МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет электроэнергетики и технического сервиса
Кафедра эксплуатации и технического сервиса машин

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

студентам 3*и 4 курсов направления подготовки бакалавров
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
Профиль – Эксплуатация и сервис автомобилей

Балашиха 2021

Составил: доцент Кулаков К.В.
УДК 631.3

Основы теории надежности и работоспособности технических систем: Методические указания по изучению дисциплины / Рос.гос.аграр.заоч.ун-т; Сост. К.В. Кулаков, М. 2021. с.

Предназначены для студентов 3*и 4 курсов направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов профиль – Эксплуатация и сервис автомобилей

Утверждены методической комиссией факультета электроэнергетики и технического сервиса

Рецензенты: доцент Ферябков А.В., доцент Сметнев А.С. (ФГБОУ ВО РГАЗУ)

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Основы теории надежности и работоспособности технических систем» относится к вариативной части ООП.

Методические указания по данной дисциплине составлены в соответствии с рабочей учебной программой и рабочими учебными планами, утвержденными Ученым советом ФГБОУ ВО РГАЗУ 17.02.2016 г.

1.1. Цель и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины - получение студентами знаний и навыков в области надежности машин, умение применять эти знания на производстве для обеспечения и повышения надежности техники. Дисциплина даёт возможность расширения и углубления знаний для успешной профессиональной деятельности; умений и навыков, определяемых содержанием базовых дисциплин.

В результате изучения дисциплины студент *должен*:

***обладать компетенциями*:**

способностью разрабатывать и использовать графическую техническую документацию (ПК- 8);

способностью к участию в составе коллектива исполнителей в проведении исследования и моделирования транспортных и транспортно-технологических процессов и их элементов (ПК- 9);

владением знаниями технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования, причин и последствий прекращения их работоспособности (ПК-15);

способностью к выполнению в составе коллектива исполнителей лабораторных, стендовых, полигонных, приемо-сдаточных и иных видов испытаний систем и средств, находящихся в эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (ПК-20);

способностью определять рациональные формы поддержания и восстановления работоспособности транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (ПК-40);

знать:

- основы теории надежности и причины возникновения неисправностей машин,
- методы их выявления и предупреждения неисправностей машин;
- закономерности изнашивания деталей и способы повышения их износостойкости;
- методы испытаний техники на надежность;
- методы определения показателей надежности;

– способы повышения доремонтного и послеремонтного уровней надежности;
– систему и нормативы технического обслуживания и ремонта

уметь:

– определять основные показатели надежности технических объектов с применением математических методов;
– анализировать показатели надежности техники и разрабатывать мероприятия по ее повышению;
– организовать испытания машин на надежность.

владеть:

– навыками планирования и проведения испытаний машин на надёжность;
– навыками определения показателей надежности графическими методами;
– навыками расчёта показателей надёжности и оценки надёжности машин.

1.2. Библиографический список

Основной

1. Зубарев, Ю.М. Основы надежности машин и сложных систем : учебник / Ю.М. Зубарев. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 180 с. — ISBN 978-5-8114-2328-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/91074 (дата обращения: 29.07.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Сапожников, В.В. Основы теории надежности и технической диагностики : учебник / В.В. Сапожников, В.В. Сапожников, Д.В. Ефанов. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 588 с. — ISBN 978-5-8114-3453-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/115495 (дата обращения: 29.07.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Малафеев, С.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи : учебное пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 316 с. — ISBN 978-5-8114-1268-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/87584 (дата обращения: 29.07.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Юнусов, Г.С. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования. Курсовое проектирование : учебное пособие / Г.С. Юнусов, А.В. Михеев, М.М. Ахмадеева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 160 с. — ISBN 978-5-8114-1216-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/2031 (дата обращения: 29.07.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительный

1. Надежность и ремонт машин: Учеб. для вузов/ В.В. Курчаткин, Н.Ф.Тельнов, К.А. Ачкасов, А.Н.Батищев и др.; Под ред. В.В. Курчаткина.- М.: Колос, 2000. – 776с.
2. Щурин, К.В. Надежность машин : учебное пособие / К.В. Щурин. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 592 с. — ISBN 978-5-8114-3748-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/121468 (дата обращения: 29.07.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

1.3. Распределение учебного времени по модулям (разделам) и темам дисциплины

Таблица 1

№ п.п.	Наименование модулей и тем дисциплины	Всего, ч	В том числе, ч			Рекомендуемая литература
			лекции	лаборат.-практич. занятия	самостоят. работа	
1	2	3	4	5	6	7
	Введение	2 (2)			2 (2)	3, с.3-7
1	**Модуль 1. Основы теории надежности. Физические основы надежности технических систем**	107,5 (107,8)	6(4)	8(2)	2,5 (2,2)	
1.1	Тема 1.1. Понятие о надежности технических систем. Термины и определения.	7 (4)	2(1)		93,5 (101,8)	1, с.5-23 3. с. 8-36: 2, с.81-194; 2. с. 7-10, 20-30. 46-51:3. с. 5-30.
1.2	Тема 1.2. Физические основы надежности	16 (17)	2(1)	4(1)	5 (3)	3. с. 36-48; 2, с. 194-292
1.3	Тема 1.3. Причины потери работоспособного состояния. Классификация отказов	84,5 (85,8)	2(2)	4(1)	10 (15)	1. с. 206-220 3, с. 48-82; 2. с. 7-17. 51-74.
2	**Модуль 2. Методы расчета показателей надежности. Испытание машин на надежность**	70,0 (70,0)	4,0 (4,0)	4,0 (2,0)	78,5 (82,8)	
2.1	Тема 2.1 Теоретические законы и методы расчета показателей надежности	24,0 (24,0)	2,0(2,0)	2,0(2,0)	62,0 (64,0)	1, с.5 – 23; 2, с. 194-202; 3, с. 40 – 42;

2.2	Тема 2.2. Обеспечение надежности машин.	22,0 (22,0)	1,0 (1,0)	2,0 (-)	20,0 (20,0)	2, с.203 – 209; 3, с. 45 - 48
2.3	Тема 2.3. Система и нормативы технического обслуживания и ремонта	24,0 (24,0)	1,0(1,0)	-	19,0 (21,0)	2, с.89 – 92, 103 – 109; 3, с. 342 - 356
	И Т О Г О	180 (180)	10,0 (8,0)	12,0 (4,0)	23,0 (23,0)	

Примечание: в скобках указаны часы для студентов со сроком обучения 3,5 года.

