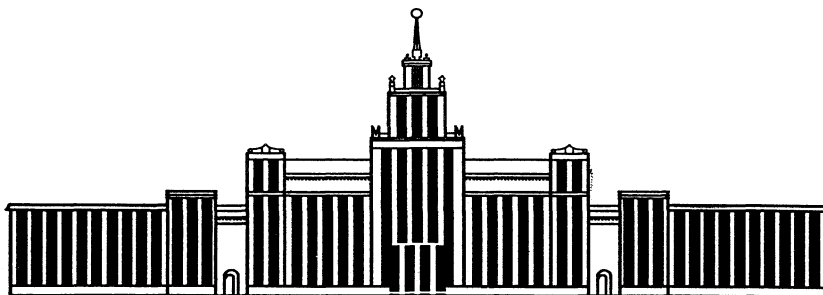

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

629.113(07)
Г124

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Методические указания к курсовой работе

Челябинск
2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»

629.113(07)

Г124

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Методические указания к курсовой работе

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2012

УДК 629.113.004.19 (076.5)
Г124

Одобрено
учебно-методической комиссией автотракторного факультета

Рецензент:
докт. техн. наук Лазарев В.Е.

Основы теории надежности: методические указания к курсовой работе / сост. К.В. Гаврилов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 26 с.

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы теории надежности» студентами всех форм обучения по направлению 190600 “Эксплуатация транспортно-технологических машин и оборудования”.

В методических указаниях содержатся варианты исходных данных, рекомендации и примеры выполнения заданий курсовой работы.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (проект № 2012044-Г305).

УДК 629.113.004.19 (076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Для специалиста в области наземного транспорта важное значение имеет знание вопросов надежности при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов (ТТМиК).

Изучение вопросов надежности принято разделять на три направления. К первому относят весь перечень вопросов общей теории надежности – научной дисциплины, изучающей общие закономерности отказов и восстановлений технических устройств. Ко второму направлению относят вопросы надежности отдельных элементов и устройств по профилю будущей работы студента. Третьим направлением является изучение методов и способов повышения надежности эксплуатируемых систем. В предлагаемом издании в основном рассматриваются вопросы первых двух направлений изучения теории надежности, необходимые для персонала, обслуживающего ТТМиК.

Цель данного пособия – обучить студентов методике решения задач, связанных с определением параметров надежности ТТМиК в целом и их систем, в отдельности.

В пособии представлен базовый материал для самостоятельной подготовки студентов к выполнению курсовой работы, который включает в себя краткие теоретические сведения, требования к оформлению, варианты заданий, а также примеры решения типовых задач.

Некоторые исходные данные и материалы для курсовой работы студент должен выбирать из справочников, Интернет-источников, что способствует приобретению навыков работы с технической информацией. Желательно, чтобы студент в процессе подготовки использовал и дополнительную литературу, приведенную в библиографическом списке пособия.

Курсовая работа оформляется в соответствии с требованиями СТО ЮУрГУ 17-2008 и защищается в установленном порядке.

Пособие можно использовать и в процессе подготовки к выпускному государственному экзамену для бакалавров, поскольку задачи, предлагаемые на госэкзамене, по уровню сложности и направленности во многом соответствуют заданиям курсовой работы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основные определения

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 [1] надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность объекта оценивается не только во время непосредственной эксплуатации, но и во время хранения, транспортирования и ремонтов. Поэтому надежность является сложным свойством и состоит из сочетания следующих составляющих:

- безотказности,
- долговечности,
- ремонтпригодности,
- сохраняемости.

Безотказность – это свойство системы при определённых условиях эксплуатации в течении заданного промежутка времени (пробега) не иметь отказов.

Долговечность – это свойство системы длительно с возможными перерывами на ремонт или техническое обслуживание (ТО) сохранять работоспособность до разрушения или другого предельного состояния (неэкономичность эксплуатации)

Сохраняемость – свойство системы сохранять показатели безотказности и долговечности в течении гарантийного срока и сразу после него.

Ремонтпригодность(эксплуатационная технологичность)- это свойство системы выражающееся в его способности предупредить, обнаружить неисправности и отказы.

Наработка – продолжительность эксплуатации системы, которая измеряется километрами пробега, часами работы или литрами израсходованного топлива.

Понятие работоспособности и отказа

Транспортно-технологическая машина (в частности, автомобиль) как и любое другое техническое устройство рассматривается как совокупность совместно действующих объектов, каждый из которых выполняет свои функции. Принято рассматривать две категории объектов:

- 1) система, состоящая из элементов.
- 2) элемент как конструктивно самостоятельная часть системы.

Элементами и системами могут быть различные части автомобиля. Если автомобиль – это система, то элементами могут быть: передний мост, коробка передач, двигатель внутреннего сгорания и т.д.

Простейшая система – это сопряжение вал-втулка, состоящее из двух элементов.

Автомобиль, его агрегаты и узлы обладают определенной структурой и в таком случае структурно-сложной системой называют совокупность элементов, рассматриваемых при их взаимодействии.

Структурная система характеризуется набором простых физических величин (параметров): зазор, натяг, шероховатость, отклонения формы и размеров и т.д.

Структурные параметры, будучи по своей природе внутренними, непосредственному измерению не подлежат. В процессе эксплуатации величины структурных параметров изменяются под действием случайных и неслучайных факторов [2].

Для нормального функционирования системы необходимо чтобы величины структурных параметров находились в поле допуска. Выход любого из параметров из поля допуска либо изменяет внешний вид системы, либо характер её функционирования, т.е. приводит к появлению её неисправностей.

В процессе функционирования системы структурные параметры проявляются внешне через выходные параметры. Последние могут быть измерены.

