

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Ю. В. БАЖЕНОВ М. Ю. БАЖЕНОВ
В. П. КАЛЕНОВ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Практикум

Допущено Федеральным УМО по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 23.00.00 – «Техника и технологии наземного транспорта» в качестве учебного пособия для обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», уровень образования – «бакалавриат», 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», уровень образования – «магистратура»



Владимир 2021

УДК 656.13
ББК 39.33-01
Б16

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой производства и ремонта автомобилей и дорожных машин
Московского автомобильно-дорожного государственного
технического университета (МАДИ)
В. А. Зорин

Доктор технических наук, профессор
профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А. Н. Гоц

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Баженов, Ю. В.

Б16 Основы теории надежности : практикум / Ю. В. Баженов,
М. Ю. Баженов, В. П. Каленов ; Владим. гос. ун-т. им. А. Г. и
Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021. – 128 с.
ISBN 978-5-9984-1421-3

Представлено 12 работ, каждая из которых содержит общие сведения о надежности машин, а также контрольные задания и тесты, направленные на проверку знаний обучающихся.

Предназначено для студентов высших учебных заведений направлений подготовки 23.03.03 и 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 27. Ил. 36. Библиогр.: 30 назв.

УДК 656.13
ББК 39.33-01

ISBN 978-5-9984-1421-3

© ВлГУ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения высокого уровня потребительских свойств автотранспортной техники, ее долговечности, безотказности и ремонтпригодности непрерывно обостряется, поэтому именно надежность определяет перспективы развития отечественного машиностроения в условиях острой конкуренции как внутри страны, так и с зарубежными производителями автомобилей. Недостаточный уровень надежности машин существенно снижает их производительность из-за простоев в связи с ремонтом.

Для освоения дисциплин учебного плана «Основы теории надежности» и «Эксплуатационная надежность колесных транспортных машин» каждому студенту предлагается выполнить необходимое количество практических работ, каждая из которых содержит общие сведения о надежности машин, задания и пример их выполнения, контрольные вопросы.

Практическая ценность представленных в практикуме вопросов подтверждается тем, что для решения проблемы повышения надежности автотранспортных средств требуется, прежде всего, достоверная, систематическая информация по их отказам и неисправностям, фактическим ресурсам, расходам запасных частей, трудоемкостям обслуживания и ремонта. Обработка и анализ такой информации позволяют оценить уровень фактической надежности той или иной модели автомобиля, агрегата, системы, выявить слабые места в конструкции, разработать конкретные мероприятия по поддержанию автотранспортных средств в работоспособном состоянии.

Отчеты по работам выполняют в сжатой форме в соответствии с ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам» на листах формата А4 (297 × 210 мм). Сокращение слов в работе не допускается за исключением установленных ГОСТ 2.316-89.

Выполнение работ позволит студентам освоить блок компетенций по определению уровня надежности транспортных машин, выявлению закономерностей изменения параметров машин по наработке, обработке информации об отказах и неисправностях, определению нормативных значений диагностических параметров, оценке состояния машин методами диагностики (профессиональные компетенции ПК-5, ПК-8, ПК-9, ПК-15, ПК-16, ПК-31).

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ

Цель работы:

- изучить термины и определения теории надежности;
- освоить методику расчета комплексных показателей для оценки надежности транспортных машин.

Общие сведения и понятия о надежности

Любое техническое устройство, в том числе и автомобиль, характеризуется определенными выходными параметрами, т. е. величинами, определяющими показатели качества.

В соответствии с ГОСТ 15467-79 под **качеством** изделия понимают совокупность свойств, обуславливающих его пригодность для выполнения им своего функционального назначения. Применительно к автомобилям основные свойства, характеризующие их качество, – надежность, безопасность, динамичность, производительность, топливная экономичность и др.

Каждое из этих свойств оценивается одним или несколькими выходными *параметрами*, которые в процессе эксплуатации принимают различные количественные значения, именуемые *показателями*. Таким образом, при анализе и оценке качества автомобилей последовательно рассматривается цепочка свойств, параметров и показателей, представленная на рис. 1.

Важнейшее свойство любой машины, позволяющее количественно оценить изменение показателей качества во времени, – это надежность. Под **надежностью автомобиля** принято понимать его свойство выполнять транспортную работу, сохраняя во времени или по пробегу эксплуатационные показатели в требуемых пределах.

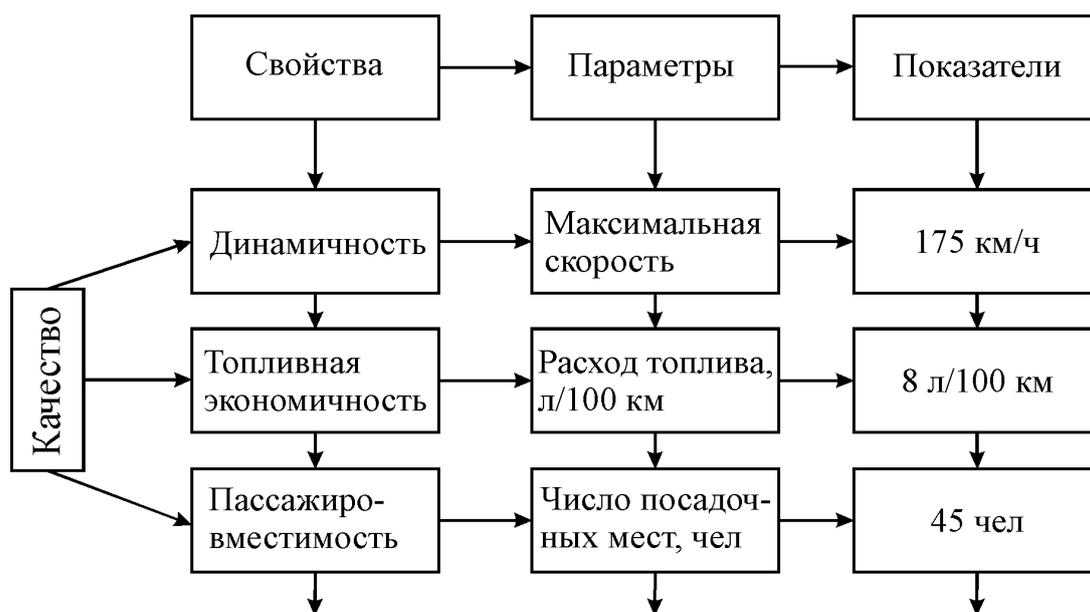


Рис. 1. Структура понятия качества автомобиля

Надежность – сложное (комплексное) свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения характеризуется сочетанием более простых свойств: *безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости*.

Безотказность характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т. е. в течение всего периода эксплуатации, при установленной системе технического обслуживания ТО и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, определяющее его приспособленность к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения ТО и ремонта. Это свойство, с одной стороны, характеризует качество конструкторских решений по предупреждению и обнаружению возможных отказов, а с другой – показывает, какой ценой по трудозатратам обеспечивается требуемый уровень надежности изделия.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение и после срока его хранения и (или) транспортирования.

Классификация объектов и их состояний в эксплуатации

В процессе эксплуатации из-за накопления повреждений в конструктивных элементах автомобиля его техническое состояние ухудшается и автомобиль из исправного состояния переходит в неисправное, а затем и в неработоспособное. Различают следующие пять основных видов технического состояния объекта: *исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, предельное*.

Исправное состояние – это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние (неисправность) – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской документации. Объект переходит в неисправное состояние вследствие какого-либо повреждения, при этом он может сохранять свою работоспособность.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором он удовлетворяет тем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает его нормальное использование по назначению.

Неработоспособным называется состояние, при котором объект не может выполнять свои функции вследствие возникновения отказа.

Предельным называется состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Совокупность фактических состояний изделия составляет его так называемый **жизненный цикл**, протекающий во времени (или по наработке) и имеющий вполне определенные закономерности, изучаемые в теории надежности.

Отказы машин и их классификация

Центральное понятие в теории надежности – **отказ**, под ним понимают полную или частичную потерю объектом (автомобилем, агрегатом, узлом, системой) работоспособности. При наступлении отказа изделие не может выполнять заданные функции или параметры его технического состояния выходят за допустимые пределы.

В отличие от отказа *повреждение* – это событие, заключающееся в нарушении объектом исправности при сохранении им работоспособного состояния. При эксплуатации машин несвоевременное выявление и устранение повреждений может привести к отказу. Например, развитие таких повреждений, как мелкие трещины, небольшие деформации, потертости изоляции, нарушения регулировок в случае их несвоевременного устранения, приводит к нарушению функционирования, т. е. потере работоспособности.

Для предупреждения отказов необходимо знать причины их возникновения и проявления, закономерности изменения технического состояния объекта, а также влияние, которое они оказывают на его работоспособность. В табл. 1.1 приведена классификация основных отказов автомобилей в зависимости от этих факторов.

Таблица 1.1

Классификация отказов

Классификационный признак	Вид отказа
Источник и причина возникновения	Конструктивный Производственный Эксплуатационный Деградационный
Характер изменения параметра технического состояния	Постепенный Внезапный
Наличие внешнего проявления	Явный Скрытый
Взаимосвязь между отказами	Зависимый Независимый

Комплексные показатели надежности

Для оценки надежности автомобилей используются как *количественные показатели*, оценивающие ее отдельные свойства (безотказность, долговечность и др.), так и *комплексные показатели*, характеризующие готовность изделий к использованию.

В качестве комплексных показателей, оценивающих несколько свойств надежности одновременно, используются *коэффициенты готовности и технического использования*.

Коэффициент готовности K_{Γ} – это вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени в периоды между плановыми профилактическими мероприятиями (ТО)

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum t_{\text{PC}}}{\sum t_{\Sigma}} = \frac{\sum t_{\text{PC}}}{\sum t_{\text{PC}} + \sum t_{\text{P}}},$$

где $\sum t_{\Sigma}$ – суммарное время эксплуатации изделия в интервале наработки между плановыми ТО; $\sum t_{\text{PC}}$, $\sum t_{\text{P}}$ – суммарное время пребывания изделия в работоспособном состоянии и ремонте за этот же период.

Коэффициент технического использования $K_{\text{ТИ}}$ представляет собой отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных ТО и ремонтом за тот же период

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\sum t_{\text{PC}}}{\sum t_{\text{PC}} + \sum t_{\text{P}} + \sum t_{\text{ТО}}},$$

где $\sum t_{\text{ТО}}$ – суммарное время нахождения объекта в ТО.

Таким образом, $K_{\text{ТИ}}$ представляет собой вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольно выбранный момент времени на заданной наработке, а не только в периоды между плановыми ТО.

Выполнение работы

После изучения общих сведений о работе студент получает *персональные данные* по суммарному времени нахождения автомобиля в работоспособном и неработоспособном состоянии и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2 часа.

Пример. Определить комплексные показатели надежности грузового автомобиля по статистическим данным, приведенным в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Статистические данные о суммарном времени нахождения
автомобиля в эксплуатации, ТО и ремонте**

Номер проведения ТО	Периодичность ТО, тыс. км	t_3 , ч	t_{PC} , ч	t_p , ч	t_{TO} , ч
1	16	331	321	10	21,6
2	16	357	343	14	23,5
3	16	364	338	26	24,0
4	16	360	332	28	22,0
5	16	349	315	34	24,9
–	–	$\Sigma t_3 = 1761$	$\Sigma t_{PC} = 1649$	$\Sigma t_p = 112$	$\Sigma t_{TO} = 116$

Используя данные табл. 1.2, определяем:

- коэффициент готовности

$$K_r = \frac{1649}{1649 + 112} = 0,94;$$

- коэффициент технического использования

$$K_{ТИ} = \frac{1649}{1649 + 112 + 116} = 0,88.$$

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- общие понятия о надежности и ее основных свойствах;
- результаты расчета комплексных показателей надежности;
- заключение и выводы.