Раздел 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ИЗУЧЕНИЮ

Введение

Достижения в развитии науки о надежности техники, внедрение ее достижений в машиностроение, эксплуатацию и ремонт машин.

Предмет, задачи, программа и методика изучения дисциплины.

2.1. Модуль 1. Основы теории надежности. Физические основы надежности технических систем

2.1.1. Содержание модуля 1

Тема 1.1. Понятие о надежности технических систем.

Термины и определения. Изделие, техническая система, элемент, объект. Машина как техническая система. Техническое состояние объекта: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, предельное. Определение надежности машин. Основные свойства надежности.

Безотказность, долговечность. Различие между безотказностью и долговечностью.

Ремонтопригодность. Свойства объекта, характеризующие ремонтопригодность.

Сохраняемость. Зависимость ресурса машин, агрегатов, деталей от качества хранения.

Оценочные показатели надежности.

Тема 1.2. Физические основы надежности

Трение и смазка деталей машин. Классификация видов трения и смазки.

Классификация видов изнашивания и физическая сущность каждого вида. Характеристики и закономерности изнашивания. Методы и средства изучения износов. Методы повышения износостойкости.

Тема 1.3. Причины потери работоспособного состояния. Классификация отказов

Причины, нарушающие работоспособность и снижающие уровень надежности машин. Анализ причин отказов. Классификация отказов.

Характеристики и закономерности изнашивания. Методы и средства изучения износов.

Усталостные разрушения деталей машин.

Другие виды повреждений деталей. Потеря физико-механических свойств материалов, коррозия, накипь, их характеристики, причины возникновения, методы и средства определения.

Критерии и методы обоснования предельного состояния деталей и соединений. Допустимые при ремонте значения параметров деталей и соединений и методы их обоснования.

2.1.2. Методические указания по изучению модуля

Программа дисциплины предусматривает изучение данного материала на лекциях, практических занятиях, выполнение контрольной работы и при самостоятельной работе. При изучении модуля 1 необходимо опираться на ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения». Который позволит изучить: основные свойства надежности, показатели надежности, вопросы связанные с трением и изнашиванием.

2.1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Основные состояния технических объектов?
2. Что такое техническое обслуживание?
3. Поясните термины: безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость.
4. Дайте определения следующим понятиям: наработка, технические ресурс, срок службы, срок сохраняемости.
5. Продукция, виды продукции, ее свойства и качество.
6. Виды изнашивания деталей.
7. Основные закономерности изнашивания
8. Основные показатели изнашивания.
9. Мероприятия по уменьшению интенсивности изнашивания деталей машин.
10. Методы определения износов деталей машин и область их применения.

2.1.4. Задания для самостоятельной работы

1. Приведите классификацию видов смазки и их характеристику.
2. В чем разница между понятиями «изнашиванием» и «износ».
3. Приведите числовые характеристики (параметры) распределения случайных величин и формулы для их расчета.
4. Изложите порядок обработки информации по надежности машин.
5. Каковы цель, назначение и особенности испытаний сельскохозяйственной техники на надежность?

6. Порядок расчета остаточного и полного технических ресурсов деталей и соединений.
7. Как классифицируют отказы по характеру возникновения ?
8. Изложите Ваше понимание предельных и допустимых без ремонта износов, размеров и др. параметров.
9. Как классифицируют отказы по их взаимосвязи?

2.2 Модуль 2. Методы расчета показателей надежности. Испытание машин на надежность

2.2.1. Содержание модуля 2

Тема 2.1. Теоретические законы и методы расчета показателей надежности.

Методика обработки полной информации. Построение графиков распределения опытных значений показателя надежности. Выравнивание их теоретическими законами; определение параметров распределения; расчет доверительных границ рассеяния показателя надежности и относительной ошибки переноса.

Методика обработки усеченной информации: расчет критерия согласия и выбор теоретического закона распределения; определение параметров теоретического закона распределения. Особенности обработки многократно усеченной информации.

Тема 2.2. Обеспечение надежности машин

Обеспечение высокого первоначального уровня надежности при конструировании машин.

Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности машин.

Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности.

Обеспечение и поддержание надежности при эксплуатации техники.

Методы повышения износостойкости.

Тема 2.3. Система и нормативы технического обслуживания и ремонта

Стратегия технического обслуживания и ремонта. Виды и периодичность технического обслуживания. Виды и методы ремонта.

2.2.2. Методические указания по изучению модуля

Программа дисциплины предусматривает изучение данного материала на лекциях, практических занятиях, выполнение контрольной работы и при самостоятельной работе. В ходе изучения модуля необходимо освоить методы обработки полной и усеченной информации, методы определения теоретического закона распределения и его графического изображения. Необходимо освоить методы обеспечения надежности техники на всех стадиях эксплуатации.

2.2.3. Вопросы для самоконтроля

1. Причины нарушения работоспособности и снижения надежности машин.
2. Что понимают под исправным и работоспособном состоянием машины?
3. Что понимают под обслуживаемым, восстанавливаемым и ремонтируемым объектами?
4. Что понимают под необслуживаемым, невосстанавливаемым и неремонтируемым объектами?
5. Что понимают под отказом и повреждением?
6. Что понимают под техническим обслуживанием, восстановлением и ремонтом машин?
7. Понятие о ресурсе и сроке службы. В чем они измеряются?
8. Классификация отказов машин.

2.2.4. Задания для самостоятельной работы

1. Закон распределения Вейбулла.
2. Экспоненциальное распределение
3. Гиперэкспоненциальное распределение
4. Нормальный закон распределения
5. Выбор теоретического закона распределения.
6. Методы ремонта и их характеристика.
7. Может ли быть машина работоспособной, но не исправной? Ответ поясните примером.

Раздел 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Общие рекомендации по выполнению и оформлению контрольной работы

Целью выполнения контрольной работы является закрепление теоретических знаний по надежности машин и освоение методики расчета ее показателей. Работа предусматривает решение задачи по расчету коэффициентов годности и восстановления детали на основании исследования её износов.

Исходные данные для решения задач указываются в индивидуальном задании, которое выдается на кафедре.

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы, необходимо изучить материал по учебной и др. литературе и получить полное представление по всем разделам дисциплины.

Контрольная работа должна содержать расчетно-пояснительную записку объемом 15–20 рукописных или машинописных страниц формата А4 и графическую часть из 2-х листов формата А4. Записка и графическая часть должны быть оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ.

В работе приводятся все расчеты, связанные с решением задач. Текст и все расчеты в записке выполняются на одной стороне листа. В конце записки приводят список использованной литературы, а в тексте записки делают соответствующие ссылки.