Выходные параметры связаны с величиной структурных параметров, поэтому отклонения выходных параметров от их нормативных значений могут рассматриваться как прямые или косвенные неисправности.

Выходные параметры принято делить на основные и вспомогательные.

Выходные параметры считаются основными, если от них зависят технико-эксплуатационные показатели автомобиля. Выходной параметр считается вспомогательным, если от него зависит лишь удобство эксплуатации и внешний вид системы.

В курсе технической эксплуатации любая система рассматривается в двух состояниях:

1. Состояние работоспособности.
2. Состояние отказа.

Работоспособность – это состояние системы, при котором она в рассматриваемый момент времени удовлетворяет всем требованиям нормативно технической документации по отношению к основным выходным параметрам.

Исправность – это состояние системы, при котором она в рассматриваемый момент времени удовлетворяет всем требованиям нормативно технической документации как по отношению к основным, так и по отношению к вспомогательным параметрам, т.е. автомобиль может быть работоспособным, но неисправным.

Утрата работоспособности системы происходит в результате изменения величины структурных параметров, причем утрата работоспособности может быть полной или частичной.

Полная утрата работоспособности означает, что система не может выполнять свои функции. Частичная утрата работоспособности наблюдается в случае, если работа системы сопровождается отклонением выходных параметров от нормативных. Полная или частичная утрата работоспособности системы называется отказом.

Классификация отказов

Отказ может быть полным или частичным, внезапным или постепенным.

Внезапный отказ очевиден и сразу обнаружится при отказе, постепенный отказ – результат медленного изменения величины структурного параметра (рис. 1.1) и может быть не обнаружен при проведении ТО.

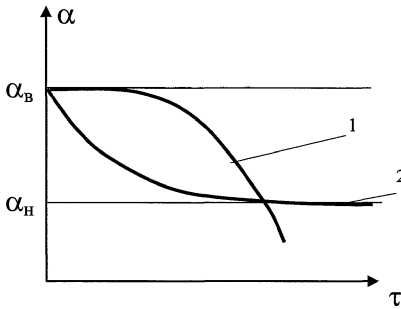


Рис. 1.1 Изменение структурного параметра α от наработки τ :
1 – внезапный отказ;
2 – постепенный отказ

В табл. 1.1 представлено процентное соотношение отказов в зависимости от их вида.

Таблица 1.1

Распределение отказов

Виды отказов и неисправностей	%	В том числе зависящие от профилактики (ТО), %
Постепенные отказы	52,5	65
Внезапные отказы	47,5	–
Условно-внезапные отказы	17,5	37

Кроме того, отказы могут быть зависимыми и независимыми.

Зависимый отказ – это результат другого отказа.

По причинам возникновения отказы делятся на:

- конструкционные;
- технологические;
- эксплуатационные;
- износные.

Конструкционный отказ – это результат ошибок и просчетов конструктора, отказ проявляется на первой стадии эксплуатации системы.

Технологический отказ – это результат ошибок и просчетов технологов в процессе изготовления и сборки. Эти отказы также проявляются на первой стадии эксплуатации системы.

Эксплуатационный отказ – это результат нарушения правил эксплуатации или несоответствия условий эксплуатации нормативам.

Износный отказ – результат старения системы.

По частоте появления отказы делятся:

- частые (3 – 4 тыс. км пробега);
- средние (4 – 16 тыс. км пробега);
- редкие (более 16 тыс. км пробега).

По трудоемкости устранения:

- с малой трудоемкостью (2 чел.час);

- со средней трудоемкостью (2 – 4 чел·час);
- с большой трудоемкостью (более 4 чел·час).

Необходимо отметить, что 85% отказов имеют малую и среднюю трудоемкость устранения.

По потере рабочего времени существуют:

- отказы, приводящие к нарушению транспортного процесса;
- отказы, не приводящие к нарушению транспортного процесса.

Отказы, обнаруженные при ТО, не приводят к нарушению транспортного процесса.

Характеристики надёжности систем автомобиля

Все системы автомобиля делятся на восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Восстанавливаемые системы – это системы, которые в случае отказа подлежат восстановлению путем регулировок или других ремонтных воздействий.

Невосстанавливаемые системы могут иметь только один отказ, поскольку их восстановить невозможно или неэкономично.

К характеристикам надёжности невосстанавливаемых систем относятся:

$Q(l)$ – вероятность отказа;

l – наработка;

$P(l)$ – вероятность безотказной работы;

$f(l)$ – частота отказов;

$\lambda(l)$ – интенсивность отказов;

\bar{l} – средняя наработка безотказной работы.

X – случайная величина (СВ), x – значение которое принимает СВ X .

Вероятность того, что СВ X попадет в интервал dx :

$$\text{Вер } \{x < X < (x+dx)\} = f(x)dx, \quad (1)$$

где $f(x)$ – плотность распределения СВ.

Свойства плотности распределения:

– неотрицательная;

– не убывает;

$$- \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1.$$

Второй важной характеристикой СВ является функция распределения $F(x)$, равная вероятности того, что СВ X не превзойдет конкретного значения x , т.е.

$$F(x) = \text{Вер } \{X < x\}. \quad (2)$$

Функция распределения записывается в следующем виде:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx. \quad (3)$$

Функция распределения связана с плотностью распределения выражением:

$$f(x) = F'(x). \quad (4)$$

Если мы сможем записать какое-то конкретное выражение для функции $F(x)$, значит мы будем знать закон распределения СВ.

Чаще всего закон распределения СВ удаётся записать в том или ином виде, если знать его характеристики:

- математическое ожидание (МО) СВ;
- дисперсию СВ.

МО обозначается через \bar{x} и определяется выражением:

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx. \quad (5)$$

Дисперсия СВ определяется выражением:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 f(x) dx. \quad (6)$$

Среднее квадратическое отклонение СВ: $\sigma = \sqrt{D}$.