Контрольные вопросы

1. Раскройте понятия качества, надежности и работоспособности машин.
2. Приведите классификацию отказов.
3. Какими свойствами характеризуется надежность изделий?
4. Что понимают под отказом и повреждением?

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Цель работы:

- изучить порядок обработки экспериментальных данных;
- освоить построение гистограмм и теоретических кривых распределения наработок до отказа.

Общие сведения об оценке надежности транспортных машин

Для оценки случайной однородной величины используют два вида характеристик: *числовые* и *полные*. Основные числовые характеристики случайной величины: среднее арифметическое (выборочное среднее), среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Для автотранспортной техники в качестве случайной величины чаще всего используют значение наработки t (до первого отказа, между отказами, до предельного состояния и т. д.).

Среднее арифметическое случайной величины характеризует центр группирования всей совокупности ее значений

$$\bar{t} = (t_1 m_1 + t_2 m_2 + \dots + t_k m_k) / N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \bar{t}_i m_i, \quad (1)$$

где \bar{t}_i – центр i -го интервала вариационного ряда; m_i – соответствующая данному интервалу частота; k – количество интервалов вариационного ряда; N – объем выборки обследования.

Среднее квадратическое отклонение случайной величины $\sigma(t)$, характеризующее меру рассеивания значений наработок вокруг центра группирования \bar{t} , определяется по формуле

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{t}_i - \bar{t})^2 m_i}{N - 1}}. \quad (2)$$

Коэффициент вариации ряда v оценивает относительную меру рассеивания случайной величины t и в первом приближении позволяет судить о законе ее распределения

$$v = \frac{\sigma(t)}{\bar{t}}. \quad (3)$$

Полные характеристики – это так называемые *законы распределения*, представляющие собой математические зависимости, по которым можно определить показатели надежности исследуемых объектов. В общем случае в качестве таких обобщенных зависимостей используются интегральные $F(t)$, $P(t)$ и дифференциальные $f(t)$ функции распределения случайной величины.

Графическая интерпретация интегральной $F(t)$ и дифференциальной $f(t)$ функций распределения случайной величины наработки представлена на рис. 2.1.

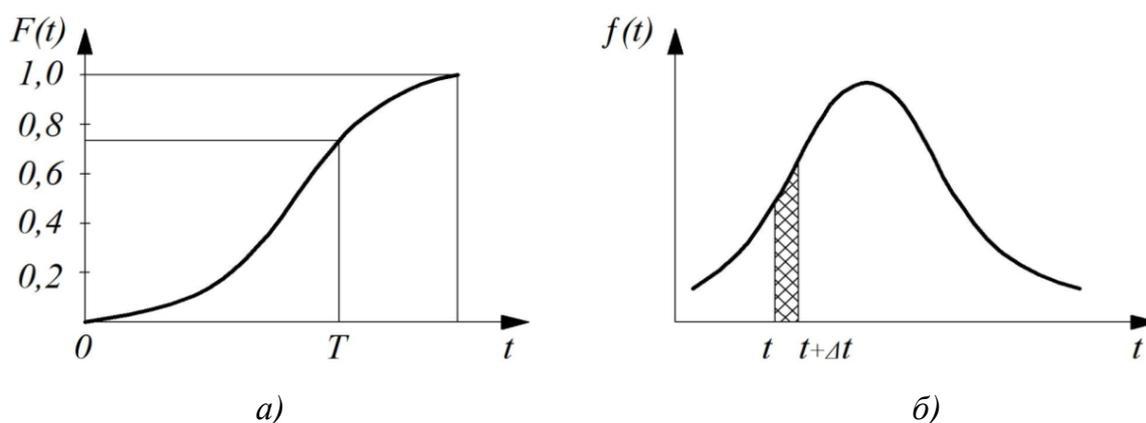


Рис. 2.1. Графическая интерпретация интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения случайной величины t

При обработке информации о надежности автомобилей наиболее широкое распространение получили следующие законы распределения: *экспоненциальный, нормальный, логарифмически нормальный, закон Вейбулла*.

Порядок обработки экспериментальных данных

Обработку данных начинают с составления таблицы, в которой их располагают в порядке увеличения полученных при испытаниях значений. Дальнейшую обработку статистической информации проводят в следующей последовательности.

Определяют границы рассеивания опытных данных, т. е. наибольшее t_{\max} и наименьшее t_{\min} их значения. Разность между ними называется размахом варьирования

$$R = t_{\max} - t_{\min}.$$

Обосновывают количество интервалов k , на которое необходимо разбить размах варьирования R . Число k должно быть не менее

$$k = 1 + 3,32 \lg N,$$

где N – объем выборки испытаний; \lg – десятичный логарифм.

Находят ширину интервала вариационного ряда h

$$h = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k} = \frac{R}{k}.$$

Определяют границы интервалов, для чего вначале устанавливают нулевое (крайнее) значение интервала t_0

$$t_0 = t_{\min} - h / 2.$$

Следующие границы интервалов рассчитывают последовательным прибавлением величины интервала h к предыдущему значению, т. е.

$$t_1 = t_0 + h; t_2 = t_1 + h; \dots; t_k = t_{\max} + h.$$

В каждом интервале определяют его среднее значение

$$\bar{t}_i = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}.$$

Находят опытные частоты m_i , представляющие собой число попаданий опытных данных в каждый интервал наработки.

По формулам (1), (2) и (3) определяют числовые характеристики статистического ряда: среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v .

Определяют опытные частоты w_i , отражающие вероятности попадания случайной величины t в заданные интервалы наработок

$$w_i = \frac{m_i}{N}; \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Найденные значения опытных частот w_i представляют графически в виде гистограммы. По оси абсцисс гистограммы откладывают интервалы наработок, и на их основании строят прямоугольники, высоты которых соответствуют частотам w_i .

При обработке статистических данных возникает задача подбора теоретической кривой распределения к полученной гистограмме. Такая теоретическая кривая, описывающая распределение случайной величины математической зависимостью, носит название дифференциальной функции закона распределения, или плотности вероятностей $f(t)$.

Сглаживание полученного статистического ряда теоретической кривой в настоящее время не требует сложных и трудоемких расчетов, так как имеются современные компьютерные программы (*STATISTICA*, *Microsoft Excel* и др.), выполняющие эти операции с графическим представлением гистограмм и дифференциальных функций $f(t)$.

Выполнение работы

После изучения общих сведений об оценке надежности транспортных машин студент получает *персональные статистические данные* по наработкам агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет расчеты показателей его эксплуатационной надежности.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2...4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за надежностью шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ-5256 ($N = 30$ ед.) были получены их наработки до отказа.

Значения наработок шаровых пальцев до отказа, тыс. км

25,9; 18,6; 24,0; 19,3; 11,4; 23,3; 24,1; 21,9; 18,0; 27,3; 22,9; 19,9; 20,3; 22,6; 18,4; 21,3; 15,2; 18,6; 21,4; 15,8; 20,0; 17,6; 23,1; 17,3; 21,5; 20,6; 14,1; 30,6; 20,7; 21,0
--

Требуется:

- определить числовые характеристики выборки;
- построить гистограмму распределения опытных частот w_i и теоретическую кривую распределения наработок до отказа $f(t)$.

1. Находим параметры статистического ряда распределения:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 30,6 - 11,4 = 19,2$ тыс. км;
- число интервалов (не менее) $k = 1 + 3,32 \lg(N) = 1 + 3,32 \lg(30) \approx 7$;
- ширину интервала $h = R / k = 19,2 / 7 \approx 3,0$ тыс. км;
- границы интервалов и их средние значения \bar{t}_i ;
- опытные частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок m_i ;

- опытные частоты по интервалам наработки

$$w_1 = \frac{1}{30} = 0,033; w_2 = \frac{3}{30} = 0,100; \dots; w_7 = \frac{1}{30} = 0,033.$$

Полученные результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Параметры статистического ряда распределения шаровых пальцев по интервалам наработки

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	10 – 13	13 – 16	16 – 19	19 – 22	22 – 25	25 – 28	28 – 31
Середины интервалов \bar{t}_i , тыс. км	11,5	14,5	17,5	20,5	23,5	26,5	29,5
Опытные частоты m_i	1	3	6	11	6	2	1
Опытные частоты w_i	0,033	0,100	0,200	0,367	0,200	0,067	0,033

2. Определяем числовые характеристики выборки обследования:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \bar{t}_i m_i = 20,4 \text{ тыс. км};$$

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{t}_i - \bar{t})^2 m_i}{N - 1}} = 3,9 \text{ тыс. км};$$

$$v = \frac{\sigma(t)}{\bar{t}} = 0,19.$$

3. Строим гистограмму распределения опытных частот w_i и с помощью программы *Microsoft Excel* подбираем теоретическую кривую распределения к полученной гистограмме (рис. 2.2).

В первом приближении теоретический закон распределения случайной величины подбирается по виду гистограммы и значению коэффициента вариации v , характеризующего рассеивание случайной величины относительно среднего значения. *Нормальному закону распределения*, например, соответствует значение коэффициента вариации $v = 0,10 \dots 0,35$; *распределению Вейбулла* – $v = 0,4 \dots 0,8$; *экспоненциальному распределению* – $v = 0,8 \dots 1,2$.

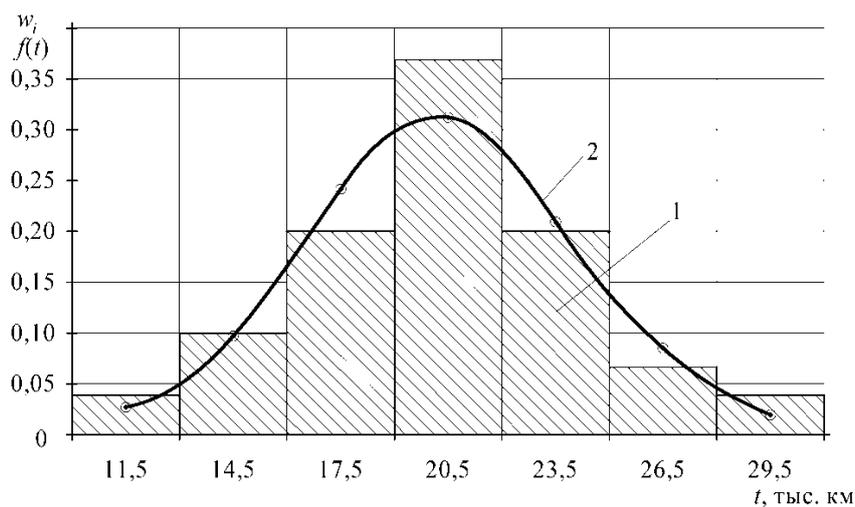


Рис. 2.2. Гистограмма (1) и теоретическая кривая (2) распределения наработок до отказа шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ-5256

В данном примере вид гистограммы и значение коэффициента вариации $v = 0,19$ позволяют предположить, что отказы шаровых пальцев распределяются по нормальному закону.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- числовые характеристики случайных величин;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности;
- подбор закона распределения;
- гистограмму и дифференциальную функцию распределения наработок до отказа $f(t)$;
- заключение и выводы по надежности исследуемого изделия.