Индивидуальное задание приклеивают к оборотной стороне обложки пояснительной записки.

Содержание контрольной работы

Расчет коэффициентов годности и восстановления детали.

1. Расчет износов детали.
2. Составление статистического ряда.
3. Определение числовых характеристик износов.
4. Проверка информации на выпадающие точки.
5. Выбор теоретического закона распределения и расчет его параметров.
6. Определение доверительных границ рассеяния среднего значения износа детали.
7. Определение относительной ошибки расчета.
8. Определение количества деталей, годных без ремонта и подлежащих восстановлению.

Список литературы

Содержание графической части

1. Гистограмма и полигон распределения износов – 1 лист.
2. Кривая накопленных опытных вероятностей и интегральная функция ТЗР – 1 лист.

3.2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Определение коэффициентов годности и восстановления детали

При разработке технологии восстановления какой-либо детали технолог должен изучить по чертежу и на производстве ее конструктивно-технологические особенности (масса, габариты, материал, твердость и т.д.); возможные дефекты, значения износов; процент деталей, годных без восстановления (коэффициент годности) и процент деталей, подлежащих восстановлению (коэффициент восстановления). Знание конструктивно-технологических особенностей деталей и значений их износов позволяет обоснованно подойти к выбору рационального способа восстановления детали (например, при большом износе применяют различные виды наплавки, при малом износе – полимеры, гальванопокрытия и др.). Знание коэффициента восстановления позволяет определить программу восстановления деталей и связанные с ней трудоемкость работ, расход материалов, необходимое число оборудования и др.

Поскольку возможность появления дефектов и их сочетания у детали является случайным событием, а значение износов – случайной величиной, то для их определения применяется математический аппарат теории вероятности, что и предусмотрено при решении данной задачи.

Информацию по износам указанной поверхности детали студент получает путем измерения 40 – 50 деталей на ремонтном предприятии по месту работы. Если такой возможности у студента нет, то на установочном занятии ему выдается уже готовая информация по микрометражу заданной детали. Зная размеры изношенной поверхности деталей, полученные микрометражем, определяют ее износ для каждой детали. При определении износа **вала** полученные микрометражем размеры вычитают из его минимального предельного размера, а для **отверстия**, наоборот, максимальный предельный размер вычитают из размеров, полученных при измерении.

Методику расчета покажем на примере анализа износов шлицев первичного вала коробки передач трактора типа МТЗ.

Размеры (толщина) шлицев (мм):

по чертежу – $7{,}06^{+0{,}03}_{-0{,}10}$

допустимый без ремонта в соединении с деталями:

бывшими в эксплуатации – 6,80; новыми – 6,61.

Замерена толщина шлицев у 50-ти валов, получены следующие результаты:

6,91; 6,39; 6,76; 6,31; 6,61; 6,51; 6,31; 6,31; 6,23; 5,91
6,76; 6,76; 6,31; 6,61; 6,51; 6,31; 6,31; 6,31; 6,23; 6,01
6,40; 6,31; 6,61; 6,51; 6,38; 6,31; 6,26; 6,23; 6,11; 6,11
6,39; 6,61; 6,41; 6,41; 6,38; 6,31; 6,26; 6,11; 6,11; 6,11
6,91; 6,51; 6,41; 6,40; 6,37; 6,31; 6,26; 6,11; 6,22; 6,22.

Значения износов определяем по формулам:

для валов $И = d_{\min} - d_{изм}$;

для отверстия $И = D_{изм} - D_{мах}$,

где $d_{изм}$ и $D_{изм}$ – измеренные диаметры соответственно вала и отверстия.

$d_{\min}$ и $D_{мах}$ – соответственно минимальный и максимальный предельные размеры вала и отверстия.

В нашем примере $d_{\min} = 7{,}06 – 0{,}10 = 6{,}96$ мм.

Тогда износы деталей составят:

$И_1 = 6{,}96–6{,}91 = 0{,}05$ мм; $И_2 = 6{,}96–6{,}39 = 0{,}57$ мм;

$И_3 = 6{,}96–6{,}76 = 0{,}20$ мм; $И_4 = 6{,}96–6{,}31 = 0{,}65$ мм.

Остальные вычисления износов для сокращения не приводим.

Сводную ведомость (вариационный ряд) информации по износам шлицев представим в виде табл. 2, в которой полученные расчетом износы расположены в порядке их возрастания.

Таблица 2 - Сводная ведомость по износам шлицев

№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм	№ п/п	Износ, мм
1	0,05	**22**	0,58	**37**	0,72
2	0,05	**23**	0,59	**38**	0,73
3	0,20	**24**	0,65	**39**	0,73
4	0,20	**25**	0,65	**40**	0,73
5	0,20	**26**	0,65	**41**	0.74
6	0,35	**27**	0,65	**42**	0,74
7	0,35	**28**	0,65	**43**	0,85
8	0,35	**29**	0,65	**44**	0,85
9	0,35	**30**	0,65	**45**	0,85
10	0,45	**31**	0,65	**46**	0,85
11	0,45	**32**	0,70	**47**	0.85
12	0,45	**33**	0,70	**48**	0,85
13	0,45	**34**	0,70	**49**	0,95
14	0,55	**35**	0,71	**50**	1,05
15	0,55	**36**	0,71		
16	0,55	**31**	0,65		
17	0.56	**32**	0.70		
18	0,56	**33**	0,70		
19	0,57	**34**	0,70		
20	0,57	**35**	0,71		
21	0,58	**36**	0,71		

Составление статистического ряда. Статистический ряд информации составляют в виде таблицы (табл. 3), состоящей из пяти строк.

Всю информацию по износам разбиваем на интервалы, количество которых определяется по формуле

$$n = \sqrt{N} \ ,$$

где N – количество информации (количество измеренных деталей).

n округляем до целого числа

$$n = \sqrt{50} = 7$$

Протяженность одного интервала

$$\text{А} = \frac{И\max - И\min}{n}$$

где $И_{max}$ и $И_{min}$– соответственно наибольшее и наименьшее значения износов (табл. 1).

$$\text{А} = \frac{1,05 - 0,05}{7} = 0,143 \approx 0,15 мм.$$

Протяженность интервала всегда округляют **в большую** сторону. Интервалы должны быть одинаковыми по величине и прилегать друг к другу без разрывов. Начало первого интервала или начало рассеяния (сдвиг износов) определяется по формуле

$$\text{С} = И_1 - 0,5\text{А},$$

где $И_1$ – значение износа в первой точке информации (наименьший износ), мм.

$$C = 0{,}05 - 0{,}5\cdot 0{,}15 = -0{,}025.$$

Принимаем С = 0, так как отрицательного износа не может быть.