Таким образом, зная выше указанные величины, можно записать нормальный закон распределения СВ:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}. \quad (7)$$

Пример нормального распределения плотности СВ приведен на рис. 2.1.

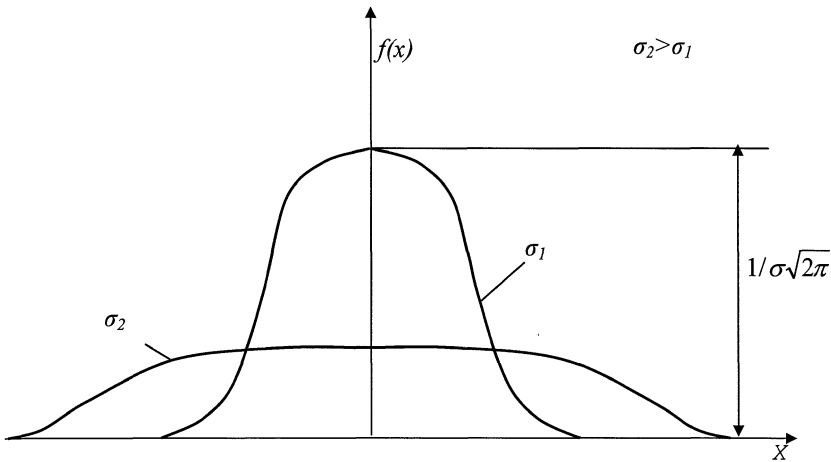


Рис. 2.1. Плотность распределения СВ

Вероятность отказа, вероятность безотказной работы

Вероятность отказа – это вероятность того, что случайная наработка безотказной работы L не превзойдет конкретного значения l и попадет на интервал от 0 до l , т.е.

$$Q(l) = \text{Вер}\{L \leq l\} = \int_0^l f(l) dl, \quad (8)$$

где $f(l)$ – плотность распределения наработки безотказной работы.

Вероятность безотказной работы связана с вероятностью отказов выражением:

$$P(l) = 1 - Q(l). \quad (9)$$

Анализируя выражение (9) заключаем, что зависимость вероятности безотказной работы от наработки – это кривая убывающая (рис. 3.1).

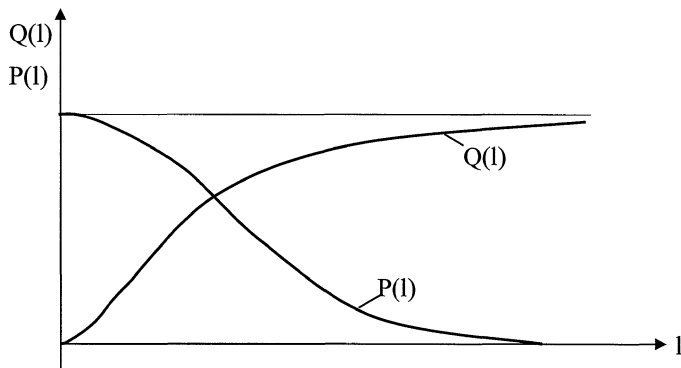


Рис. 3.1. Зависимости вероятности отказа $Q(l)$ и вероятности безотказной работы $P(l)$ от наработки

Переходя от математических характеристик СВ к характеристикам надежности, запишем выражения для их определения:

– средняя наработка безотказной работы:

$$\bar{l} = \int_0^{\infty} l f(l) dl; \quad (10)$$

– дисперсия:

$$D(l) = \int_0^{\infty} (l - \bar{l})^2 f(l) dl. \quad (11)$$

Если известны статистические параметры функционирования системы, такие как подконтрольное количество невосстанавливаемых изделий (N_0), число отказавших изделий ($n(l)$), вероятность отказа и вероятность безотказной работы можно определить по формулам:

$$Q(l) = \frac{n(l)}{N_0}, \quad (12)$$

$$P(l) = 1 - \frac{n(l)}{N_0} = \frac{N_0 - n(l)}{N_0}. \quad (13)$$

Частота отказов

Частота отказов – это скорость изменения вероятности отказов:

$$f(l) = \frac{dQ(l)}{dl}. \quad (14)$$

Поскольку $Q(l) + P(l) = 1$, тогда можем записать:

$$f(l) = -\frac{dP(l)}{dl}. \quad (15)$$

По результатам статистических испытаний частота отказов выражается формулой:

$$f(l) = \frac{\Delta n(l)}{\Delta l \cdot N_0}, \quad (16)$$

где $\Delta n(l)$ – число систем, отказавших в узком промежутке наработки Δl ,

N_0 – число систем, первоначально поставленных под наблюдение.

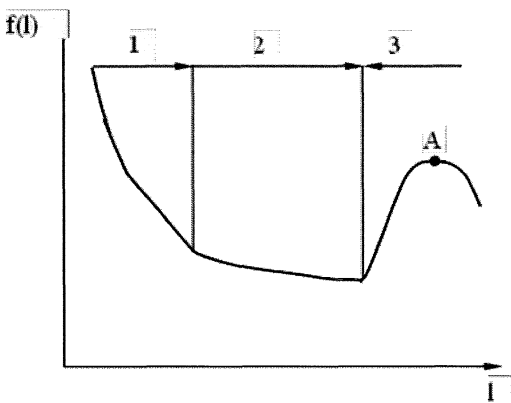


Рис. 4.1. Изменение частоты отказов от наработки:

1. Приработка. Преобладают конструкционные и технологические отказы.
2. Участок нормальной эксплуатации. Преобладают внезапные отказы. Частота отказов снижается.
3. Участок старения. Частота отказов быстро возрастает до т. А

Интенсивность отказов

Интенсивность отказов – это условная вероятность того, что элемент или система откажет в промежутке наработки Δl следующим за наработкой l при условии, что на начало этого промежутка Δl , система не откажет.

$$\lambda(l) = \frac{\Delta n(l)}{\Delta l [N_0 - n(l)]}, \quad (17)$$

где $n(l)$ – число систем, отказавших на начало рассматриваемого участка Δl .

