

Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище (военный институт)
имени генерала армии В.Ф.Маргелова

Факультет коммуникаций и автомобильного транспорта
Кафедра информационных технологий и общеобразовательных дисциплин

Ю.А. Заяц

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

методические указания по самостоятельному изучению дисциплины

Учебно-методическое пособие

Допущено ученым советом РВВДКУ в качестве учебно-методического пособия для самостоятельного изучения дисциплины «Основы теории надежности» по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство»).

Протокол № 28 от 27 мая 2014 г.

Рязань 2014

ББК
З-40

Заяц, Ю.А.

З-40 Основы теории надежности. Методические указания по изучению дисциплины [Текст] / Ю.А.Заяц. Учебно-методическое пособие для студентов – РВВДКУ. – Рязань, 2014 г. – 25 с. –ил.

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями ГОС по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство»). Предназначено для самостоятельной подготовки студентов заочной формы обучения при изучении дисциплины «Основы теории надежности». Содержит рабочую учебную программу курса, методические рекомендации по изучению дисциплины, список литературы, рекомендованной для самостоятельной работы, а также контрольное задание. Особое внимание в пособии уделено организации работы над контрольным заданием, выполняемым самостоятельно. Приведены требования к оформлению контрольного задания и методические рекомендации по его выполнению, и пример расчета.

Содержание

| | |
|---|----|
| 1. Целевая установка и организационно-методические указания | 4 |
| 1.1. Общие цели по дисциплине | 4 |
| 1.2 Место дисциплины в структуре основной образовательной программы | 4 |
| 1.3 Требования к результатам освоения дисциплины | 5 |
| II. Распределение учебного времени по семестрам, темам и видам учебных занятий | 7 |
| 2. Содержание дисциплины | 10 |
| 3. Рекомендуемая литература | 11 |
| 4. Тематический план лекций для заочной формы обучения (8 ч.) | 11 |
| 5. Темы практических занятий для заочной формы обучения (4 ч.) | 11 |
| 6. Контрольное задание и методические указания к ее выполнению .. | 12 |
| 6.1. Общие указания и порядок оформления контрольного задания | 12 |
| 6.2 Контрольное задание | 14 |
| 6.3 Методические указания к выполнению контрольного задания | 17 |
| 6.4 Пример выполнения контрольного задания | 19 |
| 1. Расчет статистической вероятности безотказной работы | 21 |
| 2. Расчет статистической вероятности отказа | 21 |
| 3. Расчет значения вероятности безотказной работы $P(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа | 21 |
| 4. Расчет математического ожидания числа работоспособных устройств | 22 |
| 5. Расчет средней наработки до отказа $T_{ср}$ рассматриваемых изделий | 22 |
| 6. Построение гистограммы частот отказов и неисправностей | 22 |
| 7. Расчет интенсивности отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt | 23 |
| 8. Расчет параметров для выборки с наблюдением до неудовлетворительного состояния | 23 |
| 9. Выводы | 24 |
| 10. Ответы на теоретические вопросы | 24 |

1. Целевая установка и организационно-методические указания

1.1. Общие цели по дисциплине

Рабочая программа составлена в соответствии с государственными требованиями к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки бакалавра по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство»).

Курс «Основы теории надежности» содержит базовые положения, являющиеся неотъемлемой частью инженерной подготовки бакалавра.

Целями дисциплины являются формирование уровня знаний, необходимого будущему специалисту для успешной реализации организационно-технических, конструкторско-технологических и эксплуатационных мероприятий, направленных на достижение требуемого уровня надёжности изделий.

Задачами дисциплины являются:

- изучение закономерностей возникновения отказов технических устройств;
- изучение системы обеспечения и поддержания надежности транспортно-технологических машин и комплексов;
- изучение основных методов планирования и выполнения лабораторных, стендовых, полигонных, приемо-сдаточных и иных видов испытаний систем и средств эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов.

1.2 Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина относится к математическому и естественнонаучному циклу. Базируется на теории вероятности, математической статистике, информатике, поэтому все расчёты надёжности носят вероятностный и статистический характер.

Для успешного освоения дисциплины студенты должны изучить дисциплины:

- Математика;
- Информатика.

И приобрести следующие знания, умения и компетенции:

Знать:

- устройство и технические характеристики транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования отрасли и основные принципы их использования;
- методы и процессы сбора, передачи, обработки и накопления информации;
- технические и программные средства реализации информационных процессов;

– основные методы теории вероятностей и математической статистики, а также построения и исследования простейших вероятностных моделей для решения задач, возникающих в процессе изучения профессиональных дисциплин.

Уметь:

– использовать основные методы математической статистики для обработки опытных данных.