Число интервалов и их протяженность используется для построения первой строки статистического ряда. Вторая строка этого ряда представляет собой середину каждого интервала. Например, для первого интервала $\frac{0+0{,}15}{2}$ =0,075. Третья строка показывает частоту, то есть сколько деталей попадает в каждый интервал износов (берут из табл. 2). При этом, если на границе двух интервалов окажется несколько деталей с равным износом, то их поровну распределяют между этими интервалами. Например, в первом интервале (0–0,15 мм) частота $m_1 = 2$; во втором – $m_2 = 3$; в третьем $m_3 = 6$ (четыре детали с износом 0,35 мм и две детали с износом 0,45 мм, а остальные две детали с износом 0,45 переходят в четвертый интервал). Если окажется, что последнее одно или несколько значений износа (точек информации) выходят за пределы последнего интервала, то нужно либо добавить еще один интервал, либо увеличить протяженность интервалов (А).

Значение опытных вероятностей (или частостей) в каждом интервале (третья строка статистического ряда) определяют по формуле

$$P_i = \frac{m_i}{N},$$

где m_i – опытная частота в i-м интервале.

$$P_1 = \frac{2}{50} = 0{,}04; \qquad P_2 = \frac{3}{50} = 0{,}06 \text{ и т.д.}$$

Обычно значение опытной вероятности округляют до сотых долей, используя правила математики.

Значения накопленных опытных вероятностей или частостей (последняя строка ряда) определяются суммированием вероятностей по интервалам:

$$\sum_{i=1}^{n} Pi = \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{N} = \frac{\sum_{1}^{n} m_i}{N};$$

$\sum P_1 = 0{,}04;$ $\sum P_2 = 0{,}04 + 0{,}06 = 0{,}1;$ $\sum P_3 = 0{,}1 + 0{,}12 = 0{,}22$ и т.д.

или $\sum P_1 = 0{,}04;$ $\sum P_2 = \frac{2+3}{50} = 0{,}1$ и т.д.

Сумма частот $\sum m_i$ по всем интервалам должна быть равна N (т. е. 50), а сумма накопленных опытных вероятностей $\sum P_i$=l,0.

Таблица 3 - Статистический ряд

Интервал, мм	0-0,15	0,15 0,30	0.30-0,45	0,45-0,60	0,60-0,75	0.75-0,90	0,90-1,05
Середина интервала, $И_{срi}$	0,075	0,225	0,375	0,525	0,675	0,825	0,975
Частота m_i	2	3	6	12	19	6	2
Опытная вероятность P_i	0,04	0,06	0,12	0,24	0,38	0,12	0,04
Накопленная опытная вероятность $\sum P_i$	0.04	0,10	0,22	0,46	0,84	0,96	1,00

Определение числовых характеристик. Основными числовыми характеристиками распределения случайной величины являются: среднее значение, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации (см. [3], гл. 1 и [4], гл. 2).

Среднее квадратическое отклонение представляет собой абсолютную меру, а коэффициент вариации – относительную меру рассеяния (разброса) случайной величины. Чем меньше рассеяние (разброс) значений износа, тем меньше среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

При объеме выборки (информации) N ≥ 25 их определяют следующим образом.

Среднее значение износа

$$\overline{И} = \sum_{1}^{n} И_{cpi} \cdot P_i$$

где $И_{срi}$ — значение износа в середине i-то интервала (середина i-го интервала);

P_i — опытная вероятность в i-м интервале.

В нашем примере:

$$\overline{И} = 0{,}075 \cdot 0{,}04 + 0{,}225 \cdot 0{,}06 + 0{,}375 \cdot 0{,}12 + 0{,}525 \cdot 0{,}24 +$$
$$+ 0{,}675 \cdot 0{,}38 + 0{,}825 \cdot 0{,}12 + 0{,}975 \cdot 0{,}04 = 0{,}60 \text{ мм}.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sum_{1}^{n} (И_{cpi} - \overline{И})^2 \cdot P_i}.$$

В нашем примере:

$$\sigma = \sqrt{(0{,}075 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}04 + (0{,}225 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}06 + (0{,}375 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}12 + \\ + (0{,}525 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}24 + (0{,}675 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}38 + (0{,}825 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}12 + \\ + (0{,}975 - 0{,}60)^2 \cdot 0{,}04} = 0{,}20 мм.$$

Коэффициент вариации

$$V = \frac{\sigma}{\overline{И} - C} = \frac{0{,}20}{0{,}60 - 0} = 0{,}33.$$

Проверку информации на наличие выпадающих точек осуществляют по критерию Ирвина, опытное значение которого определяется по формуле

$$\lambda_{оп} = \frac{И_i - И_{i-1}}{\sigma}$$

где $И_i$ и $И_{i-1}$ — смежные (крайние) точки в сводной ведомости информации (табл. 1).

Для наименьшего значения износа: $И_3 = 0{,}20$; $И_2 = И_1 = 0{,}05$.

$$\lambda_{оп} = \frac{0{,}20 - 0{,}05}{0{,}2} = 0{,}75.$$

Для наибольшего значения износа: $И_{50} = 1{,}05$; $И_{49} = 0{,}95$.

$$\lambda_{оп} = \frac{1{,}05 - 0{,}95}{0{,}2} = 0{,}5$$

Полученные значения $\lambda_{оп}$ сравнивают с табличными значениями критерия Ирвина (см. прил. 2). Если $\lambda_{оп}<\lambda_т$, то информация достоверна, если же $\lambda_{оп}>\lambda_т$, то такие точки «выпадают», то есть должны быть исключены из информации как недостоверные. В этом случае необходимо перестроить статистический ряд с учетом уменьшения количества информации за счет выпавших точек, вновь рассчитать $\overline{И}$, σ и V.

В нашем случае при И = 50 и доверительной вероятности α = 0,95 табличное значение критерия Ирвина $\lambda_т$ = 1,1, то есть больше $\lambda_{оп}$. Поэтому с вероятностью 0,95 можно утверждать, что все точки информации достоверны.

Графическое построение опытного распределения износов.

Данные табл. 3 используют для построения графиков, наглядно характеризующих опытное распределение случайной величины (в данном случае износов детали): гистограммы 1 и полигона 2 – рис. 1, кривой накопленных (опытных) вероятностей 1 – рис. 2 (приложение 1).