Поскольку частота отказов и вероятность безотказной работы выражают одно и тоже свойство его надёжности, то между ними должна быть какая-то связь, в частности, следующая зависимость:

$$-P'(l) = f(x). \quad (18)$$

График интенсивности отказов приведен на рис. 5.1.

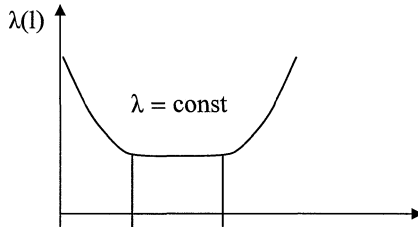


Рис. 5.1. Изменение интенсивности отказов от наработки:

Средняя наработка безотказной работы

Учитывая, что математическое ожидание случайной величины определяется по формуле (5) получим на основании этого выражение для средней наработки безотказной работы.

$$\bar{l} = \int_0^{\infty} l f(l) dl = - \int_0^{\infty} l \frac{dP(l)}{dl} dl = \left. \frac{dP(l)}{dl} dl = dV; V = P(l) \right|_{U=l; dU=dl} = \underbrace{-lP(l)}_0 \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(l) dl.$$

Таким образом средняя наработка безотказной работы определится из выражения:

$$\bar{l} = \int_0^{\infty} P(l) dl. \quad (18)$$

Чтобы на кривой убыви найти среднюю наработку безотказной работы надо построить прямоугольник с площадью S , равновеликой площади под кривой убыви (рис. 6.1).

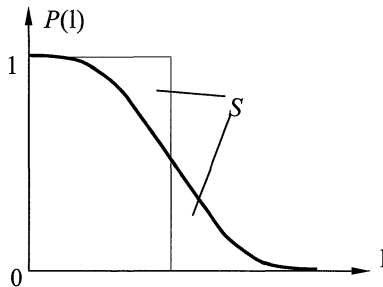


Рис. 6.1. Зависимость вероятности безотказной работы от наработки

Необходимо отметить, что для невосстанавливаемых систем средняя наработка на отказ может называться и средней наработкой до первого отказа.

Связь между характеристиками надёжности невосстанавливаемых систем

Разделим числитель и знаменатель выражения (17) на $N_0 \Delta l$. Получим:

$$\lambda(l) = \frac{\Delta n(l)}{N_0 \Delta l} / \frac{\Delta [N_0 - n(l)]}{N_0 \Delta l} = \frac{f(l)}{P(l)} = \frac{\frac{dQ(l)}{dl}}{P(l)} = - \frac{dP(l)}{P(l)}.$$

Перепишем полученное выражение и возьмем интегралы от левой и правой частей:

$$\int_0^l -\lambda(l) dl = \int_0^l \frac{dP(l)}{P(l)}. \quad (19)$$

Результатом решения уравнения (19) будет зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов:

$$P(l) = e^{-\int_0^l \lambda(l) dl}. \quad (20)$$

Выражение (20) представляет собой закон надёжности невосстанавливаемых систем.

Если надёжность системы рассматривается на 2-ом участке нормальной работы кривой интенсивности отказа (см. рис.4), где $\lambda = \text{const}$, тогда выражение (20) сводится к формуле:

$$P(l) = e^{-\lambda l}. \quad (21)$$

Выражение (21) представляет собой экспоненциальный закон надёжности невосстанавливаемых систем.

Экспоненциальный закон надёжности

Если наработка безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону, то плотность распределения определяется по формуле:

$$f(l) = \frac{1}{l_0} \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right), \quad (22)$$

где l_0 - параметр экспоненциального закона.

Тогда

$$\begin{aligned} F(l) &= \text{Вер}\{L \leq l\} = \int_0^l f(l) dl = \int_0^l \frac{1}{l_0} \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) dl = - \int_0^l \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) d\left(-\frac{l}{l_0}\right) = \\ &= - \int_0^l \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) d\left(-\frac{l}{l_0}\right) = - \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) \Big|_0^l = 1 - \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right). \end{aligned}$$

Таким образом, при экспоненциальном законе надёжности вероятность отказа $Q(l)$ и вероятность безотказной работы $P(l)$ определяются:

$$Q(l) = 1 - \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right), \quad (23)$$

$$P(l) = \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right). \quad (24)$$

С учетом выражений (21) и (24) определяем, что $\lambda = \frac{1}{l_0}; l_0 = \frac{1}{\lambda}$.

С учетом выражения (18) получим:

$\bar{l} = \int_0^{\infty} P(l) dl = \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) dl = l_0 \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) d\left(-\frac{l}{l_0}\right) = l_0 \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) \Big|_0^{\infty} = l_0$, из которого следует, что параметр экспоненциального закона l_0 является средней арифметической величиной.

Принимая во внимание выражения (5) и (22) запишем:

$$\bar{l} = \int_0^{\infty} l f(l) dl = \int_0^{\infty} l \frac{1}{l_0} \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) dl = l_0. \quad (25)$$

По аналогии с (5), опуская математические выкладки, запишем выражение для дисперсии:

$$D(l) = \int_0^{\infty} (l - \bar{l})^2 f(l) dl = \dots = l_0^2. \quad (26)$$

Раскладывая в ряд Тэйлора выражение (21) и, учитывая малые величины значений членов ряда по сравнению с первыми двумя, запишем приближенное выражение для экспоненциального закона:

$$P(l) = e^{-\lambda l} = 1 - \lambda l + \frac{(\lambda l)^2}{2} - \frac{(\lambda l)^3}{3} + \dots \approx 1 - \lambda l. \quad (27)$$

Обычно при решении практических задач интересной является область, где $P(l) \geq 0,9; \lambda l \leq 0,1$.

2. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Структура курсовой работы:

1. Титульный лист, на котором указываются название учебного заведения, вид выполняемого задания и его тема, фамилия, имя и отчество студента, его учебный шифр, номер учебной группы и дата выполнения работы.

2. Оглавление.

3. Введение, в котором следует указать показатели надежности невосстанавливаемых систем автомобиля, требования к автомобилю с точки зрения надежности и безопасности. Тенденции развития автомобилей и проблемы надежности. Эффективность повышения надежности (1 – 2 с.).

4. Расчетно-пояснительная записка решения трех задач.

5. Описание оборудования и технологии проверки автомобиля на стенде в соответствии с вариантом задания.

6. Список использованной литературы.

Исходные данные выбираются согласно шифра студента (две последние цифры) и приводятся в начале решения каждой задачи.

Общий объем курсовой работы не должен превышать 20 листов формата А4. Текст пишется на одной стороне листа с полями шириной 20 мм. Листы пояснительной записки должны быть пронумерованы. Необходимые пояснения должны быть изложены кратко, без повторений. Размерность всех физических величин должна быть указана в соответствии с системой СИ.

При наличии замечаний исправления делаются на чистой стороне листа рядом с замечаниями.

3. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

ЗАДАЧА №1

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы.

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	Заданные показатели надежности	Определить
1	$Q(t) = 1 - (3\lambda e^{-\lambda t} - 3\lambda e^{-2\lambda t} + \lambda e^{-3\lambda t})$	$\bar{i}, P(t)$
2	$P(t) = e^{-kt} \cdot \exp[\ln(1 - \frac{1}{2}e^{-kt})] \cdot e^{-\ln \frac{1}{2}}$	$\bar{i}, \lambda(t)$
3	$\lambda(t) = \frac{k^2 t}{1 + kt}$	$\bar{i}, P(t)$
4	$\lambda(t) = k \frac{(e^{-kt} - 1)}{\frac{1}{2}e^{-kt} - 1}$	$\bar{i}, a(t)$
5	$a(t) = k^2 t \cdot e^{-kt}$	$\bar{i}, P(t)$
6	$Q(t) = 1 - \exp[-kt + \ln(1 + kt)]$	$\bar{i}, \lambda(t)$
7	$\lambda(t) = \frac{k^2 t}{1 + kt}$	$\bar{i}, a(t)$
8	$a(t) = 12ke^{-2kt} (1 - e^{-kt})$	$\bar{i}, \lambda(t)$
9	$a(t) = 2e^{-kt} - 2e^{-2kt}$	$\bar{i}, \lambda(t)$
10	$P(t) = \frac{1}{\exp(-\ln \frac{1}{2})} \cdot \frac{\exp\left[\ln\left(1 - \frac{1}{2}e^{-kt}\right)\right]}{e^{kt}}$	$\bar{i}, \lambda(t)$
11	$Q(t) = 1 - (3ke^{-kt} - 3ke^{-2kt} + ke^{-3kt});$	$\bar{i}, a(t)$
12	$Q(t) = 1 - (3\lambda e^{-\lambda t} - 3\lambda e^{-3\lambda t} + \lambda e^{-2\lambda t});$	$\bar{i}, P(t)$
13	$Q(t) = 1 - 3e^{-kt} + 2e^{-2kt};$	$\bar{i}, a(t)$

Окончание табл. 3.1

Вариант	Заданные показатели надежности	Определить
14	$\lambda(t) = k \frac{(e^{-kt} - 1)}{\frac{1}{2}e^{-kt} - 1}$	$\bar{i}, P(t)$
15	$a(t) = 12ke^{-2kt}(1 - e^{-kt})$	$\bar{i}, P(t)$
16	$Q(t) = 1 - (3\lambda e^{-\lambda t} - 3\lambda e^{-2\lambda t} + \lambda e^{-3\lambda t})$	$\bar{i}, a(t)$
17	$Q(t) = 1 - \exp[-kt + \ln(1 + kt)]$	$\bar{i}, P(t)$
18	$a(t) = k^2 t \cdot e^{-kt}$	$\bar{i}, \lambda(t)$
19	$P(t) = \frac{1}{\exp(-\ln \frac{1}{2})} \cdot \frac{\exp\left[\ln\left(1 - \frac{1}{2}e^{-kt}\right)\right]}{e^{kt}}$	$\bar{i}, Q(t)$
20	$a(t) = 2e^{-kt} - 2e^{-2kt}$	$\bar{i}, P(t)$
21	$Q(t) = 1 - (3ke^{-kt} - 3ke^{-2kt} + ke^{-3kt});$	$\bar{i}, a(t)$
22	$P(t) = e^{-kt} \cdot \exp\left[\ln\left(1 - \frac{1}{2}e^{-kt}\right)\right] \cdot e^{-\frac{1}{2}}$	$\bar{i}, a(t)$
23	$\lambda(t) = \frac{k^2 t}{1 + kt}$	$\bar{i}, P(t)$
24	$Q(t) = 1 - 3e^{-kt} + 2e^{-2kt};$	$\bar{i}, a(t)$
25	$\lambda(t) = k \frac{(e^{-kt} - 1)}{\frac{1}{2}e^{-kt} - 1}$	$\bar{i}, a(t)$

ЗАДАЧА №2

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы.

