494 41921 19849 23171 50445 50309 26551 23508 51439 52603 28684 7625 49991 3760 4156 41917 38625 25316 21480 14381 30724 12457 4207 7093 49503 1699 53365 48704 42055 53924 51724 16093 44170 16308 37474 28067 393 35384 43641

Вариант 32
37742 32502 12283 38315 39006 38381 54894 9523 6197 46978 35467 32326 19895 18806 5933 4462 452 50188 46945 15621 24674 28204 10414 19171 14774 52033 14042 18921 22501 35154 30142 17251 35080 51605 4735 29672 3352 33252 31706 44664 36256 23766 10524 41353 4550 8780 44807 26373 10402 5402 47724 9968 3242 8061 4028 20188 26029 6373 42207 47732

Вариант 33
20145 47570 28934 52175 15287 23242 52933 34493 24118 26751 38000 46167 52876 25840 41868 27214 24629 22076 9732 36663 16020 7369 20904 11125 36654 53745 46743 49780 20600 33645 6204 42424 53191 21757 39075 971 45093 23158 50734 48543 4332 51270 16003 24051 35740 52903 13423 48894 36023 16400 20035 6174 1398 7645 5495

Вариант 34
1626 39864 44220 43198 39719 17514 51275 41879 52061 28395 3990 4445 51974 4062 26182 6411 50454 22798 6997 48435 6677 31183 34085 18754 8008 53203 19446 18976 11779 23218 29588 31435 34865 42872 40389 10051 40798 5770 50794 5404 52968 22505 18259 3483 46144 12354 27554 51292 7358 31735 18341 46291 20894 8236 5656 10359 25914 37810 36180 32732 8988 51456 16956 15131 32522

Вариант 35
36461 6925 26024 8879 31044 35437 49721 23688 4960 10615 19768 45611 27417 19217 49835 18589 37361 13397 19049 26332 29971 38483 47478 12558 1937 24687 1225 39258 1853 49370 30328 44005 40795 10263 31411 51056 16925 28777 10816 44783 41683 1300 37638 47681 28914 30117 29885 23984 6986 14341 15713 13641 42751 50006 40433 35177 54906 2201 3755 24702

Вариант 36
821 46427 14030 15050 34620 10849 32671 37895 32042 38851 36773 42055 41930 2955 46740 49717 37332 209 43077 10986 47898 20721 51872 35335 7442 7039 39542 54419 3318 52607 7873 46326 33001 6210 34113 40102 37008 18151 14631 13114 1051 2586 39413 27599 44068 19230 28412 31457 37516 16387 24507 27131 20069 31006 21600

Вариант 37
35818 42226 14811 216 12224 18800 46152 48023 15447 14236 46849 33679 2570 48915 14909 19022 23015 47405 36692 44660 15128 14179 34533 33399 34861 4844 31975 26729 4763 8917 31697 24760 10234 38900 44954 33753 38742 19176 121 4137 51457 16988 41656 15644 25504 51524 39568 34963 3787 50858 3218 15049 38098 45285 27024 18975 34946 39296 4411 9977 22324 8216 20068 8065 49359

Вариант 38
39274 34356 7365 44552 45615 17430 52058 27063 35524 54419 2577 34233 7872 11731 22437 22315 43559 18306 24847 11097 21455 4419 16997 41882 51125 19332 48652 27034 33332 37888 25446 23018 18097 14886 46029 42672 18834 24781 10934 21131 44807 8083 14829 13632 27954 34487 22525 2137 48812 26601 37900 21479 15085 46822 8605 9499 50100 8705 43220 9352

Вариант 39
36462 34960 2292 25407 8178 51399 54952 6912 36139 25483 42246 30122 22727 15295 1708 49532 45794 53288 2771 44429 18632 51424 54046 33098 5047 11883 53410 26064 9632 33718 37850 48135 2049 4603 13774 42769 12919 35569 37237 36019 42627 15358 17293 16088 33134 29798 49410 43239 1622 50326 9670 18601 8546 4564 14196

Вариант 40
20642 13651 49215 33599 12046 39120 13423 32131 28007 39661 15922 44190 34068 33542 42067 2871 43563 53046 12577 54558 23619 1044 39224 46432 37972 31631 810 15409 6982 6765 54195 17348 18991 4630 23897 14110 50917 19156 27523 54784 4718 28912 33057 11176 45126 32330 17757 11372 27782 44941 47188 33959 10667 13106 46655 54240 5472 52415 41040 2510 54296 2736 2831 18224 25803