1.3 Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у выпускника следующих компетенций:

общекультурных компетенций (ОК)

- владеет культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (частичное формирование ОК-1);

умеет: обобщать, анализировать, воспринимать информацию о надежности транспортных и транспортно-технологических машин;

- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, имеет навыки работы с компьютером как средством управления информацией (частичное формирование ОК-12);

знает: методы и процессы сбора, передачи, обработки и накопления информации по надежности транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов;

профессиональных компетенций (ПК)

- способен к участию в составе коллектива исполнителей в проведении испытаний транспортно-технологических процессов и их элементов (ПК-9);

- способен к участию в составе коллектива исполнителей при выполнении лабораторных, стендовых, полигонных, приемо-сдаточных и иных видов испытаний систем и средств эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов (ПК-19);

владеет умением изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы по совершенствованию технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства (частичное формирование ПК-21);

умеет: выполнять анализ, синтез показателей надежности транспортно-технологических машин и комплексов и прогнозировать их техническое состояние;

умеет: выполнять анализ, синтез показателей надежности транспортно-технологических машин и комплексов и прогнозировать их техническое состояние;

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- общие закономерности физических процессов, определяющих надежность автомобиля, образования и проявления внезапных и постепенных отказов теплового, механического и электрического оборудования автомобильного транспорта;
- место теории надежности в проектировании и эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- организацию системы обеспечения надежности;
- методы и процессы сбора, передачи, обработки и накопления информации по надежности транспортно-технологических машин и комплексов;
- основные понятия теории надежности;
- элементы теории надежности.

Уметь:

- выполнять анализ, синтез показателей надежности транспортно-технологических машин и комплексов и прогнозировать их техническое состояние;
- выполнять расчет показателей надежности транспортно-технологических машин и комплексов;
- организовать систему сбора и обработки статистической информации о надежности автомобильного подвижного состава;

Владеть:

- методами обеспечения и поддержания показателей надежности транспортно-технологических машин и комплексов;
- методами оценки показателей надежности;
- основными методами планирования и выполнения лабораторных, стендовых, полигонных, приемо-сдаточных и иных видов испытаний систем и средств эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов.

II. Распределение учебного времени по семестрам, темам и видам учебных занятий

| Номера и наименование разделов и тем | Всего часов учебных занятий | В том числе учебных занятий с преподавателем | Из них по видам учебных занятий | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|---------------------------------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|---|-----------------|--|
| | | | лекции | семинары | лабораторные работы | практические занятия | контрольные работы | курсовые работы (проекты, задачи) | самостоятельная работа под руководством преподавателя | экзамен, зачеты | Время, отводимое на самостоятельную работу |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 4 семестр | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Основы понятия теории надежности. | 3 | 2 | 2 | | | | | | | | 1 |
| Тема 2. Научный аппарат теории надежности. | 23 | 18 | 8 | | | 10 | | | | | 5 |
| Тема 3. Основные показатели надежности. | 10 | 8 | 4 | | 2 | 2 | | | | | 2 |
| Тема 4. Испытания на надежность и обработка информации по надежности. | 18 | 12 | 4 | | 2 | 6 | | | | | 6 |
| Тема 5. Методы повышения надежности транспортно-технологических машин и комплексов. | 18 | 14 | 8 | | | 6 | | | | | 4 |
| Экзамен | 36 | | | | | | | | | | 36 |
| ИТОГО за 4 семестр | 108 | 54 | 26 | | 4 | 24 | | | | | 54 |
| Всего по дисциплине | 108 | 54 | 26 | | 4 | 24 | | | | | 54 |

Всего на дисциплину учебным планом отводится 3 зачетные единицы

II. Распределение учебного времени по семестрам, темам и видам учебных занятий для заочной формы обучения

| Номера и наименование разделов и тем | Всего часов учебных занятий | В том числе учебных занятий с преподавателем | Из них по видам учебных занятий | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|---------------------------------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|---|-----------------|--|--|
| | | | лекции | семинары | лабораторные работы | практические занятия | контрольные работы | курсовые работы (проекты, задачи) | самостоятельная работа под руководством преподавателя | экзамен, зачеты | Время, отводимое на самостоятельную работу | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 5 семестр заочной формы обучения | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Основы понятия теории надежности. | 8 | 2 | 2 | | | | | | | | 6 | |
| Тема 2. Научный аппарат теории надежности. | 28 | | | | | | | | | | 28 | |
| Тема 3. Основные показатели надежности. | 26 | 4 | 2 | | | 2 | | | | | 22 | |
| Итого за V семестр | 62 | 6 | 4 | | | 2 | | | | | 56 | |
| 6 семестр заочной формы обучения | | | | | | | | | | | | |
| Контрольное задание «Определение количественных характеристик показателей надежности» | 12 | | | | | | | | | | 12 | |
| Тема 4. Испытания на надежность и обработка информации по надежности. | 16 | 2 | 2 | | | | | | | | 14 | |
| Тема 5. Методы повышения надежности транспортно-технологических машин и комплексов. | 18 | 4 | 2 | | | 2 | | | | | 14 | |
| Экзамен | | | | | | | | | | | | |
| ИТОГО за VI семестр | 46 | 6 | 4 | | 4 | 2 | | | | | 40 | |
| Всего по дисциплине | 108 | 12 | 8 | | 4 | 4 | | | | | 96 | |