Таблица 3.2

Исходные данные

Вариант	Условие задачи
1	Определить какова должна быть средняя наработка до отказа \bar{t} объекта, чтобы вероятность безотказной работы была не менее 0,99 в течении наработки $t=300$ ч. Закон надёжности экспоненциальный.
2	Сравнить значения средней наработки до отказа двух невосстанавливаемых объектов с законами надёжности: $P_1(t) = \exp[-2 \cdot 10^{-3} t]$; $P_2(t) = 0.2 \exp[-3 \cdot 10^{-3} t] + 0.8 \exp[-10^{-3} t]$;

Продолжение табл. 3.2

Вариант	Условие задачи
3	Вероятность безотказной работы объекта в течение наработки 100 ч равна 0,98. Действует экспоненциальный закон надёжности. Определить приближенно среднюю наработку безотказной работы.
4	Испытаниям подверглись 500 одинаковых двигателей. Через 150 ч работы отказали 30 двигателей, а через 200 ч работы вышли из строя 34 двигателя. Определить частоту и интенсивность отказов в промежутке времени 150-200ч.
5	В авторалли участвуют 200 автомобилей. Средняя наработка на отказ 50тыс. км. Сколько автомобилей доедет до финиша, если известно, что отказы внезапные, а протяженность марафона 10 тыс. км.?
6	В авторалли участвовало 100 автомобилей. На пробеге в 10 тыс. км. отказало 30 автомобилей. Сколько автомобилей откажет через 15 тыс. км, если известно, что это внезапные отказы?
7	В автомарафоне участвуют 150 автомобилей. Интенсивность отказов 0,3. Сколько автомобилей откажет на 30 тыс.км, если известно, что отказы внезапные?
8	В автомарафоне участвуют 150 автомобилей. На интервале 5 тыс. км. отказало 15 автомобилей. Какова средняя наработка на отказ и интенсивность отказов, если известно, что это внезапные отказы ?
9	В автомарафоне участвуют 150 автомобилей. Интенсивность отказов 0,02. Сколько автомобилей откажет на 30 тыс.км, если известно, что отказы внезапные?
10	В авторалли участвуют 150 автомобилей. На интервале 5 тыс. км отказало 15 автомобилей. Какова средняя наработка на отказ и интенсивность отказов, если известно, что это внезапные отказы ?
11	В авторалли участвуют 100 автомобилей. Средняя наработка на отказ 30 тыс. км. Сколько автомобилей не доедет до финиша, если известно, что отказы внезапные, а протяженность марафона 8 тыс. км ?
12	Испытаниям подверглись 500 одинаковых двигателей. Через 200 ч работы вышли из строя 30 двигателей. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа двигателя.
13	В авторалли участвует 150 автомобилей. На 40 тыс. км отказало 75 автомобилей. Определить, на каком пробеге откажет 80% автомобилей, если известно, что отказы внезапные, а протяженность марафона 100тыс.км?

Окончание табл. 3.2

Вариант	Условие задачи
14	Испытаниям подверглись 300 ДВС. Через 150 часов работы отказало 20 ДВС. Определить вероятность отказа и вероятность безотказной работы при наработке 200 часов.
15	В авторалли участвовало 100 автомобилей. На пробеге в 10 тыс.км. отказало 30 автомобилей. Сколько автомобилей откажет через 15 тыс.км, если известно, что это внезапные отказы?
16	Какова должна быть средняя наработка до отказа, чтобы в течение наработки от 0 до 20 тыс.км вероятность отказа равнялась 0,1?
17	Испытаниям подверглись 500 одинаковых двигателей. Через 200 ч работы вышли из строя 30 двигателей. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа двигателя.
18	В авторалли участвовало 100 автомобилей. На интервале 0...3 тыс. км отказало 30 автомобилей. Сколько автомобилей откажет при пробеге 7 тыс.км, если известно, что это внезапные отказы?
19	В автомарафоне участвуют 200 автомобилей. Средняя наработка на отказ 80 тыс.км. Сколько автомобилей доедет до финиша, если известно, что это внезапные отказы, а протяженность марафона 30 тыс.км?
20	Испытаниям подверглись 300 ДВС. Через 150 часов работы отказало 20 ДВС. Определить вероятность отказа и вероятность безотказной работы при наработке 200 часов.
21	Испытаниям подверглись 500 одинаковых двигателей. Через 100 ч работы отказали 20 двигателей, а через 150 ч работы вышли из строя еще 30 двигателей. Определить показатели надежности в промежутке от 100 до 150ч.
22	Определить значение средней наработки до отказа, при условии, чтобы в течении 100 часов вероятность безотказной работы была не менее 0,96. Закон надежности экспоненциальный.
23	В авторалли участвуют 100 автомобилей. Средняя наработка на отказ 30 тыс. км. Сколько автомобилей не доедет до финиша, если известно, что отказы внезапные, а протяженность марафона 8 тыс. км ?
24	Испытаниям подверглись 300 ДВС. Через 150 часов работы отказало 20 ДВС. Определить вероятность отказа и вероятность безотказной работы при наработке 200 часов.
25	Какова должна быть средняя наработка до отказа, чтобы в течение наработки 20 тыс.км вероятность отказа равнялась 0,1?

ЗАДАЧА №3

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы по результатам статистических испытаний.

Условие задачи.

На испытание поставлено N изделий. Число отказов фиксировалось в интервале Δt часов. Данные об отказах приведены в табл.3.4. – 3.9 в зависимости от варианта задания (табл.3.3). Определить $\bar{P}(t), \bar{a}(t), \bar{\lambda}(t)$, построить графики.