Вариант 41
33204 42419 535 43822 62437 2584 62515 54633 54316 23315 46217 37133 42046 8286 29078 58412 249 62969 14058 62233 21803 16330 229 20587 25391 2344 11746 15144 3708 24557 27771 2793 17159 19805 27804 25122 5229 29938 9865 8803 18922 20467 31945 1281 2184 14372 16347 20883 263 21574 30738 2988 4780 11676 4692 8718 5526 9149 5065 25146

Вариант 42
5441 1272 30776 26896 26740 11478 31590 1592 1647 10603 15012 40688 39028 12143 33328 12305 28276 21178 297 26698 32929 32508 1984 21880 15801 22246 7816 19553 28529 27299 24697 6782 38826 12794 11417 24539 31069 17024 27066 20246 34098 14318 26368 29650 3328 7528 16844 6199 15142 6085 37243 37294 159 40203 8975

Вариант 43
39733 40926 4129 39550 30967 1894 40968 2064 2136 13750 19469 4801 29493 34041 47788 43178 21565 8512 2458 53090 33735 43084 2630 28998 20942 29483 28096 35893 453 37080 52832 6140 45612 30221 35109 50603 41175 22562 35871 26832 45190 2187 52897 46228 45959 19728 39107 31420 35578 7011 24604 49426 211 53281 11895 33204 42419 535 43822 62437 2584 62515 54633 54316 23315

Вариант 44
42055 41930 2955 46740 49717 37332 209 43077 10986 47898 20721 40795 10263 31411 51056 16925 28777 10816 44783 41683 1300 37638 47681 28914 30117 29885 23984 6986 14341 15713 13641 42751 50006 38000 46167 52876 25840 41868 27214 24629 22076 9732 36663 16020 7369 20904 11125 36654 53745 46743 49780 20600 33645 6204 42424 25316 21480 14381 30724 12457

Вариант 45
4207 7093 49503 1699 53365 48704 42055 53924 51724 16093 44170 16308 37474 28067 393 35384 43641 38938 3573 22389 2529 25090 23923 33701 27357 17933 7941 31203 3433 6625 33809 19899 7849 4076 36010 7522 2446 6082 3039 15233 50138 62862 25713 46179 1147 53292 27369 59958 57369 5119 60591 18913 28424 42238 62521

Приложение Б
(обязательное)

Таблица Б.1 - Значения параметров закона распределения Вейбулла для расчетных значений асимметрии

b	K_b	g_b	ρ_b
0,20	120,0	1901	190,1
0,30	9,261	30,10	28,33
0,40	3,323	10,45	11,35
0,50	2,000	4,472	6,619
0,60	1,505	2,645	4,593
0,70	1,266	1,851	3,498
0,80	1,133	1,428	2,815
0,90	1,073	1,199	2,345
1,00	1,000	1,000	1,000
1,10	0,965	0,878	1,734
1,20	0,940	0,787	1,521
1,30	0,923	0,716	1,346
1,40	0,911	0,660	1,198
1,50	0,903	0,613	1,072
1,60	0,897	0,574	0,962
1,70	0,892	0,540	0,865
1,80	0,889	0,511	0,779
1,90	0,888	0,486	0,701
2,00	0,886	0,463	0,631
2,10	0,886	0,443	0,567
2,20	0,886	0,425	0,509
2,30	0,886	0,408	0,455
2,40	0,886	0,393	0,405
2,50	0,887	0,380	0,358
2,60	0,888	0,367	0,315
2,70	0,889	0,355	0,275
2,80	0,890	0,344	0,237
2,90	0,891	0,333	0,202
3,00	0,893	0,325	0,168
3,10	0,895	0,314	0,136
3,20	0,896	0,307	0,106
3,30	0,897	0,298	0,078
3,40	0,898	0,292	0,051
3,50	0,899	0,290	0,025
3,60	0,901	0,277	0,001