Всего на дисциплину учебным планом отводится 3 зачетные единицы

II. Распределение учебного времени по семестрам, темам и видам учебных занятий для заочной сокращенной формы обучения

| Номера и наименование разделов и тем | Всего часов учебных занятий | В том числе учебных занятий с преподавателем | Из них по видам учебных занятий | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|---------------------------------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|---|-----------------|--|
| | | | лекции | семинары | лабораторные работы | практические занятия | контрольные работы | курсовые работы (проекты, задачи) | самостоятельная работа под руководством преподавателя | экзамен, зачеты | Время, отводимое на самостоятельную работу |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3 семестр заочной сокращенной формы обучения | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Основы понятия теории надежности. | 8 | 2 | 2 | | | | | | | | 6 |
| Тема 2. Научный аппарат теории надежности. | 18 | | | | | | | | | | 18 |
| Тема 3. Основные показатели надежности. | 10 | 4 | 2 | | | 2 | | | | | 6 |
| Итого за V семестр | 36 | 6 | 4 | | | 2 | | | | | 30 |
| 4 семестр заочной сокращенной формы обучения | | | | | | | | | | | |
| Тема 2. Научный аппарат теории надежности. | 10 | | | | | | | | | | 10 |
| Тема 3. Основные показатели надежности. | 16 | | | | | | | | | | 16 |
| Контрольное задание «Определение количественных характеристик показателей надежности» | 12 | | | | | | | | | | 12 |
| Тема 4. Испытания на надежность и обработка информации по надежности. | 16 | 2 | 2 | | | | | | | | 14 |
| Тема 5. Методы повышения надежности транспортно-технологических машин и комплексов. | 18 | 4 | 2 | | | 2 | | | | | 14 |
| Экзамен | | | | | | | | | | | |
| ИТОГО за VI семестр | 66 | 6 | 4 | | 4 | 2 | | | | | 66 |
| Всего по дисциплине | 108 | 12 | 8 | | 4 | 4 | | | | | 96 |

Всего на дисциплину учебным планом отводится 3 зачетные единицы

2. Содержание дисциплины

Тема №1. Основные понятия теории надежности. Предмет, цели и задачи теории надежности

[1] с.2...15, [2], [4] с.8...26, [5] с.10...26.

Введение: надежность и решение задач ускорения научно-технического прогресса. Основные понятия определения, свойства и показатели надежности, терминология. Система стандартов по надежности. Классификация показателей надежности. Выбор показателей надежности. Задачи теории надежности и методы их решения.

Тема №2. Научный аппарат теории надежности

[6] с.33...42, [4] с.27...72, [5] с.27...93.

Случайные величины и законы их распределения. Основные понятия теории вероятностей. Основные теоремы теории вероятностей. Зависимость интенсивности отказов от времени. Нормальный закон распределения. Задачи и методы обработки опытных данных.

Тема №3. Основные показатели надежности

[6] с.33...42, [4] с.73...115, [5] с.94...136.

Количественные характеристики показателей надежности. Единичные показатели надежности для восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий. Комплексные показатели надежности.

Тема №4. Испытания на надежность и обработка информации по надежности

[2] с.2...15, [4] с.116...146, [5] с.137...189.

Методы сбора и обработки информации по надежности. Планы испытаний и достоверность оценок показателей надежности. Лабораторные, стендовые, полигонные, приемо-сдаточные и иные виды испытаний систем и средств эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов. Планирование эксперимента. Обработка результатов эксперимента.

Тема №5. Методы повышения надежности транспортно-технологических машин и комплексов

[3] с.47...73, [5] с.190...264.

Закономерности изменения технического состояния транспортных средств. Цели и задачи исследования основных закономерностей изменения технического состояния автомобилей. Основные причины изменения технического состояния автомобилей. Классификация закономерностей, характеризующих техническое состояние автомобилей.

Расчет надежности систем. Методы повышения надежности транспортных систем: на стадии проектирования, изготовления, эксплуатации.

Резервирование как метод повышения надежности технических систем. Системные и структурные методы повышения надежности. Основные понятия, определения и классификация методов резервирования. Расчет надежности

транспортных систем при структурном резервировании.

Определение показателей надежности автомобилей.

Контрольное задание на тему «Определение количественных характеристик показателей надежности».

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом.

3. Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25478-82. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки. - М.: Изд-во стандартов, 1992.

2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1989.

3. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1985.

4. **Заяц, Ю.А.** Математика [Текст]: учебник для вузов / Е.И. Гужвенко, Ю.А. Заяц, Л.Б. Михеева, Н.П. Приходько; под ред. Ю.А. Заяц; М-во обороны РФ, Рязанский военный автомобильный институт. – Рязань, 2010. – 638 с.

5. **Заяц, Ю.А.** Основы теории надежности: учебник / Ю.А. Заяц. – Рязань : РВВДКУ, – 2013 г. – 277 с. – ил.

6. **Кузнецов, Е.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Под ред. Е.С. Кузнецова. Учебник для вузов/. - М.: Транспорт, 1991.

7. **Кучер, В.Я.** Основы технической диагностики и теории надёжности [Текст] / В.Я. Кучер. Письменные лекции - СПб.: СЭТУ, 2004. - с.

8. **Матвеевский, В.Р.** Надежность технических систем [Текст]/ В.Р. Матвеевский. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2002 г. – 113 с.

4. Тематический план лекций для заочной формы обучения (8 ч.)