Таблица 3.3

Определение номера таблицы

Вариант	Номер таблицы	Вариант	Номер таблицы
1 – 4	3.4	13 – 17	3.7
5 – 8	3.5	18 – 21	3.8
9 – 12	3.6	22 – 25	3.9

Таблица 3.4

Исходные данные

$N=1000, \Delta t = 500$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-500	145	3000-3500	51	6000-6500	60
500-1000	86	3500-4000	45	6500-7000	75
1000-1500	77	4000-4500	41	7000-7500	62
1500-2000	69	4500-5000	37	7500-8000	42
2000-2500	62	5000-5500	33	8000-8500	16
2500-3000	56	5500-6000	35		

Таблица 3.5

Исходные данные

$N=500, \Delta t = 50$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-50	72	300-350	25	600-650	30
50-100	43	350-400	23	650-700	35
100-150	39	400-450	24	700-750	31
150-200	35	450-500	15	750-800	21
200-250	31	500-550	16	800-850	15
250-300	25	550-600	20		

Таблица 3.6

Исходные данные

N=50, $\Delta t = 5$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-5	2	30-35	3	60-65	2
5-10	4	35-40	3	65-70	3
10-15	5	40-45	2	70-75	2
15-20	2	45-50	1	75-80	3
20-25	3	50-55	1	80-85	3
25-30	4	55-60	2	85-90	2

Таблица 3.7

Исходные данные

N=40, $\Delta t = 5$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-5	1	30-35	3	60-65	2
5-10	2	35-40	2	65-70	1
10-15	5	40-45	0	70-75	3
15-20	2	45-50	1	75-80	1
20-25	4	50-55	0	80-85	1
25-30	3	55-60	0	85-90	3

Таблица 3.8

Исходные данные

N=700, $\Delta t = 50$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-50	32	300-350	28	600-650	30
50-100	25	350-400	22	650-700	35
100-150	26	400-450	34	700-750	31
150-200	31	450-500	19	750-800	21
200-250	38	500-550	17	800-850	15
250-300	27	550-600	25		

Таблица 3.9

Исходные данные

N=800, $\Delta t = 500$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-500	125	3000-3500	51	6000-6500	50

Окончание табл. 3.9

$N=1000 \quad \Delta t = 500 \text{ ч}$					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
500-1000	83	3500-4000	44	6500-7000	73
1000-1500	75	4000-4500	39	7000-7500	64
1500-2000	59	4500-5000	32	7500-8000	49
2000-2500	52	5000-5500	29	8000-8500	10
2500-3000	59	5500-6000	35		

ЗАДАЧА №4

Описание оборудования и технологии проверки автомобиля на стенде

В соответствии с вариантом задания (табл. 3.10) необходимо описать устройство и принцип работы диагностического оборудования, описать технологию проверки указанного в варианте автомобиля на стенде.

Таблица 3.10**Исходные данные**

Вариант	Оборудование, автомобиль	Вариант	Оборудование, автомобиль
1 – 4	Тормозной стенд, ГАЗ 3110	13 – 17	Люфтомер, Шкода Октавия
5 – 8	Люфт-детектор, Лада Гранта	18 – 21	Прибор проверки токсичности отработавших газов, Лада Ларгус
9 – 12	Прибор проверки света фар, Фольксваген Туарег	22 – 25	Прибор проверки дымности, КАМАЗ-5511

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА ТИПОВОГО ВАРИАНТА**ЗАДАЧА №1**

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы.

Условие задачи.

Вероятность безотказной работы выражается формулой:

$$P(t) = 3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t}; \text{Найти: } a(t); \lambda(t); \bar{t}.$$

$$a(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = 3\lambda e^{-\lambda t} - 6\lambda e^{-2\lambda t} + 3\lambda e^{-3\lambda t} = 3\lambda e^{-\lambda t} (1 - 2e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}) = 3e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^2;$$

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{3\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^2}{3e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t} + \frac{1}{3}e^{-2\lambda t})} = \frac{\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{1 - e^{-\lambda t} + \frac{1}{3}e^{-2\lambda t}};$$

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} 3e^{-\lambda t} dt - \int_0^{\infty} 3e^{-\lambda t} dt \Big|_0^{\infty} e^{-3\lambda t} dt = -\frac{3}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} + \frac{3}{2\lambda} e^{-2\lambda t} \Big|_0^{\infty} - \frac{3}{3\lambda} e^{-3\lambda t} \Big|_0^{\infty} = \frac{11}{6\lambda};$$

Ответ: $a(t) = 3\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^2$; $\lambda(t) = \frac{\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{1 - e^{-\lambda t} + \frac{1}{3}e^{-2\lambda t}}$; $\bar{t} = \frac{11}{6\lambda}$;

ЗАДАЧА №2

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы.

Условие задачи.

Определить какова должна быть средняя наработка до отказа объекта, чтобы вероятность безотказной работы была не менее 0,99 в течении наработки $t=300$ ч. Закон надёжности экспоненциальный.

Поскольку закон надёжности экспоненциальный, запишем выражение:

$$P(t) = \exp[-\lambda t] = \exp\left[-\frac{t}{\bar{t}}\right] \approx 1 - \frac{t}{\bar{t}}, \text{ поэтому } \bar{t} \geq \frac{t}{1 - P(t)} = \frac{300}{1 - 0,99} = 3 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

Ответ: $\bar{t} \geq 3 \cdot 10^4$ ч.

ЗАДАЧА №3

Расчет показателей надежности невосстанавливаемой системы по результатам статистических испытаний.

Условие задачи.

На испытание поставлено $N=50$ изделий. Число отказов фиксировалось в интервале $\Delta t = 5$ часов. Данные об отказах приведены в табл. 3.11

Определить $P(t)$, $\lambda(t)$, $a(t)$, построить графики.