При построении опытного распределения износов по оси абсцисс откладывается в произвольно выбранном масштабе значение износа (интервалы), а по оси ординат – опытная вероятность P_i (рис. 1) или накопленная опытная вероятность $\sum_{1}^{n} P_i$ (рис. 2 приложения 1).

Масштаб ординаты следует выбирать, придерживаясь правила «золотого сечения»:

$$Y = \frac{5}{8} X ,$$

где Y — длина наибольшей ординаты;

X — длина абсциссы, соответствующей наибольшему значению износа.

Построение гистограммы осуществляется следующим образом (рис. 1). По оси абсцисс откладывают интервалы в соответствии со статистическим рядом, а по оси ординат опытную вероятность P_i в начале и конце каждого интервала. Соединив построенные в каждом интервале точки, получаем прямоугольник. В результате получается ступенчатый многоугольник – гистограмма.

Построение полигона (рис. 1) осуществляется по точкам, образованным пересечением абсциссы, равной середине интервала, и ординаты, равной опытной вероятности интервала, то есть надо соединить прямыми линиями середины верхних (горизонтальных) сторон прямоугольников гистограммы.

Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала, и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов (рис. 2).

Выбор теоретического закона распределения износов.

Применительно к надежности сельскохозяйственной техники используются в основном закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ). Предварительный выбор теоретического закона распределения (ТЗР) осуществляется по значению коэффициента вариации V. Если V<0,3, то распределение подчиняется ЗНР, если V>0,5 –

ЗРВ.

Если V лежит в интервале от 0,3 до 0,5, то выбирается тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией. Точность совпадения оценивается по критерию согласия.

В нашем примере коэффициент вариации V = 0,33, поэтому подходят как ЗНР, так и ЗРВ. Для окончательного решения необходимо рассчитать интегральную F ($И_{кi}$) функцию распределения износа детали по ЗНР и ЗРВ, а затем с помощью критерия согласия выбирать ТЗР.

Значение интегральной функции F ($И_{кi}$) ЗНР в конце *i* -го интервала определяется по формуле

$$F=(И_{кi})=F_0 \quad \frac{Иκi - \bar{И}}{\sigma},$$

где F_o– так называемая центрированная интегральная функция. Она табулирована и ее значения определяют по приложению 3;

$И_{кi}$ – значение износа в конце *i*-го интервала (конец *i*-го интервала статистического ряда);

$\overline{\grave{E}}$ – среднее значение износа;

σ– среднее квадратическое отклонение.

Необходимо помнить, что $F_o(–И) = 1–F_0(+ И)$.

В нашем примере $\bar{И}$ = 0,60, σ = 0,20, конец первого интервала $И_{кi}$ = 0,15. Тогда интегральная функция в конце первого интервала будет равна:

$$F_1(0{,}15) = F_0\left(\frac{0{,}15 - 0{,}60}{0{,}20}\right) = F_0(-2{,}25) = 1 - F_0(2{,}25) = 1 - 0{,}99 = 0{,}01.$$

(Из приложения 3 находим, что $F_o(2{,}25)$ =0,99).

Аналогично определяют значения F(И) для других интервалов. Например, для седьмого интервала

$$F_7(1{,}05) = F_0\left(\frac{1{,}05 - 0{,}60}{0{,}20}\right) = F_0(2{,}25) = 0{,}99.$$

Полученные значения интегральных функций записывают в табл. 4.

Значение интегральной функции $F(И_{кi})$ ЗРВ в конце *i*-го интервала определяется по формуле

$$F(И_{ki}) = F_T\left(\frac{И_{кi} - C}{a}\right),$$

где $F_т$ – табулированное значение интегральной функции. Принимается по приложению 5 в зависимости от $\frac{\grave{E}_{\hat{e}i} - C}{a}$, и параметра *b* ;

С – сдвиг начала рассеяния;

а – параметр ЗРВ, определяется по формуле

$$a = \frac{\bar{И} - C}{K_в},$$

где $К_в$ — коэффициент ЗРВ.

Параметр *b* и коэффициент $К_в$ определяют по приложению 4 в зависимости от коэффициента вариации.

В рассматриваемом примере $\overline{И}$ = 0,60, С = 0, V = 0,33. Из приложения 4 находим, что при V = 0,33, b = 3,30, $К_в$ = 0,90. Тогда:

$$a = \frac{0,60 - 0}{0,90} = 0,67.$$

В конце первого интервала

$$F_T = \left(\frac{0,15 - 0}{0,67}\right) = F_T\,(0,22).$$

Из приложения 5 находим, что интегральная функция в конце первого интервала при V = 0,33 и b = 3,30 будет равна:

$F_1(0,15) = F_т(0,22) \approx 0,01$.

Аналогично определяют F(И) для остальных интервалов, а полученные значения записывают в табл. 4.

Надо иметь в виду, что если b и $\frac{И_{кi} - C}{a}$ неточно совпадают с данными приложения 5, то $F_т$(И) следует определять интерполированием.

Окончательный выбор теоретического закона распределения износов выполняют с помощью критерия согласия (см. [1], гл. 1). Применительно к показателям надежности сельскохозяйственной техники чаще всего используют критерий Пирсона (χ^2) и критерий Колмогорова (λ.). По величине критерия согласия можно определить вероятность совпадения опытных и теоретических законов и на этом основании принять или отбросить выбранный теоретический закон распределения, или обоснованно выбрать один теоретический закон из двух или нескольких. Следует помнить, что критической вероятностью совпадения принято считать Р = 0,1. Если Р < 0,1, то выбранный для выравнивания опытной информации теоретический закон распределения следует считать недействительным.

Таблица 4 - Выбор теоретического закона распределения износов шлицев

Интервал, мм		0–0,15	0,15–0,30	0,30–0,45	0,45–0,60	0,60–0,75	0,75–0,90	0,90–1,05
Конец интервала, мм		0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05
Накопленная опытная вероятность $\sum P_i$		0,04	0,10	0,22	0,46	0,84	0,96	1,0
ЗНР	$\frac{И_{кi} - \overline{И}}{\sigma}$	–2,25	–1,5	–0,75	0	0,75	1,5	2,25
	$F(И_{кi})$	0,01	0,07	0,23	0,50	0,77	0,93	0,99
	$\sum P_i - F(И_{кi})$	0,03	0,03	0,01	0,04	0,07	0,03	0,01
ЗРВ	$\frac{И_{кi} - C}{a}$	0,22	0,45	0,67	0,89	1,12	1,34	1,56
	$F(И_{кi})$	0,01	0,08	0,20	0,51	0,75	0,92	0,99
	$\sum P_i - F(И_{кi})$	0,03	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,01

Критерий Пирсона дает более точную вероятность совпадения опытного и теоретического законов распределения, но он сложен в расчетах. Критерий Колмогорова прост в определении, но дает, как правило, завышенную вероятность совпадения. Однако при выборе одного закона из двух или нескольких, когда важно оценить какой из них лучше выравнивает опытную информацию, можно пользоваться критерием Колмогорова.