1. Основные понятия теории надежности. Предмет, цели и задачи теории надежности. (2 ч).

2. Основные показатели надежности (2 ч.).

3. Испытания на надежность и обработка информации по надежности (2 ч).

4. Методы повышения надежности транспортно-технологических машин и комплексов (2 ч).

5. Темы практических занятий для заочной формы обучения (4 ч.)

1. Расчет качественных и количественных характеристик показателей надежности. Решение задач 2 ч

2. Расчет показателей надежности при структурном резервировании (2 ч.).

6. Контрольное задание и методические указания к ее выполнению

Тема контрольного задания – «Определение количественных характеристик показателей надежности». Для выбора своего варианта задания Вам необходимо знать последние две цифры номера зачетной книжки. Порядок выбора указан в задании и определяется значениями таблиц 1 и 2.

6.1. Общие указания и порядок оформления контрольного задания

Надежность автомобилей является одним из важнейших условий, определяющих ритмичную и устойчивую работу транспортных систем.

Выполнение контрольных работ имеет своей целью помочь студенту усвоить исходные положения теории надежности и получить первые навыки практических расчетов показателей надежности применительно к автомобильному транспорту. В работах предложено выполнить расчеты для некоторого объекта, устройства или технической системы (автомобилей и транспортных систем).

Приступая к выполнению контрольных работ, студент должен, прежде всего, усвоить основные термины и определения теории надежности:

работоспособное и исправное состояния, отказ и повреждение, внезапный и постепенный отказы, восстанавливаемое и невосстанавливаемое, ремонтируемое и неремонтируемое изделия, предельное состояние, наработку и продолжительность эксплуатации, ресурс, срок службы, безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, надежность.

Далее необходимо восстановить в памяти основные положения теории вероятности: случайное событие, вероятность события, статистическую вероятность (частоту), сложение и умножение вероятностей, несовместные и независимые события, случайную величину, распределение случайной величины, среднее значение и математическое ожидание случайной величины, дисперсию, среднее квадратическое отклонение, функцию распределения, плотность распределения, принцип практической уверенности, законы распределения, теоремы о числовых характеристиках случайных величин, случайную функцию. Важно усвоить связь между вероятностью и статистической вероятностью (частотой) события, средним значением и математическим ожиданием случайной величины.

После этого студент может перейти к изучению способов расчета единичных и комплексных показателей надежности. В контрольной работе студенту предлагается из множества используемых на практике показателей надежности рассчитать только три: вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа и интенсивность отказов. Эти показатели обычно рассчитываются для невосстанавливаемых объектов, а для восстанавливаемых – только применительно к периоду эксплуатации до первого отказа. Тем не менее, эти показатели достаточно широко используются для оценки

безотказности как на стадии проектирования и испытания объектов, так и при их эксплуатации. Умение рассчитывать указанные показатели формирует понимание основных закономерностей изменения исправности и работоспособности подвижного состава автомобильного транспорта.

Студент с помощью учебников должен изучить основные положения надежности, а затем приступить к выполнению контрольной работы в последовательности, установленной заданием и настоящими методическими материалами. Заметим, что строгая последовательность выполнения разделов обязательна.

Рекомендуется придерживаться примерно следующей схемы написания пояснительной записки. Первоначально в каждом разделе очень кратко указываются основные положения, выполняется расчет. Далее излагается содержание отдельных вопросов раздела с достаточно полным объяснением всех принятых положений и решений с соответствующими расчетами и обоснованиями, технологическими и другими схемами и графиками. И, наконец, делаются краткие выводы, в которых отмечается целесообразность принятых решений.

Пояснительная записка пишется на одной стороне стандартных листов бумаги с оставлением полей слева 30 мм, сверху и снизу по 20 мм. Все листы, начиная с титульного, последовательно нумеруются. Номер страницы ставится в правом верхнем углу листа (на титульном листе номер не ставится).

Задание на контрольную работу должно быть помещено в начале основного раздела. Материал пояснительной записки располагается в такой последовательности:

- титульный лист (см. образец);
- оглавление;
- введение;
- основной текст пояснительной записки;
- выводы;
- список используемой литературы.

В оглавлении пояснительной записки выделяют главы, которые начинают с новой страницы. В свою очередь главы при необходимости могут делиться на пункты. Нумерация в главах состоит из номера главы и пункта, разделенных точкой. Все главы и пункты должны иметь краткие заголовки, соответствующие оглавлению. Введение и список литературы не нумеруются.

Изложение пояснительной записки должно быть кратким, логичным, четким, призванным дать обоснование принятым в контрольной работе решениям. Не следует переписывать отдельные листы из учебников и методических указаний.

Выполняя расчеты, надо вначале привести формулу, сославшись при необходимости на ее источник, указать значение входящих в формулу символов, а затем подставить численные значения символов и привести

окончательный результат расчета без промежуточных вычислений. Численные значения символов следует подставить в формулы после того, как они объяснены. Приводится лишь окончательный результат с указанием размерности, а все промежуточные вычисления опускаются.