Контрольные вопросы

1. Приведите формулы для расчета числовых характеристик, оценивающих надежность машин.
2. Раскройте сущность законов распределения случайных величин.
3. Приведите порядок обработки экспериментальных данных.
4. Как определяют опытные частоты, отражающие вероятности попадания случайной величины в заданные интервалы наработок?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Цель работы:

- изучить основные показатели, используемые для оценки долговечности машин;
- освоить методику определения показателей долговечности.

Общие сведения о долговечности транспортных машин

Под **долговечностью** транспортных машин понимается их свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта.

Для оценки долговечности машин используются следующие основные показатели:

- средний ресурс;
- средний срок службы;
- гамма-процентный ресурс.

Под **ресурсом** понимают суммарную наработку изделия от начала эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до предельного состояния.

Срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации изделия от ее начала или возобновление после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Таким образом, понятие «ресурс» применяется при характеристике долговечности по наработке изделия, а «срок службы» – по календарному времени. Как ресурс, так и срок службы изделий зависят от большого числа факторов, обусловленных погрешностями их производства и условиями эксплуатации. В связи с этим и ресурс, и срок службы являются случайными величинами.

Применительно к автомобильной технике показателем при оценке долговечности является *средний ресурс*. По результатам статистической обработки опытных данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации, средний ресурс определяется по формуле

$$t_{\text{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где N – число изделий, находящихся под наблюдением; t_i – наработка i -го изделия до предельного состояния.

Если значения ресурсов в выборке разбиты на k интервалов и число изделий, достигнувших предельного состояния внутри каждого интервала, равно m_j , то

$$t_{\text{ср}} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_k t_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k m_j t_j,$$

где t_j – средний ресурс изделия в каждом интервале.

Гамма-процентный ресурс – это наработка, в течение которой изделие не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах. Гамма-процентный ресурс легко определить, если известны кривая вероятности безотказной работы $P(t)$ или плотность распределения наработок до отказа $f(t)$ (рис. 3.1).

Для этого через точку $P(t) = \gamma$ (рис. 3.1, а) на оси ординат следует провести горизонталь до пересечения с кривой вероятности безотказной работы. Абсцисса точки пересечения и будет гамма-процентным ресурсом. Например, $\gamma = 90\%$ соответствует наработка $t_\gamma = 90\%$, которая и является гамма-процентным ресурсом для данного изделия.

Для партии изделий гамма-процентный ресурс представляет собой наработку, которую имеет или превышает обусловленный процент изделий γ (рис. 3.1, б). Вертикальная линия с абсциссой, равной гамма-процентному ресурсу, пересекает площадь под кривой $f(t)$ на две области: справа находится область, площадь которой равна вероятности работы без нарушения работоспособного состояния, а слева – область, площадь которой равна вероятности работы с возможными отказами.

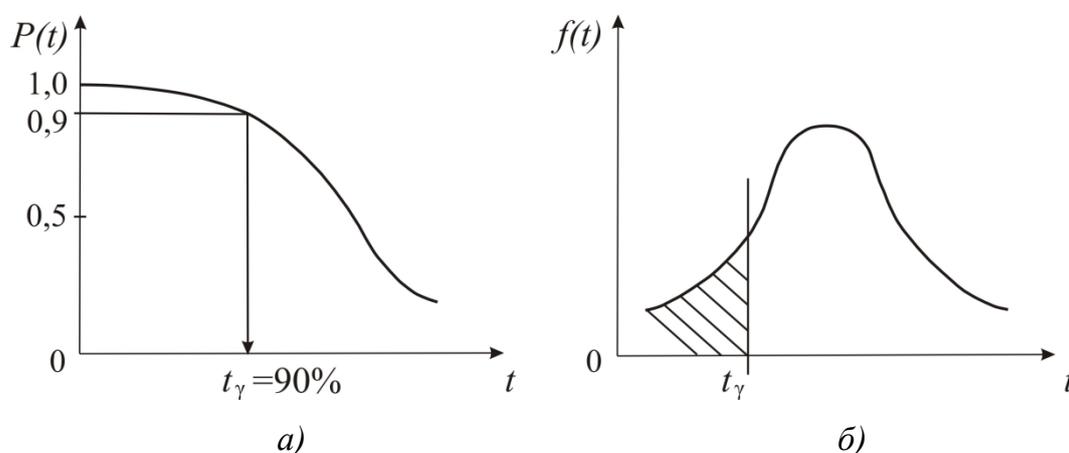


Рис. 3.1. Схема определения гамма-процентного ресурса

При известной функции распределения ресурса $P(t)$ гамма-процентный ресурс t_γ находят из выражения

$$1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f(t) dt = \frac{\gamma}{100}.$$

Выполнение работы

После изучения общих сведений студент получает *персональные статистические данные* результатов наблюдений за ресурсами какого-либо объекта и выполняет расчеты показателей его долговечности.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за долговечностью 46 двигателей установлены значения их ресурсов.

Значения ресурсов двигателей, тыс. км

157;	193;	203;	182;	228;	197;	174;	191;	201;	186;	198;	213;
221;	183;	196;	206;	205;	209;	214;	219;	188;	175;	207;	213;
163;	166;	211;	159;	152;	187;	160;	171;	173;	192;	217;	243;
179;	189;	189;	199;	161;	143;	188;	181;	187;	190		

Требуется:

- определить числовые показатели долговечности двигателя;
- построить гистограмму распределения опытных частот w_j , теоретическую кривую распределения наработок до отказа $f(t)$ и интегральную функцию распределения наработок двигателя до предельного состояния $F(t)$.

1. По данным значений ресурсов двигателей находим:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 243 - 143 = 100$ тыс. км;
- число интервалов (не менее) $k = 1 + 3,32 \lg(N) = 1 + 3,32 \lg(46) \approx 7$;
- ширину интервала $h = R / k = 100 / 7 \approx 15$ тыс. км;
- границы интервалов и их средние значения t_j ;
- опытные частоты m_j попадания наработок до отказа в j -й интервал и частоты $w_j = \frac{m_j}{N}$.

Полученные результаты сводим в табл. 3.

**Параметры статистического ряда распределения ресурса
двигателя по интервалам наработки**

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	140 – 155	155 – 170	170 – 185	185 – 200	200 – 215	215 – 230	230 – 245
Середины интервалов t_j , тыс. км	147,5	162,5	177,5	192,5	207,5	222,5	237,5
Опытные частоты m_j	2	6	8	15	10	4	1
Опытные частоты w_j	0,043	0,130	0,174	0,326	0,217	0,087	0,022

2. Определяем числовые показатели долговечности:

- средний ресурс $t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k m_j \cdot t_j = 195,7$ тыс. км;
- среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (t_j - t_{cp})^2 m_j}{N - 1}} = 22 \text{ тыс. км};$$

- коэффициент вариации $v = \frac{\sigma(t)}{t_{cp}} = 0,11$.

3. По найденным значениям опытных частот w_j строим гистограмму (рис. 3.2) и с помощью программы *Microsoft Excel* подбираем соответствующий ей закон распределения ресурса, т. е. дифференциальную функцию распределения $f(t)$. Вид гистограммы и значение коэффициента вариации $v = 0,11$ позволяют предположить, что распределение ресурса двигателей подчиняется нормальному закону.

4. Строим гистограмму накопленных частот w_j^H и интегральную функцию распределения ресурса $F(t)$ (рис. 3.3). Накопленную частоту получают путем последовательного прибавления частот предыдущих интервалов к частоте очередного интервала: $w_1^H = w_1 = 0,043$; $w_2^H = w_1^H + w_2 = 0,043 + 0,130 = 0,173$; $w_3^H = w_2^H + w_3 = 0,173 + 0,174 = 0,347$.

Для последнего k -го интервала $w_k^H = \sum_{j=1}^k w_j = 1$.

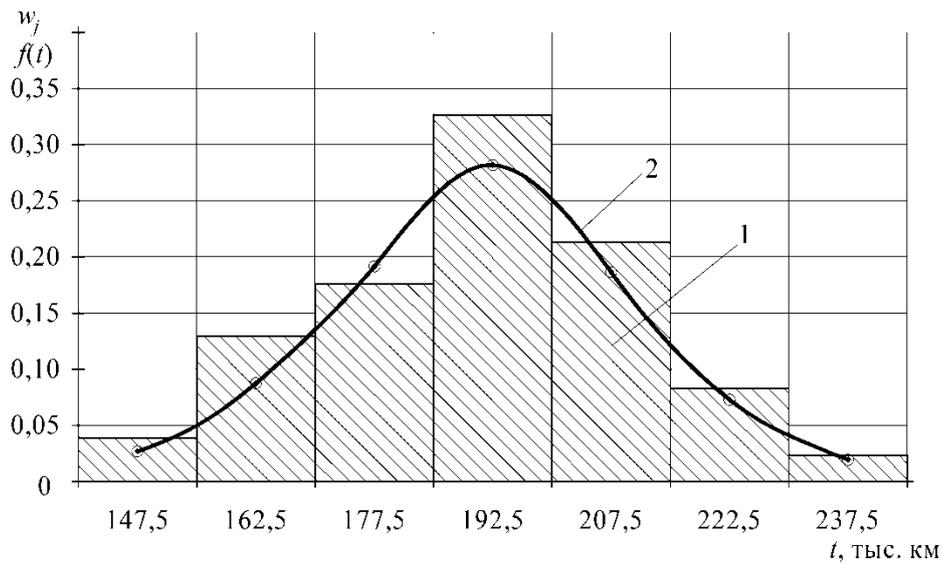


Рис. 3.2. Гистограмма (1) и дифференциальная функция (2) распределения ресурса двигателей

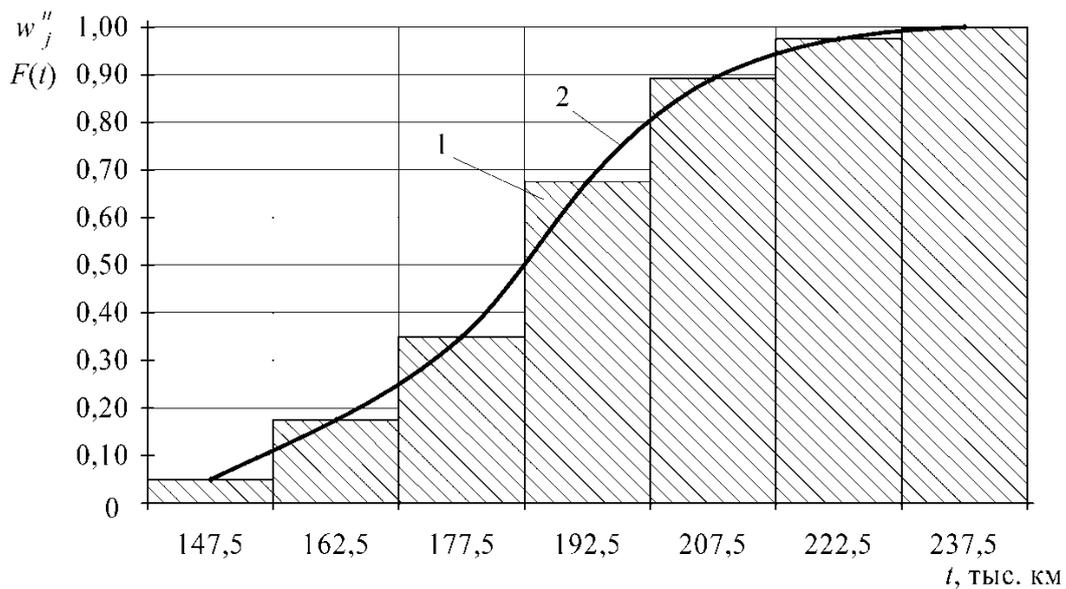


Рис. 3.3. Гистограмма (1) накопленных частот w_j^H и интегральная функция (2) распределения ресурса $F(t)$

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- основные показатели для оценки долговечности машин;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей долговечности;

- гистограмму, дифференциальную и интегральную функции распределения ресурса;
- заключение и выводы по долговечности исследуемого изделия.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под долговечностью машин?
2. Какими показателями оценивают долговечность автотранспортных средств?
3. Что понимают под гамма-процентным ресурсом автомобиля?
4. Как строят дифференциальные и интегральные функции распределения ресурса?

Работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Цель работы:

- изучить основные показатели для оценки безотказности машин;
- освоить методику определения основных показателей безотказности.

Общие сведения о безотказности машин

Безотказность определяет непрерывную работу объекта без каких-либо вмешательств, направленных на поддержание его работоспособности, т. е. ТО и ремонтов. Для количественной оценки безотказности используют следующие основные показатели (ГОСТ 27 002-2015):

- вероятность безотказной работы;
- среднюю наработку до отказа;
- среднюю наработку между отказами;
- интенсивность отказов.

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ изделия не возникнет. Этот показатель применяется как для *восстанавливаемых*, так и для *невосстанавливаемых* изделий.

Значение вероятности безотказной работы $P(t)$, как и всякой вероятности, находится в пределах

$$0 \leq P(t) \leq 1.$$

С увеличением наработки объекта вероятность его безотказной работы уменьшается и, соответственно, увеличивается вероятность отказа (рис. 4.1).

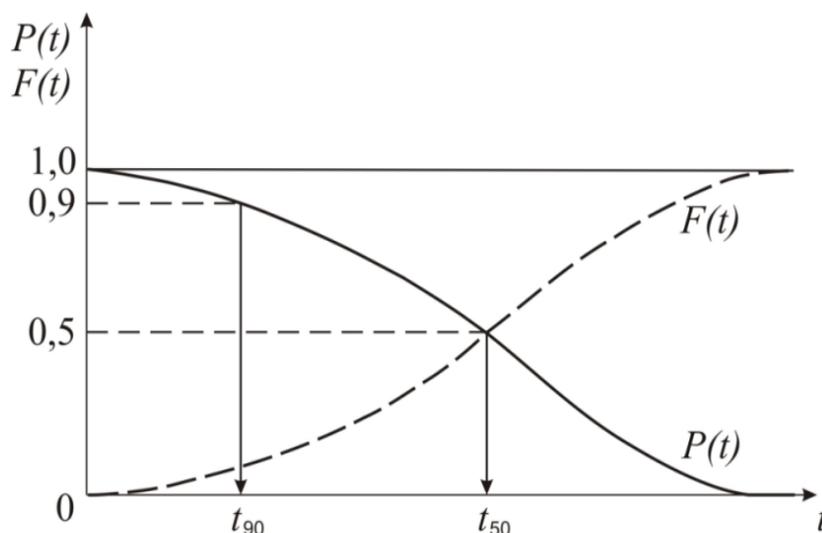


Рис. 4.1. Изменение вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказа $F(t)$ по наработке

Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $F(t)$ образуют полную группу событий

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

Статистическая оценка вероятности безотказной работы $P(t)$ по результатам испытаний определяется отношением числа исправных изделий к общему числу находящихся под наблюдением изделий на протяжении наработки за время испытаний

$$\bar{P}(t) = \frac{N - \sum_{j=1}^k m_j}{N},$$

где N – число работоспособных изделий на начало наблюдений; m_j – число изделий, отказавших в j -м интервале; $k = t / \Delta t$ – число интервалов наработки.

Средняя наработка до отказа – это среднее значение наработки *невосстанавливаемых* объектов в исследуемой выборке до первого отказа. Статистическая оценка этого показателя по результатам эксплуатационных испытаний определяется по формуле

$$\bar{t}_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j,$$

где t_1, t_2, \dots, t_N – наработки *невосстанавливаемых* изделий до отказа.

Если наработка от начала эксплуатации до t разбита на k интервалов Δt и число отказов внутри каждого интервала равно m_j , то

$$\bar{t}_{\text{cp}} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_k t_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k m_j t_j,$$

где $n = m_1 + m_2 + \dots + m_k$ – суммарное число отказов за время испытаний; t_j – средняя наработка изделия в j -м интервале.

Средняя наработка между отказами – это среднее значение наработки *восстанавливаемого* изделия между отказами. Статистическая оценка этого показателя определяется отношением суммарной наработки изделия к числу отказов в течение этой наработки

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{T}{n},$$

где t_1, t_2, \dots, t_n – наработки изделий в исследуемой партии между отказами; T – суммарная наработка изделий за время испытаний; n – число отказов на этой наработке.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа *невосстанавливаемого изделия*, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

По результатам эксплуатационных испытаний интенсивность отказов находится из выражения

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t},$$

где $N(t), N(t + \Delta t)$ – количество работоспособных изделий при наработках t и $t + \Delta t$; Δt – интервал наработки.

Выполнение работы

После изучения общих сведений о работе каждый студент получает *персональные статистические данные* результатов эксплуатационных испытаний по надежности агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет расчеты показателей его безотказности.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2...4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за надежностью представительной выборки свечей зажигания ($N = 36$) установлены их наработки до отказа.

Значения наработок свечей зажигания до отказа, тыс. км

21,8;	24,6;	29,2;	30,2;	31,0;	25,7;	27,1;	35,1;	27,4;	28,8;	27,3;	31,2;
26,8;	22,0;	26,2;	34,2;	30,9;	18,1;	23,4;	28,2;	23,1;	37,9;	30,7;	23,9;
22,1;	34,7;	25,5;	26,9;	29,9;	25,7;	38,9;	24,8;	28,6;	27,2;	25,9;	28,8

Требуется:

- определить числовые показатели безотказности свечей зажигания;
- построить графики функций распределения $P(t)$ и $\lambda(t)$.

1. По данным значений наработок свечей зажигания до отказа находим:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 38,9 - 18,1 = 20,8$ тыс. км;
- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg(N) = 1 + 3,32 \lg(36) \approx 7$;
- ширину интервала $h = R / k = 20,8 / 7 = 3,0$ тыс. км.

2. Определяем границы интервалов, их средние значения, опытные частоты m_j и частоты w_j попаданий опытных данных в интервалы наработок. Полученные результаты сводим в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параметры интервалов наработки свечей зажигания

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	18 – 21	21 – 24	24 – 27	27 – 30	30 – 33	33 – 36	36 – 39
Середины интервалов t_j , тыс. км	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	37,5
Опытные частоты m_j	1	6	9	10	5	3	2
Опытные частоты w_j	0,028	0,167	0,250	0,278	0,139	0,083	0,028

3. Определяем показатели безотказности свечей зажигания:

- среднюю наработку до отказа

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k m_j t_j = 27,9 \text{ тыс. км};$$

- вероятность безотказной работы по интервалам наработки

$$P(t_1) = \frac{36-1}{36} = 0,97; \quad P(t_2) = \frac{36-(1+6)}{36} = 0,81; \quad P(t_3) = \frac{36-(1+6+9)}{36} = 0,56;$$

- интенсивность отказов

$$\lambda(t_1) = \frac{36-35}{36 \cdot 3000} = 0,0011; \quad \lambda(t_2) = \frac{35-29}{35 \cdot 3000} = 0,057; \quad \lambda(t_3) = \frac{29-20}{29 \cdot 3000} = 0,103.$$

Для остальных интервалов оценки статистических вероятностей безотказной работы и интенсивности отказов приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты расчетов $P(t)$ и $\lambda(t)$ по интервалам наработки

Функция	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$P(t)$	0,97	0,81	0,56	0,28	0,14	0,06	0,00
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0,001	0,057	0,103	0,167	0,178	0,191	0,303

4. По результатам выполненных расчетов строим графики функций распределения $P(t)$ и $\lambda(t)$ по интервалам наработки (рис. 4.2).

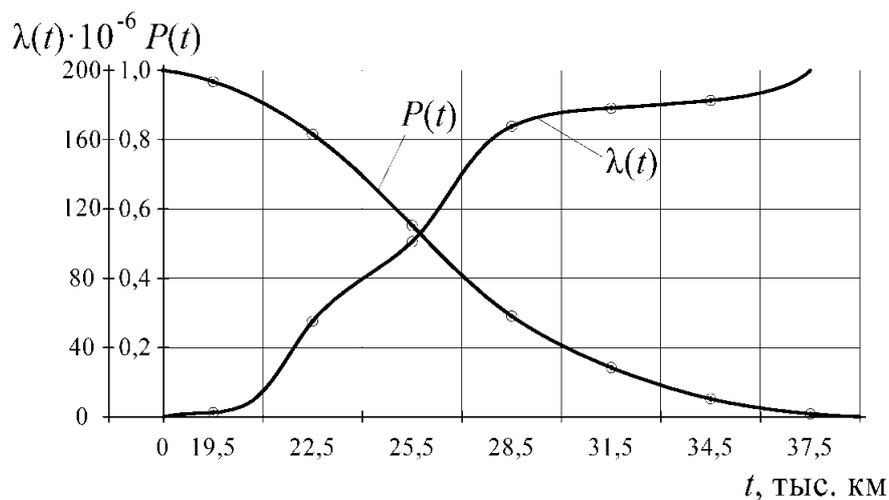


Рис. 4.2. Изменение вероятности безотказной работы $P(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$ по наработке

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- основные показатели для оценки безотказности машин;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей безотказности;
- графики распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$;
- заключение и выводы по надежности исследуемого изделия.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под безотказностью машин?
2. Какими показателями оценивают это свойство надежности?
3. Как определяют вероятность безотказной работы по статистической информации?
4. Что понимают под интенсивностью отказов?

Работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель работы:

- изучить показатели, используемые для оценки надежности парка автотранспортных средств;
- освоить методику оценки надежности парка автомобилей по вероятностным характеристикам его функционирования.

Общие сведения о надежности автомобильного парка

Под *надежностью автомобильного парка* (АП) понимают его свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих определенным условиям использования.

На работу и надежность АП оказывает влияние большое число факторов: *технических* (надежность автомобилей и их возраст, количество и

качество запасных частей и эксплуатационных материалов, обеспеченность и состояние гаражного оборудования и др.); *технологических* (периодичность и качество выполнения ТО и ремонта, соответствие потребностям числа постов ТО и текущего ремонта (ТР) и т. п.); *организационных* (система снабжения запасными частями и агрегатами, простой по различным причинам и др.); *социальных* (обеспеченность кадрами и их текучесть, квалификация и стаж работы водителей и ремонтных рабочих, условия и организация труда, стимулирование персонала и т. д.); *дорожных и природно-климатических* (состояние и обустройство дорог, температура, влажность, запыленность воздуха и др.). Совокупное действие перечисленных факторов приводит к тому, что надежность одного автомобиля не совпадает с надежностью всего парка машин.

Между надежностью отдельно взятого автомобиля и надежностью АП имеются существенные различия.