Критерий согласия Колмогорова определяют по формуле

$$\lambda = D_{\max} \cdot \sqrt{N},$$

где D_{max} — максимальная абсолютная разность между накопленной опытной вероятностью и теоретической интегральной функцией распределения, то есть

$$D_{\max} = \max\left|\sum_1^n P_i - F(И_{кi})\right|.$$

Разницу между опытным и теоретическим значениями функций определяют для каждого интервала и заносят ее в табл. 4.

Как видно из табл. 3, для ЗНР D_{max} = 0,07, а для ЗРВ D_{max} = 0,09. Тогда расчетное значение критерия согласия будет равно:

для ЗНР $\lambda = D_{\max}\sqrt{N} = 0,07\sqrt{50} = 0,49;$

для ЗРВ $\lambda = D_{\max}\sqrt{N} = 0,09\sqrt{50} = 0,63.$

Из приложения 6 находим вероятность совпадения теоретических законов с опытным распределением:

для ЗНР $P(\lambda)$ =0,967;

для ЗРВ $P(\lambda)$=0,864 при λ = 0,6, а с учетом интерполяции, то есть при λ=0,63 $P(\lambda)$ =0,818.

Следовательно, для описания опытной информации могут быть приняты оба закона, но ЗНР подходит лучше, чем ЗРВ. Выбрав окончательно в качестве теоретического закона ЗНР, наносим на график (рис. 2, прил. 1) значения его $F(И_{кi})$ по концам интервалов и соединяем полученные точки плавной кривой, которая будет теоретической интегральной функцией распределения износов шлицев.

Определение доверительных границ рассеяния среднего значения износа шлицев.

Для ЗНР доверительные границы рассеяния среднего значения износа определяют по формулам:

$$И_\alpha^н = \overline{И} - t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}; \overline{И}_\alpha^в = \overline{И} + t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}},$$

где $\overline{И}_\alpha^н$ и $\overline{И}_\alpha^в$ – соответственно нижняя и верхняя доверительные границы рассеяния среднего значения износа при доверительной вероятности α;

t_α – коэффициент Стьюдента, который определяют по приложению 7 в зависимости от N и выбранной доверительной вероятности α.

В рассматриваемом примере:

$\overline{И}$ =0,60, σ = 0,20, N = 50.

Задавшись доверительной вероятностью α = 0,95 при N = 50, по приложению 7 находим t_α =2,01. Тогда: $\overline{И}_\alpha^н$ =0,60–2,01 $\frac{0,20}{50}$ =0,60– –2,01·0,03 = 0,54 мм;

$$\overline{И}_\alpha^в = 0,60 + 2,01\frac{0,2}{50} = 0,66 мм$$

Таким образом, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение износа шлицев вала будет находиться в интервале от 0,54 до 0,66 мм.

Для ЗРВ доверительные границы рассеяния среднего значения износа определяют по формулам:

$$\overline{t}_\alpha^н = (\overline{t} - C)\cdot \sqrt[b]{r_3} + C; \qquad \overline{t}_\alpha^b = (\overline{t} - C)\cdot \sqrt[b]{r_1} + C,$$

где r_1 и r_3 – коэффициенты распределения Вейбулла (см. приложение 7), зависящие от доверительной вероятности α и повторности информации N;

в – параметр закала распределения Вейбулла.

В рассматриваемом примере $\overline{И} = 0,60$ мм; *в* = 3,3, С < 0, N=50.

Задавшись доверительной вероятностью α = 0,95 при N = 50, по приложению 7 находим r_1 = 1,35, r_3 = 0,77.

Тогда $\overline{И}_\lambda^н = (0,60 - 0)\cdot \sqrt[3,3]{0,77} + 0 = 0,60\cdot 0,924 = 0,55$

$$\overline{И}_\lambda^в = (0,60 - 0)\cdot \sqrt[3,3]{1,35} + 0 = 0,60\cdot 1,095 = 0,66$$

Определение относительной ошибки расчета характеристик износа

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\overline{И}_\alpha^в - \overline{И}}{\overline{И}}\cdot 100 = \frac{0,66 - 0,6}{0,60}\cdot 100 = 10\%$$

Точность расчетов вполне достаточна, так как по ГОСТу $\varepsilon_\alpha \leq 20\%$.

Определение количества деталей, годных без ремонта и подлежащих восстановлению.

Для определения количества годных деталей рассчитывают допустимые без ремонта износы детали в соединении ее с деталями, бывшими в эксплуатации, и новыми по формулам:

для валов $И_{дб} = d_{min} – d_{дб}$;

$И_{дн} = d_{min} – d_{дн}$;

для отверстий $И_{дб} = D_{дб} – D_{max}$;

$И_{дн} = D_{дн} — D_{max}$,

где d_{min} и D_{max} – соответственно минимальный и максимальный предельные размеры вала и отверстия;

$d_{дб}$ и $d_{дн}$ – допустимые без ремонта размеры вала в соединении соответственно с деталями, бывшими в эксплуатации, и с новыми;

$D_{дб}$ и $D_{дн}$ – то же самое для отверстий (см. задание).

В исходных данных к этому пункту задания указано, что в соответствии с техническими требованиями на капитальный ремонт шасси трактора допустимый размер шлицев при соединении с деталями, бывшими в эксплуатации, составляет 6,80 мм, а с новыми – 6,61 мм.

Тогда в нашем примере получим (d_{min} = 6,96):

$И_{дб}$ = 6,96–6,80 = 0,16 мм,

$И_{дн}$ = 6,96–6,61=0,35 мм.

Значения допустимых износов откладывают по оси абсцисс рис. 2 и из этих точек восстанавливают перпендикуляры до пересечения с теоретической интегральной кривой распределения износов. Из точек пересечения проводят горизонтальные линии до оси ординат и отчитывают в % количество годных деталей и деталей, требующих восстановления.

В нашем примере общее количество деталей, годных без ремонта, равно 12%, из них 3% можно соединять как с новыми, так и с бывшими в эксплуатации деталями, а 9% – только с новыми деталями. У 88% деталей шлицы необходимо восстанавливать. Таким образом, коэффициент годности первичного вала по шлицам равен 0,12, а коэффициент восстановления – 0,88.