Формулы, рисунки, таблицы нумеруются арабскими цифрами отдельно в каждом разделе (задаче). Например, табл.2 в разделе 5 будет иметь номер 5.2. Каждая таблица должна иметь название, которое пишется рядом со словом «Таблица» через тире.

В списке используемой литературы названия ставятся в алфавитном порядке или в последовательности ссылки на нее, при этом в самом начале указывается директивная литература, а затем научно-техническая.

На титульном листе студент ставит дату и подпись.

Графики и рисунки, включаемые в текст пояснительной записки, выполняются на белой или миллиметровой бумаге стандартного формата.

Чертежи, прилагаемые к контрольной работе, выполняются карандашом, тушью, черной или синей (фиолетовой) пастой с соблюдением всех требований ГОСТа (ЕСКД).

Форма титульного листа приведена в приложении.

6.2 Контрольное задание

В процессе эксплуатации, при контроле технического состояния узлов и в результате анализа документации, установлено значение наработки узлов до отказа и наработки, при которой техническое состояние признано неудовлетворительным (таблица 1). Количество объектов находившихся под наблюдением представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Нарботка объектов в зависимости от варианта

| № варианта (последняя цифра номера зачетной книжки) | Нарботка объектов до отказа, T , час | Нарботка объекта до неудовлетворительного состояния $T_{нс}$, час |
|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 0 | 15464 26680 23915 18108 26254 20127 20625 25334 17929 24841 20074 23764 16041 24491 18934 27157 25167 14957 23554 27555 19609 17235 15358 22307 26176 15636 15112 22281 16532 | 13301 11903 11004 13771 14322 12004 12625 13276 12828 14742 15914 10459 15643 13901 14845 12865 11 234 11654 13245 14538 13487 12987 |
| 1 | 14570 20432 28341 20175 24381 19313 21490 20018 20322 21240 20055 22132 22375 24119 16909 17567 16081 23481 22828 21864 16621 25687 19543 18908 20431 | 17847 18218 14620 17050 14279 9986 13376 14796 19055 16039 15938 15782 18113 16286 11812 18738 18221 14893 16783 13019 13275 16793 17721 18448 11785 13526 13134 14251 18117 17871 16849 |

| № варианта (последняя цифра номера зачетной книжки) | Наработка объектов до отказа, <i>T</i> , час | Наработка объекта до неудовлетворительного состояния <i>T_{нс}</i> , час |
|---|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 2 | 9806 10107 10769 9113 10515 11017 10095 7058 11853 14554 10761 9320 9736 10532 10597 9716 10268 8033 8246 7245 8675 9787 10223 11432 13234 | 7057 6919 7349 6932 6916 5279 6305 6003 6487 6207 7994 6525 6998 5662 6097 7509 6378 6564 7001 6520 6243 5714 5631 7184 |
| 3 | 12871 15892 15605 15566 13979 14464 15798 14357 15370 14368 14907 15237 15817 11299 13879 15099 15279 15292 13276 12432 15322 13654 12012 13050 14300 | 12153 11074 13768 11294 12723 11779 12280 11963 12257 13595 11020 10881 10179 13339 11192 10138 12255 10348 12774 12028 11858 11036 10286 12165 13236 10485 12771 10885 13382 10570 12234 11856 12468 11896 12841 |
| 4 | 25518 33113 34401 38706 24190 28369 20511 23632 22336 29511 34127 33351 26429 25881 21318 28179 27009 21633 24116 24053 22427 29528 18693 25456 11534 22470 14223 | 16905 18679 19797 9447 28494 23418 25107 17423 23583 22179 18523 24947 20709 15569 15753 23963 15105 17210 17550 23658 18261 19399 17270 18690 14549 21967 19952 |
| 5 | 11114 10320 11663 11920 8838 12104 6948 13443 12971 12551 12358 12048 11882 14526 11438 12327 8931 12778 10026 11282 10158 10271 10990 9760 10500 | 8780 5210 7974 6647 10136 10349 9228 9825 9601 9940 8611 10788 7625 7574 3995 10779 9063 10694 9185 9024 9579 10212 10774 9931 8730 8206 |
| 6 | 14877 16169 10226 16877 10941 14994 14812 16827 13544 9669 16178 14202 15861 16281 5162 15352 10475 13200 14215 8854 12345 11780 11200 14321 10567 | 7723 13337 11992 10545 14658 14908 14099 9366 15307 13773 16231 12248 12966 14383 15120 15505 10185 13446 13618 10451 11901 |
| 7 | 3218 2877 3196 3283 2863 3154 2654 3286 3366 2848 3004 3312 3502 4313 3135 3310 3418 3225 3406 3021 2996 3059 3284 3065 3465 2345 3657 4210 | 2550 2380 2349 2467 2519 3235 2146 2224 2214 2431 2263 2189 2307 2465 2255 2155 2502 2208 2300 2095 2114 |
| 8 | 13373 12652 16124 16193 10847 11888 13448 14765 11380 15021 10821 15628 16053 14127 14199 14834 9505 13424 15623 11765 12625 15097 | 9831 13760 12430 10316 13633 13097 12155 10905 11855 8069 12371 9135 8810 11627 12147 11897 11039 13141 8728 12024 7027 12797 14130 11032 11581 9356 12432 13317 10250 10682 |
| 9 | 7516 6677 5056 5528 5678 8715 7728 4707 7221 8825 9540 7965 6689 7828 5115 8446 6902 7321 6824 5559 8459 8154 8695 8628 8768 6788 8355 7222 | 6258 8154 4663 9421 8231 5541 8429 6310 7913 4796 6943 9757 7144 7392 5799 8406 8117 5069 6212 5742 7319 6407 8319 7512 5335 3732 5224 5641 4880 15730 6326 3320 |