1. Автомобиль – это изделие, обладающее конечным ресурсом, в то время как АП – это непрерывно обновляемая система за счет замены выработавших свой ресурс автомобилей новыми.

2. Элементы автомобиля (агрегаты, узлы и детали) обычно связаны между собой так, что отказ одного из них может привести к отказу автомобиля в целом; в парке автомобили функционируют независимо один от другого.

3. АП в отличие от автомобиля не имеет полных отказов; то или иное количество автомобилей всегда выпускается на линию.

4. Возможности для резервирования автомобиля или парка автомобилей разные: в первом случае резервирование элементов может потребовать глубокого вмешательства в конструкцию, во втором замена или резервирование целых автомобилей осуществляются значительно проще.

5. Экономические возможности и последствия замены элементов автомобиля и элементов парка (т. е. целых автомобилей) разные; своевременное списание автомобилей, выработавших свой ресурс, способствует улучшению показателей эффективности работы парка.

6. Ограниченный простой отдельно взятого автомобиля практически не сказывается на его надежности, в то время как для АП простой даже работоспособного автомобиля рассматривается как частичный отказ.

Надежность парка автомобилей с достаточной степенью точности характеризуется *коэффициентом технической готовности*

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{D_{\text{э}}}{D_{\text{э}} + D_{\text{р}}},$$

где $D_{\text{э}}$, $D_{\text{р}}$ – суммарные дни пребывания автомобиля на линии (в эксплуатации) и в ТО и ремонте.

Для парка подвижного состава коэффициент технической готовности $\alpha_{\text{т}}$, который представляет собой отношение количества автомобиле-дней пребывания автомобилей в эксплуатации $AD_{\text{э}}$ к суммарному количеству календарных автомобиле-дней $AD_{\text{и}}$ (автомобиле-дней в эксплуатации и автомобиле-дней в ТО и ремонте), равен

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{AD_{\text{э}}}{AD_{\text{и}}} = \frac{AD_{\text{э}}}{AD_{\text{э}} + AD_{\text{р}}}.$$

Обобщенной оценкой степени использования парка автомобилей за период $D_{\text{и}}$ служит коэффициент выпуска подвижного состава на линию $\alpha_{\text{в}}$ (относительное число автомобилей, направленных заказчику)

$$\alpha_{\text{в}} = \frac{AD_{\text{э}}}{AD_{\text{э}} + AD_{\text{р}} + AD_{\text{н}}},$$

где $AD_{\text{н}}$ – число автомобиле-дней нормированных простоев, а также простоев из-за отсутствия работы, персонала и др.

Разница между $\alpha_{\text{т}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ обусловлена преимущественно простоями автомобилей по организационно-техническим и организационным причинам.

Моделирование процессов функционирования АП и его надежности

В соответствии с Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта автомобиль в парке может находиться в одном из следующих технологических состояний:

- работоспособном (на линии);
- простое в техническом обслуживании (ТО-1 или ТО-2);
- простое в текущем ремонте (ТР);
- ожидании списания после выработки нормативного ресурса.

В реальных условиях эксплуатации в зависимости от организационно-технических и других факторов технологические состояния автомобиля более разнообразны. С точки зрения надежности АП их можно разбить на *линейные*, когда автомобиль работоспособен и выполняет свои функции, и *нелинейные*, когда автомобиль неработоспособен или работоспособен, но по различным организационно-техническим или организационным причинам на линию не поступает.

Простои по организационно-техническим причинам могут быть вызваны подготовкой нового автомобиля к эксплуатации, простоями автомобилей после ДТП и т. д.

Простои по организационным причинам связаны с отсутствием заказчика транспортных услуг, некомплектованностью штатов, болезнями, отпусками и др.

При анализе надежности АП удобно использовать граф возможных состояний автомобилей, который учитывает принятую в автотранспортном предприятии (АТП) систему эксплуатации. Один из возможных вариантов обобщенного графа состояний автомобилей представлен на рис. 5.1. В соответствии с графиком производственного процесса автомобили помимо работы на линии (состояние S_1) проходят общее Д-1 и углубленное Д-2 диагностирование (состояния S_3 и S_4), плановые ТО-1 и ТО-2 (состояния S_5 и S_7), ТР (состояние S_6). В случае занятости постов ТО, ремонта или диагностирования автомобиля простаивают в ожидании соответствующих технических воздействий (состояние S_2), а исправные автомобили направляются в зону хранения (состояние S_8).

Переходы автомобилей из одних состояний в другие многообразны и отображаются на графе стрелками, соединяющими эти состояния. Например, автомобиль, работающий на линии (состояние S_1), может перейти в любое из семи возможных состояний графа. Из состояния S_6 (ТР) он может перейти в состояние S_3 , S_4 или S_8 . Стрелка N_1 указывает на убытие автомобилей из АП, вызванное их списанием или продажей, N_2 – поступление вновь приобретенных автомобилей.

Для оценки надежности АП необходимо, прежде всего, установить численность автомобилей в каждом из состояний и вероятности нахождения в них. Такие задачи решаются различными методами: статистического анализа, теории массового обслуживания, имитационного

моделирования и др. Наиболее точную и достоверную оценку позволяет получить метод статистического анализа, так как он основан на базе существующей системы учета и оценок работы парка конкретного автотранспортного предприятия.

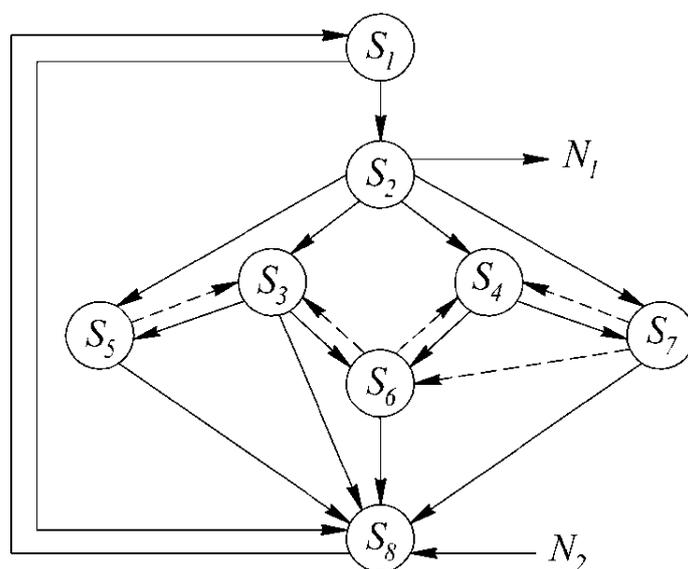


Рис. 5.1. Обобщенный граф возможных состояний автомобилей

Оценка показателей надежности АП по статистическим данным

В реальных условиях эксплуатации автопарка число автомобилей и продолжительность их пребывания в том или ином состоянии – величины случайные, зависящие от многих факторов. Однако, используя статистические данные результатов работы автотранспортного предприятия за определенный период времени, можно установить закономерности распределения этих случайных величин и характеристики надежности АП. Для этого методами математической статистики и теории вероятностей осуществляют переход от статистических характеристик к теоретическим.

Выполнение работы

После изучения общих сведений о работе каждый студент получает *персональные статистические данные* результатов эксплуатационных наблюдений о состоянии автомобилей в парке и выполняет расчеты показателей их надежности.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за техническим состоянием автомобилей конкретного АТП в течение полугода были получены следующие статистические данные об их нахождении в различных технологических состояниях (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Статистические данные работы АТП

Списочное количество автомобилей, $N_{сп}$	Количество автомобилей на линии, $N_{л}$	Простой автомобилей			
		ТО	ТР	ОТП	ОП
348	283	4	42	6	13
352	285	8	40	10	9
352	290	7	28	9	18
351	271	3	59	8	10
352	275	8	48	9	12
352	278	7	49	8	10
354	285	0	52	9	8
354	285	5	49	9	6
354	289	5	46	9	5
354	279	5	53	10	7
354	283	3	53	7	8
354	286	6	47	7	8
354	289	4	43	7	11
354	289	2	44	6	13
354	279	1	52	8	14
354	289	4	48	7	6

Требуется:

- построить граф состояний автомобилей в АТП;
- определить числовые характеристики надежности АП.

На основе данных табл. 5.1 о списочном количестве автомобилей, выпуске на линию, простоях по различным причинам строим граф состояний автомобиля (рис. 5.2).

Граф включает в себя следующие состояния: работу на линии – Л, простои в техническом обслуживании – ТО, простои в текущем ремонте – ТР, простои по организационно-техническим причинам – ОТП, простои по организационным причинам – ОП.

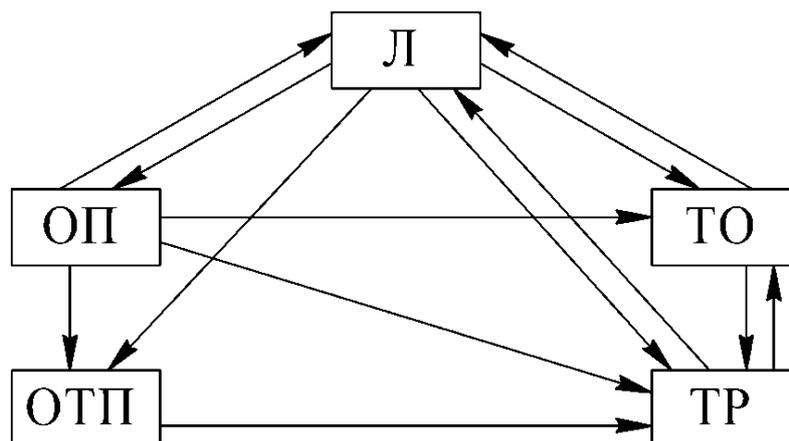


Рис. 5.2. Граф состояний автомобилей в АТП

Обобщенной характеристикой работы АП является вероятность пребывания автомобилей на линии. Для установившегося режима эксплуатации отношение математического ожидания числа автомобилей, соответствующего состоянию Л, к среднесписочному числу автомобилей в АТП принимается равным коэффициенту выпуска автомобилей на линию $\alpha_{в}$; а отношение суммы математических ожиданий автомобилей с состояниями Л и ОП к среднесписочному числу автомобилей – коэффициенту технической готовности $\alpha_{т}$.

Результаты обработки статистических данных работы АП представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Числовые характеристики надежности АП

Характеристика надежности АП	Состояние				
	Работа на линии, $\bar{N}_л$	ТО	ТР	ОТП	ОП
1. Математическое ожидание количества автомобилей в \bar{N}_j в j -м состоянии	283,44	4,50	47,13	8,06	9,87
2. Относительная величина математического ожидания $\bar{R}_j = \bar{N}_j / \bar{N}_{сп}$	0,803	0,013	0,133	0,023	0,028
3. Среднеквадратическое отклонение σ_j	5,632	2,366	7,060	1,289	3,481
4. Коэффициент вариации v_j	0,019	0,525	0,149	0,159	0,352

Анализ показателей надежности АП показывает, что коэффициент выпуска автомобилей на линию достаточно высокий ($\alpha_b = R_{л} = 0,803$) и стабильный ($v = 0,019$). Коэффициент технической готовности, учитывающий работу автомобилей на линии и их простои по организационным причинам, составил

$$\alpha_t = \bar{R}_{л} + \bar{R}_{оп} = 0,803 + 0,028 = 0,831.$$

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- основные показатели для оценки надежности автомобильного парка;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности парка автотранспортных средств;
- граф состояний автомобилей в АТП;
- заключение и выводы по надежности исследуемого автопарка.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под надежностью парка автотранспортных средств?
2. Какие факторы влияют на надежность АП?
3. Что характеризует граф состояний автомобилей в АТП?
4. Каковы основные показатели, характеризующие надежность АП?