П р и л о ж е н и е 1

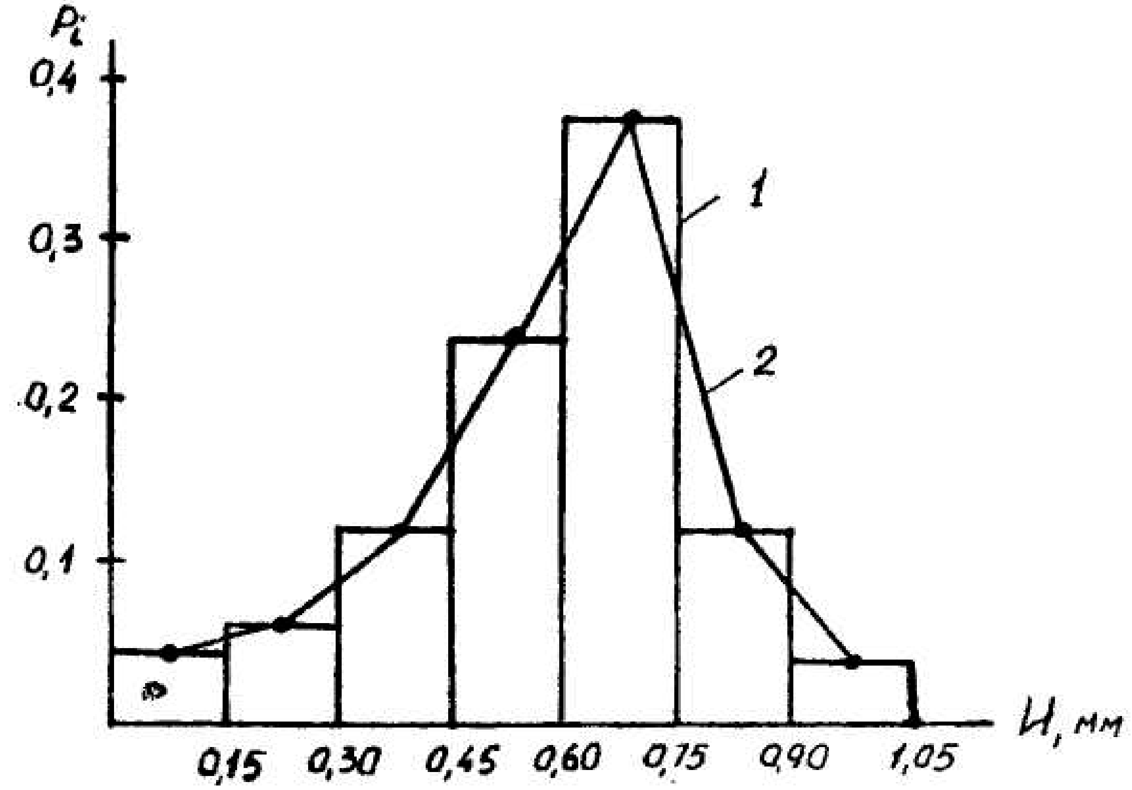

Рисунок 1 - Гистограмма (1) и полигон (2) распределение износов шлицев

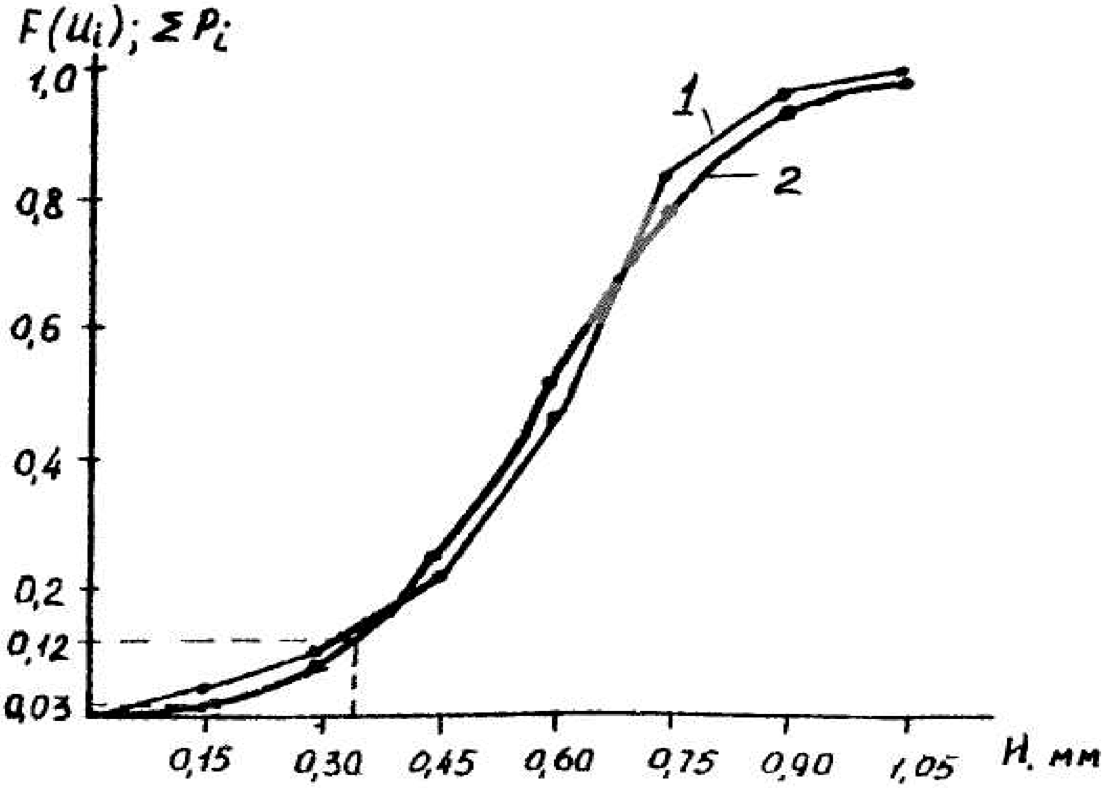

Рисунок 2 - Кривая накопленных опытных вероятностей (1) и интегральная функция (2) ЗНР износов шлицев

П р и л о ж е н и е 2

Коэффициент Ирвина $\lambda_т$

Повторность информации N	10	20	30	50	100	400
$\lambda_т$ при $\alpha = 0{,}95$	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
$\lambda_т$ при $\alpha = 0{,}99$	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