Таблица 2 – Количество объектов, находившихся под наблюдением, в зависимости от варианта (в зависимости от предпоследней цифры номера зачетной книжки)

| Предпоследняя цифра номера зачетной книжки | Количество объектов наблюдения N | Последняя цифра номера зачетной книжки | Заданное значение времени t , час |
|--|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| 0 | 50 | 0 | 22000 |
| 1 | 55 | 1 | 21000 |
| 2 | 60 | 2 | 10000 |
| 3 | 65 | 3 | 14000 |
| 4 | 75 | 4 | 25000 |
| 5 | 80 | 5 | 12000 |
| 6 | 85 | 6 | 14000 |
| 7 | 90 | 7 | 3200 |
| 8 | 95 | 8 | 13000 |
| 9 | 100 | 9 | 8000 |

Требуется определить:

1. Статистические вероятности безотказной работы $P(t)$
2. Статистические вероятности отказа $Q(t)$;
3. Значение вероятности безотказной работы $P(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа;
4. Для заданной наработки t требуется рассчитать математическое ожидание числа работоспособных устройств $\bar{N}_p(t)$, при общем числе находившихся в эксплуатации (таблица 2);
5. Среднюю наработку до отказа T_{cp} рассматриваемых изделий;
6. Построить гистограмму частот отказов и неисправностей при $m=5$;
7. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt .
8. Выполнить пункты с 1,2,5 для наработки объектов до неудовлетворительного состояния.
9. Сравнить рассчитанные значения T_{cp} для двух наблюдений. Сделать выводы относительно времени проведения планового технического обслуживания (ремонта).
10. После завершения расчетной части работы ответить на вопросы.
 - Чем объясняется возможное различие значений $P(t)$ и $P^*(t)$?
 - В какой период эксплуатации - начальный или по мере приближения к предельному состоянию - интенсивность отказов объектов обычно резко и неуклонно возрастает и почему?
 - Как с помощью построенной гистограммы другим способом вычислить значение средней наработки до отказа?
 - Как связаны между собой два показателя: частота отказов и интенсивность отказов?

6.3 Методические указания к выполнению контрольного задания

1. Статистическая вероятность безотказной работы $P(t)$

Статистически вероятность безотказной работы устройства для наработки t определяется как

$$P(t) = \frac{N_p(t)}{N}, \quad (1)$$

где $N_p(t)$ - число объектов, работоспособных на момент времени t . Для определения $N_p(t)$ из таблицы 1 следует выбрать значения T , превышающие t .

2. Статистическая вероятность отказа

Вероятность отказа устройства за наработку t статистически определяется как

$$Q(t) = \frac{N - N_p(t)}{N}, \quad (2)$$

где $N - N_p(t)$ число объектов, неработоспособных к наработке t . Для определения этой разности из таблицы 1 следует выбрать значения T , меньшие t .

3. Значение вероятности безотказной работы $P(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа

Необходимо обратить внимание на то, что сумма вероятностей равна 1:

$$P(t) + Q(t) = 1.$$

Подсчет этой суммы необходимо использовать для проверки правильности своих вычислений.

Оценку вероятности безотказной работы устройства по первым 20-ти значениям наработки до отказа обозначим как $P^*(t)$. Ее значение определяется также по формуле (1), но при этом $N = 20$, и число работоспособных объектов $N_p(t)$ выбирается из этой совокупности.

4. Для заданной наработки t требуется рассчитать математическое ожидание числа работоспособных устройств $\bar{N}_p(t)$, при общем числе находившихся в эксплуатации N (таблица 2)

Будем считать, что условия опыта, включающего N наблюдений, позволили однозначно определить вероятность безотказной работы объекта,

т.е. $P(t) = 1 - F(t)$. Здесь $F(t)$ - функция распределения случайной величины «наработка до отказа», определяющая вероятность события $T \leq t$ при $N \rightarrow \infty$.

Тогда с учетом формулы (1) математическое ожидание числа объектов работоспособных к наработке, определяется как

$$\bar{N}_p(t) = P(t) \cdot N, \quad (3)$$

где N - объем партии объектов, определяемый по таблице 2.

5. Средняя наработка до отказа T_{cp} рассматриваемых изделий

Для вычислений среднего значения T_{cp} случайной величины T непосредственно по ее выборочным значениям $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$ используют

формулу

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

где n – количество отказавших объектов из партии N .

Уточним, что здесь n равно числу значений T в таблице 1 для заданного варианта.

6. Построить гистограмму частот отказов и неисправностей, приняв количество интервалов равное $m=5$.

7. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt .

Статистической оценкой интенсивности отказов называется отношение числа отказавших объектов в единицу времени (разность между числом отказов $r(t+\Delta t)$ на момент времени $(t+\Delta t)$ и числом отказов $r(t)$ на момент времени t к длительности интервала времени Δt) к среднему числу исправно работающих объектов N_{cp} в интервале времени Δt .

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_{cp}},$$

где $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ – среднее число исправно работающих объектов на интервале времени Δt ;

$n(\Delta t)$ – число отказавших объектов на интервале времени Δt ;

N_i – число изделий, исправно работающих в начале интервала Δt ;

N_{i+1} – число изделий, исправно работающих в конце интервала Δt ;

Интервал времени – от $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ до $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$.

6.4 Пример выполнения контрольного задания

Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище
(военный институт) имени генерала армии В.Ф. Маргелова

Факультет коммуникаций и автомобильного транспорта
Кафедра информационных технологий и общеобразовательных дисциплин

Контрольное задание по дисциплине
ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ
«Определение количественных характеристик показателей надежности»

Вариант _____

Выполнил

группа _____

« » _____ 20 г.

Проверил

« » _____ 20 г.

Рязань 20 г.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1. Расчет статистической вероятности безотказной работы | 21 |
| 2. Расчет статистической вероятности отказа..... | 21 |
| 3. Расчет значения вероятности безотказной работы $P(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа | 21 |
| 4. Расчет математического ожидания числа работоспособных устройств | 22 |
| 5. Расчет средней наработки до отказа $T_{ср}$ рассматриваемых изделий..... | 22 |
| 6. Построение гистограммы частот отказов и неисправностей | 22 |
| 7. Расчет интенсивности отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt | 23 |
| 8. Расчет параметров для выборки с наблюдением до неудовлетворительного состояния | 23 |
| 9. Выводы..... | 24 |
| 10. Ответы на теоретические вопросы | 24 |

Задание. В процессе эксплуатации, при контроле технического состояния узлов и в результате анализа документации, установлено значение наработки узлов до отказа:

T , час

16361 9854 15939 19446 19855 14492 14714 13475 15337 14974 14798 15519 14951 12162
9328 15420 14244 12691 11849 14752 13749,

и наработки, при которой техническое состояние признано неудовлетворительным:

$T_{нс}$, час

7762 15372 9561 8857 9423 13112 13281 10551 8528 10255 6592 7581 11940 11965 8286 7887
6307 8524 12685 11856 12293 12771

Объем партии $N_n=80$.

Заданное значение времени $t=15000$ час.

Решение.

Количество объектов находившихся под наблюдением $N=21$

1. Расчет статистической вероятности безотказной работы

Статистически вероятность безотказной работы устройства $P(t)$ для наработки t определяется как

$$P(15000) = \frac{N_p(15000)}{N} = \frac{7}{21} = 0,333 \quad (1)$$

где $N_p(t)$ - число объектов, работоспособных на момент времени 15000ч
Для определения $N_p(t)$ из таблицы 1 следует выбрать значения T , превышающие 15000.

2. Расчет статистической вероятности отказа

Вероятность отказа устройства за наработку t статистически определяется как

$$Q(t) = \frac{N - N_p(t)}{N}, Q(15000) = \frac{21 - 7}{21} = 0,667, \quad (2)$$

где $N - N_p(t)$ число объектов, неработоспособных к наработке 15000.
Для определения этой разности из таблицы 1 следует выбрать значения T , меньшие t .

3. Расчет значения вероятности безотказной работы $P(t)$ по первым 20 значениям наработки до отказа

Необходимо обратить внимание на то, что сумма вероятностей равна 1:

$$P(15000) + Q(15000) = 0,333 + 0,667 = 1.$$

Подсчет этой суммы необходимо использовать для проверки правильности своих вычислений.

Оценку вероятности безотказной работы устройства по первым 20-ти значениям наработки до отказа обозначим как $P^*(t)$. Ее значение определяется также по формуле (1), но при этом $N = 20$, и число

работоспособных объектов $N_p(t)$ выбирается из этой совокупности.

$$P^*(15000) = \frac{N_p(15000)}{N} = \frac{6}{20} = 0,3 \quad (3)$$

4. Расчет математического ожидания числа работоспособных устройств

Для заданной наработки $t=15000$ ч требуется рассчитать математическое ожидание числа работоспособных устройств $\bar{N}_p(t)$, при общем числе находившихся в эксплуатации $N=80$.

Будем считать, что условия опыта, включающего N наблюдений, позволили однозначно определить вероятность безотказной работы объекта, т.е. $P(t)=1-F(t)$. Здесь $F(t)$ - функция распределения случайной величины «наработка до отказа», определяющая вероятность события $T \leq t$ при $N \rightarrow \infty$.

Тогда с учетом формулы (1) математическое ожидание числа объектов работоспособных к наработке, определяется как

$$\bar{N}_p(t) = P(t) \cdot N = \bar{N}_p(15000) = P^*(15000) \cdot 80 = 0,3 \cdot 80 = 24, \quad (4)$$

где N - объем партии объектов, определяемый по таблице 2.