Работа № 6

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ВЫБРАННОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

(на примере нормального закона)

Цель работы:

- изучить критерии согласия, служащие для проверки гипотезы о выбранном законе распределения;
- осуществить проверку принадлежности статистического распределения выбранному закону с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона.

Общие сведения

Для проверки правдоподобия гипотезы о принадлежности результатов испытаний по надежности автомобилей выбранному закону распределения чаще всего используется критерий χ^2 Пирсона

$$\chi_{\text{опыт}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\bar{m}_i - m_i)^2}{m_i} = \begin{cases} \leq \chi_{\text{табл}}^2 \left(\begin{matrix} \alpha \\ S \end{matrix} \right) \\ > \chi_{\text{табл}}^2 \left(\begin{matrix} \alpha \\ S \end{matrix} \right) \end{cases}, \quad (4)$$

где \bar{m}_i , m_i – опытное и теоретическое число попаданий опытной случайной величины в i -й интервал; k – количество интервалов; α – уровень значимости; S – число степеней свободы.

Уровень значимости α представляет собой вероятность того, что величина $\chi_{\text{опыт}}^2$ в результате случайных отклонений частот опытного распределения от соответствующих частот теоретического распределения будет меньше табличного значения $\chi_{\text{табл}}^2$.

Число степеней свободы определяется из выражения

$$S = k - r - 1,$$

где r – число параметров теоретического закона распределения (для нормального закона и закона Вейбулла $r = 2$, для экспоненциального распределения $r = 1$).

Значения $\chi_{\text{табл}}^2$ в зависимости от наиболее распространенных в инженерных задачах уровней значимости α и числа степеней свободы S приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения критерия χ^2 Пирсона

S	Уровень значимости α				S	Уровень значимости α			
	0,01	0,05	0,10	0,20		0,01	0,05	0,10	0,20
1	6,63	3,84	2,71	1,64	11	24,7	19,7	17,3	14,6
2	9,21	5,99	4,61	3,22	12	26,2	21,0	18,5	15,8
3	11,3	7,81	6,25	4,64	13	27,7	22,4	19,8	17,0
4	13,3	9,49	7,78	5,99	14	29,1	23,7	21,1	18,2
5	15,1	11,1	9,24	7,29	15	30,6	25,0	22,3	19,3
6	16,8	12,6	10,6	8,56	16	32,0	26,3	23,5	20,5
7	18,5	14,1	12,0	9,80	17	33,4	27,6	24,8	21,6
8	20,1	15,5	13,4	11,0	18	34,8	28,9	26,0	22,8
9	21,7	16,9	14,7	12,2	19	36,2	30,1	27,2	23,9
10	23,2	18,3	16,0	13,4	20	37,6	31,4	28,4	25,0

Проверку гипотезы о принадлежности статистического распределения выбранному закону с помощью критерия χ^2 осуществляют следующим образом:

- по построенной гистограмме и коэффициенту вариации v подбирают закон распределения случайной величины;
- находят вероятности попадания случайной величины (теоретические частоты) в каждый интервал статистического ряда;
- по формуле (4) определяют опытное значение критерия $\chi_{\text{опыт}}^2$;
- определяют число степеней свободы ($S = k - r - 1$);
- для найденного S и принятого уровня значимости α находят табличное значение критерия $\chi_{\text{табл}}^2$;
- сравнивают вычисленное значение критерия $\chi_{\text{опыт}}^2$ с табличным $\chi_{\text{табл}}^2$.

Если $\chi_{\text{опыт}}^2 \leq \chi_{\text{табл}}^2$, гипотеза о принадлежности опытных данных к рассматриваемому закону не отвергается, т. е. расхождение между опытными и теоретическими частотами незначительно. В противном случае гипотеза отвергается.

Выполнение работы

После изучения общих сведений о критериях согласия студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет необходимые расчеты, строит графики интегральных функций распределения $P(t)$ и $F(t)$.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за 47 двигателями ЗМЗ-406 ($N = 47$) выявлены наработки до отказа вкладышей коренных шеек коленчатого вала.

Значения наработок вкладышей коренных шеек коленчатого вала

90; 95; 120; 115; 112; 122; 105; 116; 108; 129; 130; 145; 128; 142; 144; 148; 140; 139; 174; 168; 171; 173; 168; 155; 169; 170; 191; 180; 186; 198; 190; 194; 179; 178; 204; 162; 170; 156; 211; 203; 217; 221; 228; 231; 236; 250; 232.
--

Требуется:

- определить основные параметры распределения отказов двигателей по наработке;
- установить закон распределения;
- проверить гипотезу о принадлежности статистических данных выбранному закону по критерию согласия Пирсона χ^2 ;
- построить графики интегральных функций распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказов $F(t)$.

1. Рассчитываем параметры статистического ряда распределения:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 250 - 90 = 160$ тыс. км;
- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg(47) = 6,5514 \approx 7$;
- величину интервала $h = R/k = 160/7 \approx 25$ тыс. км;
- границы интервалов;
- середины интервалов (тыс. км): $\bar{t}_1 = 87,5$; $\bar{t}_2 = 112,5$; $\bar{t}_3 = 137,5$;
 $\bar{t}_4 = 162,5$; $\bar{t}_5 = 187,5$; $\bar{t}_6 = 212,5$; $\bar{t}_7 = 237,5$;
- частоту попаданий наработок в эти интервалы: $\bar{m}_1 = 2$; $\bar{m}_2 = 7$;
 $\bar{m}_3 = 9$; $\bar{m}_4 = 11$; $\bar{m}_5 = 8$; $\bar{m}_6 = 5$; $\bar{m}_7 = 5$.

2. Определяем числовые характеристики наработок вкладышей до отказа

$$\bar{t}_{\text{cp}} = 166 \text{ тыс. км}; \quad \sigma(t) = 40,6 \text{ тыс. км}; \quad \nu = 0,24.$$

3. Строим гистограмму распределения частоты отказов вкладышей по наработке t (рис. 6.1).

Вид гистограммы и значение коэффициента вариации $\nu = 0,24$ позволяют предположить, что отказы вкладышей распределяются по нормальному закону.

4. Для удобства вычислений проводим нормирование случайной величины наработки t , которая заключается в переходе к новой случай-

ной величине $z_i = \frac{t_i - \bar{t}_{\text{cp}}}{\sigma(t)}$, и находим границы новых интервалов:

$$z_i = \frac{t_i - \bar{t}_{\text{cp}}}{\sigma(t)}; \quad z_{i+1} = \frac{t_{i+1} - \bar{t}_{\text{cp}}}{\sigma(t)}.$$

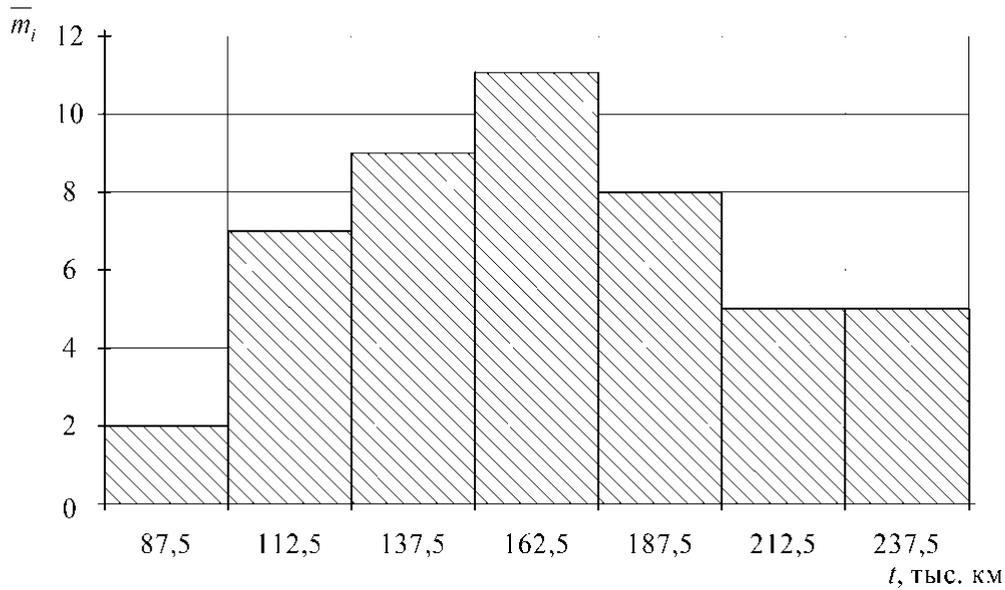


Рис. 6.1. Гистограмма распределения отказов вкладышей коренных шеек коленчатого вала по интервалам наработки

Расчеты сводим в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Границы интервалов случайной величины z

Интервал	Границы интервала t_i		$t_i - \bar{t}_{cp}$	$t_{i+1} - \bar{t}_{cp}$	Границы интервала z_i	
	t_i	t_{i+1}			$z_i = \frac{t_i - \bar{t}_{cp}}{\sigma(t)}$	$z_{i+1} = \frac{t_{i+1} - \bar{t}_{cp}}{\sigma(t)}$
1-й	75	100	-91	-66	-1,97	-1,63
2-й	100	125	-66	-41	-1,63	-1,01
3-й	125	150	-41	-16	-1,01	-0,40
4-й	150	175	-16	9	-0,40	0,22
5-й	175	200	9	34	0,22	0,84
6-й	200	225	34	59	0,84	1,46
7-й	225	250	59	84	1,46	2,07

5. Рассчитываем теоретические частоты m_i попадания наработок в i -е интервалы

$$m_i = NP_i,$$

где $P_i = \Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i)$ – вероятность попадания наработки t в интервалы (t_i, t_{i+1}) ; $\Phi(z)$ – функция Лапласа.

Стандартная функция Лапласа $\Phi(z_i = \frac{t_i - \bar{t}_{cp}}{\sigma(t)})$ показывает теоретическую вероятность m_i попадания значений случайной величины t в интервал наработки $(t_i; t_{i+1})$. Значения функции Лапласа приведены в таблицах нормального распределения в учебниках по теории вероятности и математической статистике.

Результаты расчета сведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Теоретические частоты попадания наработок в интервалы

Интервал	Границы интервала Z_i		$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$P_i = \Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i)$	$m_i = NP_i$
	z_i	z_{i+1}				
1-й	-1,97	-1,63	0,0244	0,0516	0,0272	1,28
2-й	-1,63	-1,01	0,0516	0,1563	0,1047	4,92
3-й	-1,01	-0,40	0,1563	0,3446	0,1883	8,85
4-й	-0,40	0,22	0,3446	0,5871	0,2425	11,40
5-й	0,22	0,84	0,5871	0,7995	0,2124	9,98
6-й	0,84	1,46	0,7995	0,9279	0,1284	6,03
7-й	1,46	2,07	0,9279	0,9788	0,0509	2,39

6. Рассчитываем критерий согласия χ^2 Пирсона (расчеты сведены в табл. 6.4).