Таблица 3.11

Исходные данные

$N=50, \Delta t = 5$ ч					
Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-5	1	30-35	4	60-65	3
5-10	5	35-40	3	65-70	3
10-15	5	40-45	0	70-75	3
15-20	2	45-50	1	75-80	1
20-25	5	50-55	0	80-85	2
25-30	6	55-60	0	85-90	3

1. Вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} = \frac{N - n(t)}{N}.$$

Подставляем в эту формулу значение $N=50$ и, учитывая, что рассматриваются невосстанавливаемые системы, на каждом участке рассчитываем вероятность безотказной работы, исключая из рассмотрения отказавшие изделия $n(t)$ на предыдущем интервале Δt .

$$P_1(t) = 1 - \frac{1}{50} = 0,98 ;$$

$$P_2(t) = 1 - \frac{1 + 5}{50} = 0,88 ;$$

$$P_3(t) = 1 - \frac{1 + 5 + 5}{50} = 0,78 ;$$

$$P_4(t) = 1 - \frac{1 + 5 + 5 + 2}{50} = 0,74 ;$$

$$P_5(t) = 1 - \frac{1 + 5 + 5 + 2 + 5}{50} = 0,64 \text{ и т.д.}$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.12, на основании которой строится зависимость вероятности безотказной работы от времени $P(t)$.

Таблица 3.12

Вероятность безотказной работы

Δt_i , час	$P(t)$	Δt_i , час	$P(t)$
0-5	0,98	45-50	0,36
5-10	0,88	50-55	0,36
10-15	0,78	55-60	0,36
15-20	0,74	60-65	0,3
20-25	0,64	65-70	0,24
25-30	0,52	70-75	0,18
30-35	0,44	75-80	0,16
35-40	0,38	80-85	0,12
40-45	0,38	85-90	0,06

2. Частота отказов определяется по формуле:

$$a(t) = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N}.$$

Подставляем в эту формулу значение $N=50$ и число отказавших изделий $\Delta n(t)$ на конкретном интервале Δt .

$$a_1(t) = \frac{1}{5 \cdot 50} = 0,004 \text{ 1/ч;}$$

$$a_2(t) = \frac{5}{5 \cdot 50} = 0,02 \text{ 1/ч;}$$

$$a_3(t) = \frac{5}{5 \cdot 50} = 0,02 \text{ 1/ч};$$

$$a_4(t) = \frac{2}{5 \cdot 50} = 0,008 \text{ 1/ч};$$

$$a_5(t) = \frac{5}{5 \cdot 50} = 0,02 \text{ 1/ч и т.д.}$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.13, на основании которой строится зависимость частоты отказов от времени $a(t)$.

Таблица 3.13

Вероятность безотказной работы

Δt_i , час	$a(t)$, 1/ч	Δt_i , ч	$a(t)$, 1/ч
0-5	0,004	45-50	0,004
5-10	0,02	50-55	0
10-15	0,02	55-60	0
15-20	0,008	60-65	0,012
20-25	0,02	65-70	0,012
25-30	0,024	70-75	0,012
30-35	0,016	75-80	0,004
35-40	0,012	80-85	0,008
40-45	0	85-90	0,012

3. Интенсивность отказов определяется по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot (N - n(t))}.$$

Подставляем в эту формулу значение $N=50$ и число отказавших изделий $\Delta n(t)$ на конкретном интервале Δt . На каждом интервале исключаем из рассмотрения число систем $n(t)$, отказавших на начало рассматриваемого интервала Δt .

$$\lambda_1(t) = \frac{1}{5 \cdot (50 - 0)} = 0,004 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_2(t) = \frac{5}{5 \cdot (50 - 1)} = 0,02 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_3(t) = \frac{5}{5 \cdot (50 - 6)} = 0,023 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_4(t) = \frac{2}{5 \cdot (50 - 11)} = 0,011 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_4(t) = \frac{5}{5 \cdot (50 - 13)} = 0,027 \text{ 1/ч и т.д.}$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.14, на основании которой строится зависимость интенсивности отказов от времени $\lambda(t)$.

Таблица 3.14

Вероятность безотказной работы

Δt_i , час	$\lambda(t)$, 1/ч	Δt_i , ч	$\lambda(t)$, 1/ч
0-5	0,004	45-50	0,011
5-10	0,020	50-55	0
10-15	0,023	55-60	0
15-20	0,010	60-65	0,033
20-25	0,027	65-70	0,040
25-30	0,038	70-75	0,050
30-35	0,031	75-80	0,022
35-40	0,027	80-85	0,050
40-45	0	85-90	0,100

ЗАДАЧА №4

Описание оборудования и технологии проверки автомобиля на стенде

В соответствии с вариантом задания (табл. 3.10) описывается устройство и принцип работы диагностического оборудования с приведением иллюстрационного материала. Диагностическое оборудование должно удовлетворять требованиям проверки конкретного автомобиля, указанного в таблице для соответствующего варианта задания.

Технология проверки указанного в варианте автомобиля на стенде должна включать подготовительные работы и основные работы по проверке, которые оформляются в виде таблицы, содержащей графы, указанные в таблице 3.15.

Таблица 3.15

Технологическая карта проверки автомобиля на стенде

Операция	Оборудование, приспособления	Технические требования	Трудоемкость, чел.·ч
...

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения.
2. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Наука, 2001.– 353 с.
3. Основы конструкции автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский и др. – М.: ООО «КЖИ «За рулем», 2005. – 336 с.
4. Автомобильный справочник Bosch / пер. с англ. Г.С. Дугина и др. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.
5. Рабочие процессы и основы расчета автомобилей: электронный учебник / Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, Д.Ю. Иванов, А.С. Фишер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретические сведения.....	4
2. Оформление курсовой работы.....	13
3. Задание на курсовую работу.....	14
4. Пример расчета типового варианта.....	20
Библиографический список.....	25

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Методические указания к курсовой работе

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 03.07.2012. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,63. Тираж 100 экз. Заказ 515/609.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.