5. Расчет средней наработки до отказа T_{cp} рассматриваемых изделий

Для вычислений среднего значения T_{cp} случайной величины T непосредственно по ее выборочным значениям $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$ используют формулу

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 14472 \text{ч}, \quad (5)$$

где n – количество отказавших объектов из партии N .

6. Построение гистограммы частот отказов и неисправностей

Примем количество интервалов равное $m=5$.

Наименьшее значение – 9328ч

Наибольшее значение – 19855ч.

Интервал $\frac{19855 - 9328}{5} = 2104$. Принимаем интервал = 2200 часов.

Таблица 1 – Преобразование значений наработки в статистический ряд

| | | | | | |
|--|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Диапазон наработки, часов | 9000-11200 | 11200-13400 | 13400-15600 | 15600-17800 | 17800-20000 |
| Количество отказов | 2 | 3 | 12 | 2 | 2 |
| Вероятность отказа на заданном интервале | 0,095 | 0,143 | 0,572 | 0,095 | 0,095 |

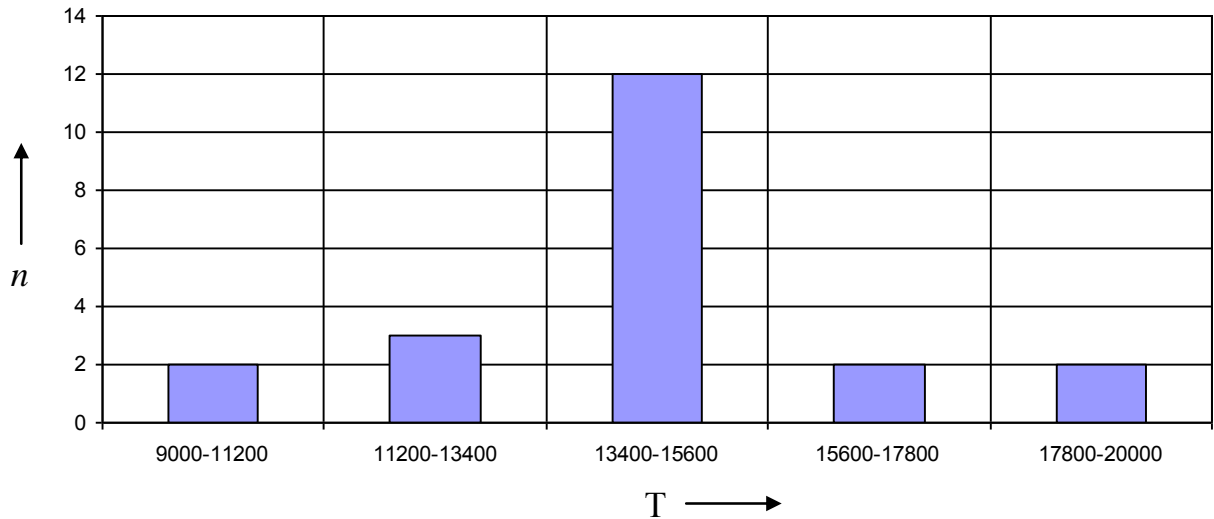


Рисунок 1 – Гистограмма частот отказов

7. Расчет интенсивности отказов $\lambda(t)$ для заданных значений t и Δt

Статистической оценкой интенсивности отказов рассчитываем по формуле:

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_{cp}}, \quad (6)$$

где $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ - среднее число исправно работающих объектов на интервале времени Δt ;

$n(\Delta t)$ - число отказавших объектов на интервале времени $\Delta t=2200$ ч.
 $n=12$;

N_i - число изделий, исправно работающих в начале интервала Δt , т.е. $N_3 = 16$ при $t=13400$ ч;

N_{i+1} - число изделий, исправно работающих в конце интервала Δt , т.е. $N_4=4$ при $t=15600$ ч;

Вычисляем интенсивность отказов на интервале времени, включающего момент $t=15000$ ч, т.е. интервал №3: 13400-15600 ч.

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t \cdot N_{cp}} = \frac{12}{2200 \cdot \frac{16+4}{2}} = \frac{12}{2200 \cdot 10} = 0,000545, \frac{1}{\text{час}}, \quad (7)$$

8. Расчет параметров для выборки с наблюдением до неудовлетворительного состояния

$N=22$ объекта.

$$P(15000) = \frac{N_p(15000)}{N} = \frac{1}{22} = 0,045 \quad (8)$$

$$Q(t) = \frac{N - N_p(t)}{N}, Q(15000) = \frac{21}{22} = 0,955, \quad (9)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 10245ч, \quad (10)$$

9. Выводы

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что среднее время наработки до отказа составляет 14472 часа, а до неудовлетворительного состояния – 10245 часов. Наибольшее число отказов происходит в интервале наработки от 13400 до 15600 часов. Таким образом, наиболее благоприятное время проведения планового обслуживания объекта должно находиться в интервале от 10245 до 13400 часов.

10. Ответы на теоретические вопросы

Даются ответы на поставленные вопросы.

Учебное издание

Зяц Юрий Александрович

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ
Методические указания по самостоятельному изучению дисциплины

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Обсуждено и одобрено на заседании кафедры информационных технологий и общеобразовательных дисциплин «27» сентября 2012 г., протокол № 2