Таблица 6.4

Результаты расчета критерия согласия χ^2

Интервал	\bar{m}_i	m_i	$\bar{m}_i - m_i$	$(\bar{m}_i - m_i)^2$	$\frac{(\bar{m}_i - m_i)^2}{m_i}$
1-й	2	1,28	0,72	0,5184	0,4050
2-й	7	4,92	2,08	4,3264	0,8793
3-й	9	8,85	0,15	0,0225	0,0025
4-й	11	11,40	-0,40	0,1600	0,0140
5-й	8	9,98	-1,98	3,9204	0,3928
6-й	5	6,03	-1,03	1,0609	0,1759
7-й	5	2,39	2,61	6,8121	2,8503
Σ	47	44,85	-	-	$\chi_{опыт}^2 = 4,720$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $S = k - r - 1 = 7 - 2 - 1 = 4$ табличное значение $\chi^2_{\text{табл}} = 9,49$. Так как $\chi^2_{\text{опыт}} < \chi^2_{\text{табл}}$ принимается гипотеза о принадлежности выборочных данных нормальному закону распределения.

7. Рассчитываем вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$ на наработках, соответствующих серединам интервалов \bar{t}_i

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - \bar{t}_{\text{ср}}}{\sigma}\right), \quad F(t) = 1 - P(t).$$

Результаты расчетов сводим в табл. 6.5. и строим графики интегральных функций распределения (рис. 6.2).

Таблица 6.5

Результаты расчета интегральных функций распределения $P(t)$ и $F(t)$ по интервалам наработки

Функция	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$P(t)$	0,9742	0,9040	0,7580	0,5030	0,2980	0,1260	0,0392
$F(t)$	0,0258	0,0960	0,2420	0,4970	0,7020	0,8740	0,9608

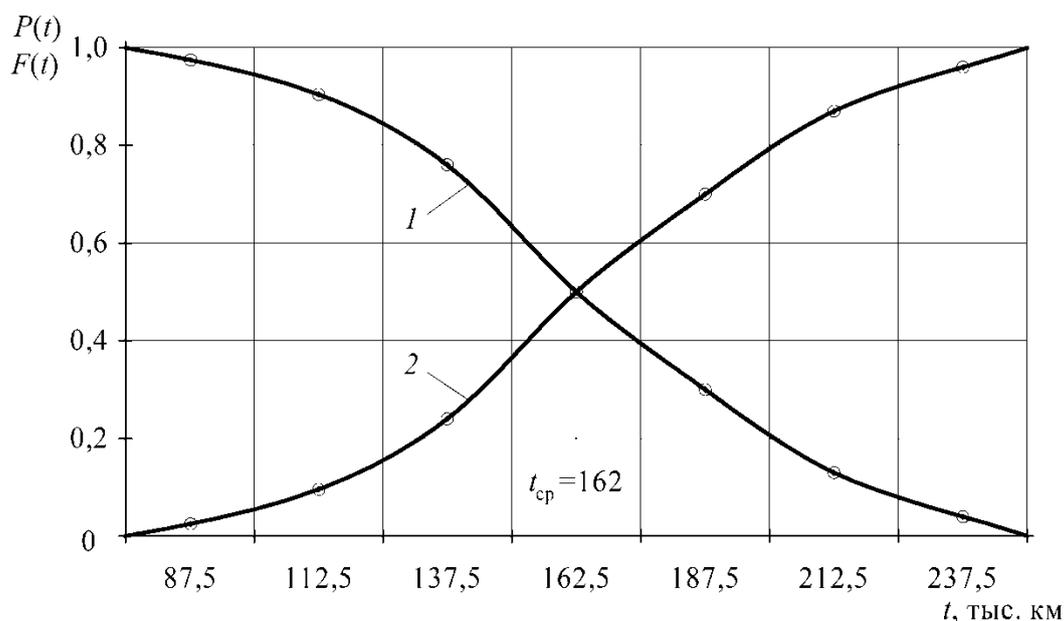


Рис. 6.2. График функции вероятности безотказной работы (1) и вероятности отказов (2)

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности;
- гистограмму распределения наработок до отказа, графики функций вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$;
- подбор закона распределения и расчет критерия согласия χ^2 Пирсона;
- заключение и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что лежит в основе выбора закона распределения наработок изделий до отказа?
2. Приведите порядок построения гистограммы распределения наработок до отказа.
3. Как рассчитывают критерий χ^2 Пирсона?
4. Как осуществляют проверку принадлежности опытных данных выбранному закону распределения?

Работа № 7

ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

Цель работы:

- изучить методику обработки результатов испытаний, распределенных по экспоненциальному закону;
- осуществить проверку принадлежности экспериментальных данных экспоненциальному закону распределения с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона.

Общие сведения об экспоненциальном законе распределения

Непрерывная случайная величина t считается распределенной по экспоненциальному закону, если ее плотность вероятности определяется выражением

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ при } t \geq 0, \quad (5)$$

где λ – параметр закона распределения; e – основание натурального логарифма ($e = 2,7183$); t – случайная величина наработки.

При исследовании надежности машин параметр λ может выражать, например, интенсивность отказов или интенсивность их восстановления.

В общем случае экспоненциальным распределением описываются события, которые возникают с постоянной интенсивностью ($\lambda = \text{const}$) и независимо друг от друга (наработки деталей с внезапным характером отказов, трудоемкости их устранения, интервалы времени между поступлениями автомобилей в зону ремонта и др.). Графическая интерпретация экспоненциального распределения представлена на рис. 7.1.

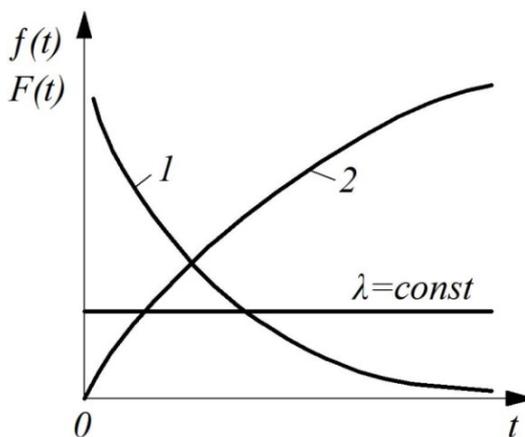


Рис. 7.1. Дифференциальная (1) и интегральная (2) функции экспоненциального распределения

Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $F(t)$ на интервале наработки от 0 до t вычисляются из выражений

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

Средняя наработка до отказа (средний ресурс, средний срок службы, средний срок сохраняемости, среднее время восстановления отказа)

$$t_{\text{cp}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

Среднее квадратическое отклонение для экспоненциального закона распределения

$$\sigma(t) = t_{cp} = \frac{1}{\lambda}.$$

Коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma(t)}{t_{cp}} = 1.$$

Из выражений (5) и (6) следует, что интенсивность отказов λ при экспоненциальном распределении может быть выражена формулой

$$\lambda = \frac{f(t)}{e^{-\lambda t}} = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Принадлежность опытных данных экспоненциальному закону в первом приближении принимается по виду гистограммы их распределения и значению коэффициента вариации v , характеризующего рассеивание случайной величины относительно среднего значения. Экспоненциальному закону соответствует значение коэффициента вариации $v = 0,8 \dots 1,2$.

Выполнение работы

После изучения общих сведений об экспоненциальном распределении студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегата, узла или системы автомобиля, выполняет необходимые расчеты, подбирает закон распределения наработок до отказа и проверяет гипотезу о правильности выбранного закона по критерию согласия χ^2 Пирсона.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2...4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за 41 автомобилем средней грузоподъемности ($N = 41$) были получены следующие наработки до отказа элементов его системы освещения.

Значения наработок до отказа элементов системы освещения автомобиля, тыс. км

8,7; 14,0; 17,1; 72,7; 14,3; 9,9; 24,2; 26,6; 68,8; 40,1; 89,4; 17,7; 48,1; 14,6; 7,1; 6,0; 22,6; 12,4; 11,6; 18,8; 27,3; 4,4; 9,2; 79,6; 13,4; 19,2; 29,6; 34,2; 37,7; 16,8; 13,8; 2,1; 46,6; 38,0; 11,0; 8,1; 42,9; 42,2; 59,4; 50,9; 103,9

Требуется:

- установить закон распределения наработок элементов системы освещения до отказа;
- проверить гипотезу о принадлежности опытных данных экспоненциальному закону распределения;
- построить графики вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказа $F(t)$.

1. Определяем параметры статистического ряда распределения:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 103,9 - 2,1 = 101,8$ тыс. км;
- число интервалов (не меньше) $k = 1 + 3,32 \lg(41) \approx 7$;
- величину интервала $h = R / k = 101,8 / 7 \approx 15$ тыс. км;
- границы интервалов и их средние значения \bar{t}_j ;
- опытные частоты попаданий данных в интервалы наработок \bar{m}_j .

Полученные результаты сводим в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Параметры статистического ряда распределения наработок

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	60 – 75	75 – 90	90 – 105
Середины интервалов \bar{t}_j , тыс. км	7,5	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Опытные частоты \bar{m}_j	16	10	6	4	2	2	1

2. Находим числовые характеристики статистического ряда распределения:

- среднюю наработку до отказа $t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k \bar{m}_j \bar{t}_j = 28,9$ тыс. км;
- среднее квадратическое отклонение $\sigma(t) = 23,0$ тыс. км;
- коэффициент вариации $v = \frac{\sigma(t)}{t} = 0,80$.

3. Строим гистограмму распределения опытных частот \bar{m}_j (рис. 7.2) и по ее виду, а также значению коэффициента вариации $v = 0,80$ предполагаем, что распределение наработок до отказа подчиняется экспоненциальному закону.

4. Определяем интенсивность отказов

$$\lambda = 1 / t_{cp} = 1 / 28\,700 = 0,035 \text{ тыс. км}^{-1}.$$

5. Рассчитываем вероятности попадания наработок до отказа P_{jy} в каждый из интервалов (вероятность усеченного распределения)

$$P_{jy} = P(t_j < \bar{t}_j < t_{j+1}) = e^{-\lambda t_j} - e^{-\lambda t_{j+1}}.$$

Для первого интервала

$$P_{1y}((0 < \bar{t}_1 < 15)) = e^{-0,035 \cdot 0} - e^{-0,035 \cdot 15} = 1 - 0,591 = 0,409.$$

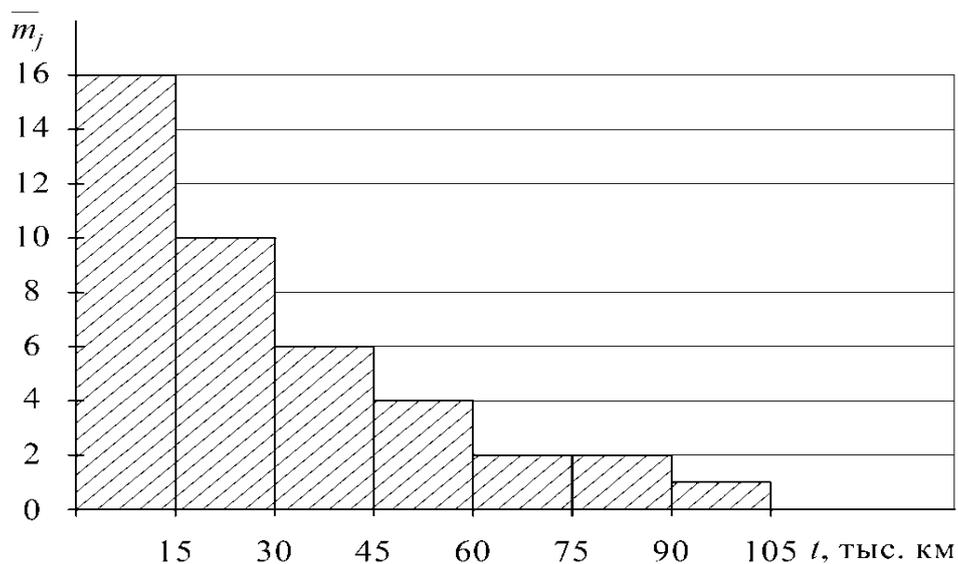


Рис. 7.2. Гистограмма распределения наработок элементов системы освещения до отказа

Аналогично рассчитываем вероятности попадания t в остальные интервалы наработки:

$$P_{1y} = 0,402; P_{2y} = 0,241; P_{3y} = 0,143; P_{4y} = 0,088; P_{5y} = 0,052; P_{6y} = 0,026; P_{7y} = 0,018.$$

6. Определяем нормирующий множитель

$$C = 1 / \sum_{i=1}^7 p_i = 1 / 0,977 = 1,024.$$

7. Рассчитываем исправленные вероятности $P_j = P_{jy} C$:

$P_1 = P_{1y} \cdot 1,024 = 0,419$; $P_2 = 0,247$; $P_3 = 0,146$; $P_4 = 0,090$; $P_5 = 0,053$;
 $P_6 = 0,027$; $P_7 = 0,018$.