Продолжение таблицы Б.1

b	K_b	g_b	ρ_b
3,70	0,904	0,276	- 0,023
3,80	0,905	0,265	- 0,045
3,90	0,906	0,260	- 0,067
4,00	0,908	0,254	-0,087
4,10	0,909	0, 249	-0,107
4,20	0,910	0,244	- 0,126
4,30	0,911	0,239	- 0,144
4,40	0,913	0,244	- 0,161
4,50	0,914	0,230	- 0,178
4,60	0,915	0,225	- 0,195
4,70	0,916	0,221	- 0,210
4,80	0,916	0,217	- 0,225
4,90	0,917	0,214	- 0,240
5,00	0,918	0,210	- 0,254
5,10	0,919	0,207	- 0,267
5.20	0,920	0,203	- 0,268
5,30	0,921	0,199	- 0,281
5,40	0,922	0,197	- 0,294
5.50	0,923	0,194	- 0,306
5,60	0,924	0,190	- 0,318
5,70	0,925	0,187	- 0,330
5,80	0,926	0,184	- 0,341
5,90	0,927	0,181	- 0,352
6,00	0,923	0,180	- 0,363
6,10	0,928	0,177	- 0,373
6,20	0,929	0,175	- 0,333
6,30	0,930	0,173	- 0,395
6,40	0,931	0,170	- 0,403
6,50	0,932	0,168	- 0,421
6,60	0,932	0,165	- 0,430
6,70	0,933	0,163	- 0,439
6,80	0,934	0,161	- 0,447
6,90	0,935	0,159	- 0,455
7,00	0,935	0,157	- 0,463
7,50	0,939	0,147	- 0,500
8,00	0,942	0,140	- 0,534
8,50	0,945	0,131	- 0,564
9,00	0,947	0,126	- 0,591
9,50	0,949	0,120	- 0,615
10,00	0,951	0,114	- 0,638

Приложение В
(обязательное)

Таблица В.1 - Значения вероятностей критерия Пирсона

χ^2	Число степеней свободы $k = K - H$								
	2	3	4	5	6	7	8	10	12
1	0,606	0,801	0,909	0,962	0,935	0,994	0,998	0,999	0,999
2	0,367	0,572	0,735	0,849	0,919	0,959	0,981	0,996	0,999
3	0,223	0,391	0,557	0,700	0,808	0,385	0,934	0,931	0,995
4	0,135	0,261	0,406	0,549	0,676	0,779	0,857	0,947	0,983
5	0,082	0,171	0,287	0,415	0,543	0,660	0,757	0,891	0,958
6	0,049	0,111	0,199	0,306	0,423	0,539	0,647	0,815	0,916
7	0,030	0,071	0,135	0,220	0,320	0,428	0,536	0,725	0,857
8	0,018	0,046	0,091	0,156	0,238	0,332	0,433	0,629	0,758
9	0,011	0,029	0,061	0,109	0,173	0,252	0,342	0,532	0,702
10	0,006	0,018	0,040	0,075	0,124	0,188	0,265	0,440	0,616
11	0,004	0,011	0,026	0,051	0,088	0,138	0,201	0,357	0,528
12	0,002	0,007	0,017	0,034	0,062	0,100	0,151	0,285	0,445
13	0,001	0,004	0,011	0,023	0,043	0,072	0,111	0,223	0,369
14	-	0,002	0,007	0,014	0,029	0,051	0,081	0,173	0,300
15	-	0,001	0,004	0,010	0,020	0,036	0,059	0,132	0,241
16	-	0,001	0,003	0,006	0,013	0,015	0,042	0,099	0,191
17	-	-	0,001	0,004	0,009	0,017	0,030	0,074	0,149
18	-	-	0,001	0,002	0,006	0,012	0,021	0,055	0,115
19	-	-	-	0,001	0,004	0,008	0,014	0,040	0,088
20	-	-	-	0,001	0,002	0,005	0,010	0,029	0,067
21	-	-	-	-	0,001	0,003	0,007	0,021	0,050
22	-	-	-	-	0,001	0,002	0,004	0,015	0,037
23	-	-	-	-	-	0,001	0,002	0,004	0,015
24	-	-	-	-	-	0,001	0,002	0,007	0,020
25	-	-	-	-	-	-	0,001	0,005	0,015
26	-	-	-	-	-	-	0,001	0,003	0,010

Приложение Г
(обязательное)

Таблица Г.1 - Значения вероятностей критерия Колмогорова

$\lambda = \left\{\max\left[F_э(L) - F_т(L)\right]\sqrt{n}\right\}$	P(λ)
0,0	1,0
0,1	1,0
0,2	1,0
0,3	1,0
0,4	0,977
0,5	0,964
0,6	0,864
0,7	0,711
0,8	0,544
0,9	0,393
1,0	0,270
1,1	0,178
1,2	0,112
1,3	0,068
1,4	0,040
1,5	0,022
1,6	0,012
1,7	0,006
1,8	0,003
1,9	0,002
2,0	0,001