П р и л о ж е н и е 3

Интегральная функция (функция распределения) закона нормального распределения $F_0\left(\frac{t_{ki}-\bar{t}}{\sigma}\right)$

$\left(\frac{t_{ki}-\bar{t}}{\sigma}\right)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,5	50	51	51	52	52	52	53	53	54
0,1	0,54	54	55	55	56	56	56	57	57	58
0,2	0,58	58	59	59	60	60	60	61	61	61
0,3	0,62	62	63	63	63	64	64	64	65	65
0,4	0,66	66	66	67	67	67	68	68	68	69
0,5	0,69	70	70	70	71	71	71	72	72	72
0,6	0,73	73	73	74	74	74	75	75	75	76
0,7	0,76	76	76	77	77	77	78	78	78	79
0,8	0,79	79	79	80	80	80	81	81	81	81
0,9	0,82	82	82	82	83	83	83	83	84	84
1	0,84	84	85	85	85	85	86	86	86	86
1,1	0,86	87	87	87	87	88	88	88	88	88
1,2	0,89	89	89	89	89	89	90	90	90	90
1,3	0,9	91	91	91	91	91	91	92	92	92
1,4	0,92	92	92	92	93	93	93	93	93	93
1,5	0,93	93	94	94	94	94	94	94	94	94
1,6	0,95	95	95	95	95	95	95	95	95	96
1,7	0,96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
1,8	0,96	97	97	97	97	97	97	97	97	97
1,9	0,97	97	97	97	97	97	98	98	98	98
2	0,98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2,1	0,98	98	98	98	98	98	98	99	99	99
2,2	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,3	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,4	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,5	0,99	99	99	99	99	1	1	1	1	1

Приложение 4

Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла (ЗРВ)

$$a = \frac{\bar{t} - C}{K_в}; \; a = \frac{\sigma}{C_в}; \; \bar{t} = a \cdot K_в + C$$

V	b	$K_в$	$C_в$	V	b	$K_в$	$C_в$	V	b	$K_в$	$C_в$
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1,26	0,8	1,13	1,43	0,55	1,9	0,89	0,49	0,36	3	0,89	0,33
1,11	0,9	1,07	1,2	0,52	2	0,89	0,46	0,35	3,1	0,89	0,32
1	1	1	1	0,5	2,1	0,89	0,44	0,34	3,2	0,9	0,31
0,91	1,1	0,97	0,88	0,48	2,2	0,89	0,43	0,33	3,3	0,9	0,3
0,84	1,2	0,94	0,79	0,46	2,3	0,89	0,41	0,33	3,4	0,9	0,29
0,78	1,3	0,92	0,72	0,44	2,4	0,89	0,39	0,32	3,5	0,9	0,29
0,72	1,4	0,91	0,66	0,43	2,5	0,89	0,38	0,31	3,6	0,9	0,28
0,68	1,5	0,9	0,61	0,41	2,6	0,89	0,37	0,3	3,7	0,9	0,27
0,64	1,6	0,9	0,57	0,4	2,7	0,89	0,35	0,29	3,8	0,9	0,27
0,61	1,7	0,89	0,54	0,39	2,8	0,89	0,34	0,29	3,9	0,91	0,26
0,58	1,8	0,89	0,51	0,38	2,9	0,89	0,34	0,28	4	0,91	0,25

Приложение 5

Интегральная функция (функция распределения) $F(t_{ki}\text{-}C)$ закон Вейбулла

$\frac{t_{ki}-C}{a}$	b										
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,1	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
0,2	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,1	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
0,3	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1
0,4	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16
0,5	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24
0,6	0,47	0,45	0,43	0,42	0,4	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32
0,7	0,52	0,5	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,43	0,41	0,4
0,8	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,5	0,5	0,49	0,48
0,9	0,6	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
1	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,6	0,63	0,63
1,1	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,7	0,7
1,2	0,69	0,7	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
1,3	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,79	0,8	0,81
1,4	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
1,5	0,76	0,78	0,79	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
1,6	0,78	0,8	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9	0,91
1,7	0,8	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,9	0,92	0,93	0,94
1,8	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,9	0,83	0,85	0,87	0,89	0,9	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97

Продолжение приложения 5

$\frac{t_{ki}-C}{a}$	*b*										
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2	0,85	0,87	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,1	0,86	0,88	0,9	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,2	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
2,3	0,88	0,9	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1
2,5	0,9	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1
2,6	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1	1
2,7	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1	1	1
2,8	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1	1	1
2,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1	1	1	1
3	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1
3,5	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1	1
4	0,97	0,96	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1

Продолжение приложения 5

$\frac{t_{ki}-C}{a}$	*b*									
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
0,1	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,3	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
0,4	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07
0,5	0,22	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13
0,6	0,3	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2
0,7	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3
0,8	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41
0,9	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52
1	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,7	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,8	0,81	0,81	0,82
1,3	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
1,4	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,9	0,91	0,92	0,92	0,93
1,5	0,9	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96
1,6	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
1,7	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
1,8	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1
1,9	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1
2	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1	1
2,1	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1	1	1	1
2,2	0,99	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1
2,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Продолжение приложения 5

$\frac{t_{ki}-C}{a}$	*b*										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,5	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
0,7	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21
0,8	0,4	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,5	0,5	0,5	0,49	0,49	0,48	0,48
1	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,9	0,9	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1	1	1	1	1
1,7	0,99	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

П р и л о ж е н и е 6

Критерий Колмогорова $P(\lambda)$

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0	1	0,7	0,711	1,4	0,04
0,1	1	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1	1	0,27	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,967	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2	0,001

П р и л о ж е н и е 7

Коэффициенты t_α, r_1 и r_3 для двусторонних доверительных границ

$\frac{\alpha}{N}$	α = 0,80			α = 0,90			α= 0,95		
	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3
2	1,89	3,77	0,51	2,92	5,63	0,42	4,30	8,26	0,36
3	1,64	2,73	0,57	2,35	3,66	0,48	3,18	4,84	0,42
5	1,47	2,05	0,62	2,01	2,54	0,55	2,57	3,08	0,49
10	1,38	1,61	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2.09	0,59
15	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	1,64
20	1,33	1,37	0,77	1,73	1,51	0,72	2,09	1,64	0,67
25	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77
60	1,30	1,19	0,86	1,67	1,25	0,82	2,00	1,31	0,79
80	1,29	1,16	0,87	1,66	1,21	0,84	1,99	1,27	0,81
100	1,29	1,14	0,88	1,66	1,19	0,86	1,98	1,23	0,83