8. Определяем теоретические частоты попаданий данных в интервалы наработок $m_j = P_j N$:

- для первого интервала $m_1 = 0,419 \cdot 41 = 17,179$;
- последующих интервалов: $m_2 = 9,881$; $m_3 = 5,863$; $m_4 = 3,608$;
 $m_5 = 2,132$; $m_6 = 1,066$; $m_7 = 0,738$.

9. По опытным данным находим значение критерия согласия χ^2 Пирсона. Для удобства все расчеты сводим в табл. 7.2.

По таблице значений критерия Пирсона при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $S = k - r - 1 = 7 - 1 - 1 = 5$ табличное значение $\chi^2_{\text{табл}} = 11,1$. Поскольку $\chi^2_{\text{опыт}} < \chi^2_{\text{табл}}$, гипотеза о распределении наработок элементов системы освещения по экспоненциальному закону не отвергается.

Таблица 7.2

Результаты расчета критерия согласия χ^2 Пирсона

Интервал	\bar{m}_j	m_j	$\bar{m}_j - m_j$	$(\bar{m}_j - m_j)^2$	$\frac{(\bar{m}_j - m_j)^2}{m_j}$
1-й	16	17,179	-1,179	1,390	0,0809
2-й	10	9,881	0,119	0,014	0,0142
3-й	6	5,863	0,137	1,019	0,1729
4-й	4	3,608	0,392	0,154	0,0427
5-й	2	2,132	-0,132	0,017	0,0080
6-й	2	1,066	0,934	0,872	0,8180
7-й	1	0,738	0,262	0,069	0,0935
Σ	41	40,467	—	—	$\chi^2_{\text{опыт}} = 1,230$

10. Определяем значения интегральных функций распределения отказов $F(t)$ и вероятностей безотказной работы $P(t)$ по интервалам наработки.

Вероятности отказов: $F(t_1) = 0,419$; $F(t_2) = 0,419 + 0,247 = 0,666$;
 $F(t_3) = 0,666 + 0,146 = 0,812$; ... ; $F(t_7) = 1$.

Вероятности безотказной работы: $P(t_1) = 1 - F(t_1) = 1 - 0,419 = 0,581$;
 $P(t_2) = 1 - F(t_2) = 1 - 0,666 = 0,334$; ... ; $P(t_7) = 1 - F(t_7) = 1 - 1 = 0$.

Результаты расчета интегральных функций сведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты расчета функций распределения $F(t)$ и $P(t)$

Функция	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$F(t_i)$	0,419	0,666	0,812	0,902	0,955	0,982	1
$P(t_i)$	0,581	0,334	0,188	0,098	0,045	0,018	0

11. Используя найденные по интервалам наработки значения $F(t_i)$ и $P(t_i)$, строим графики функций распределения вероятности отказов и безотказной работы (рис. 7.3).

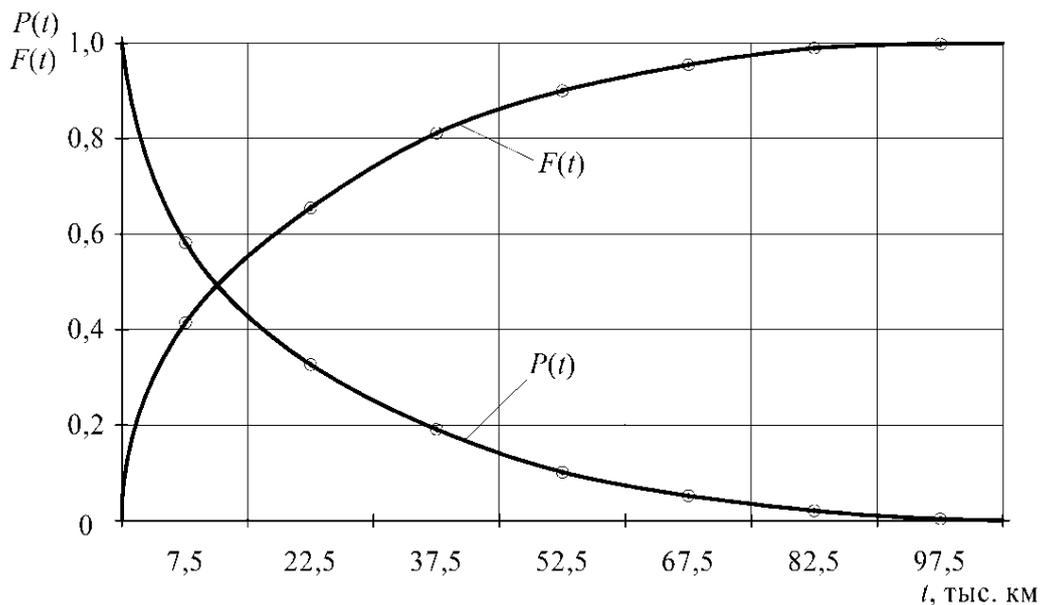


Рис. 7.3. Интегральные функции распределения отказов $F(t)$ и безотказной работы $P(t)$ элементов системы освещения автомобиля

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности;
- подбор закона распределения;
- гистограмму распределения наработок до отказа, графики распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказов $F(t)$;

- проверку гипотезы о принадлежности опытных данных экспоненциальному закону распределения по критерию согласия χ^2 Пирсона.

Контрольные вопросы

1. Как определяют числовые характеристики распределения наработок автомобиля до отказа?
2. Для описания каких отказов используют экспоненциальное распределение?
3. Постройте графики интегральной функции распределения отказов $F(t)$ и вероятности безотказной работ $P(t)$ для экспоненциального закона распределения.
4. Как проверяют гипотезу о принадлежности опытных данных выбранному распределению с помощью критерия согласия χ^2 ?

Работа № 8

ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ ВЕЙБУЛЛА

Цель работы:

- изучить порядок обработки результатов испытаний, распределенных по закону Вейбулла;
- осуществить проверку принадлежности экспериментальных данных закону распределения Вейбулла с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона.

Общие сведения

Непрерывная случайная величина t называется распределенной по закону Вейбулла, если ее плотность распределения имеет вид

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a} \right)^b} \quad \text{при } t > 0,$$

где a – параметр масштаба распределения, характеризующий растянутость кривых наработки t вдоль оси абсцисс; b – параметр формы распределения.

Распределение Вейбулла – гибкое распределение; оно часто принимается в качестве статистической модели для описания самых разнообразных отказов. Хорошо проявляется в модели «слабого звена». Например, в двигатель кроме блока цилиндров, картера, коленчатого вала, поршней, шатунов входят менее долговечные детали: поршневые кольца, вкладыши, прокладки, уплотнения и др. Они отказывают в разные сроки, а наработка двигателя на отказ определяется отказом наиболее слабого звена.

Таким образом, распределение Вейбулла занимает особое место при оценке ресурса работы многих узлов и агрегатов автомобиля. При этом в зависимости от параметра b оно может принимать самые разнообразные формы.

При $b < 1$ это убывающая функция; при $b \approx 1$ функция совпадает с экспонентой; при $b \approx 3,0$ функция совпадает с нормальным распределением.

В инженерных расчетах показатели распределения Вейбулла t_{cp} и $\sigma(t)$ определяются по формулам

$$t_{cp} = ak_B; \quad \sigma(t) = aq_B,$$

где k_B и q_B – коэффициенты, определяемые из выражений

$$k_B = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right); \quad q_B = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - k_B^2},$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция, значения которой приведены в таблицах математической статистики.

Коэффициент вариации определяется по формуле

$$v = \frac{\sigma(t)}{t_{cp}} = \frac{aq_B}{ak_B} = \frac{q_B}{k_B}.$$

Из математической статистики известно, что параметр формы распределения Вейбулла b является функцией коэффициента вариации v , т. е.

$$b = f(v) = f\{\sigma(t) / t_{cp}\}.$$

Для удобства вычислений при определении параметра формы b , а также коэффициентов k_B и q_B в зависимости от коэффициента вариации

ν в работах по математической статистике имеются специальные таблицы (для некоторых значений коэффициента ν они приведены в табл. 8.1).

Таблица 8.1

Зависимость параметра распределения b и коэффициентов k_b и q_b от коэффициента вариации ν

Коэффициент вариации ν	Параметр распределения b	Коэффициент	
		k_b	q_b
0,120	10,0	0,951	0,114
0,170	6,9	0,935	0,159
0,200	5,8	0,926	0,184
0,281	4,0	0,906	0,255
0,315	3,5	0,900	0,285
0,365	3,0	0,893	0,326
0,410	2,7	0,890	0,350
0,500	2,1	0,886	0,443

Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность возникновения отказа $F(t)$ до наработки t находят по формулам

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}; \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}.$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ и плотность вероятностей распределения $f(t)$ по интервалам наработки t_i определяют из выражений

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}; \quad f(t_i) = P(t_i) / \lambda(t_i).$$

Выполнение работы

После изучения общих сведений о распределении Вейбулла студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегата, узла или системы автомобиля, выполняет необходимые расчеты показателей надежности, подбирает закон распределения наработок до отказа и проверяет гипотезу о правильности выбранного закона по критерию согласия χ^2 Пирсона, строит графики вероятностей безотказной работы $P(t)$, отказа $F(t)$, плотности распределения $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 4 часа.

Пример. По результатам эксплуатационных испытаний 50 автомобилей средней грузоподъемности ($N = 50$) установлены наработки до предельного состояния ведомых дисков сцепления.

Значения наработок до отказа ведомых дисков сцепления

36; 34; 65; 45; 56; 32; 42; 82; 55; 24; 65; 44; 61; 67; 43; 61; 75; 18; 32; 45; 29; 52; 53; 75; 21; 102; 44; 71; 31; 96; 59; 69; 19; 15; 66; 47; 41; 72; 33; 115; 43; 88; 55; 47; 68; 30; 54; 42; 50; 81
--

Требуется:

- установить закон распределения наработок ведомых дисков сцепления до отказа;
- проверить гипотезу о принадлежности опытных данных закону распределения Вейбулла;
- построить графики вероятностей безотказной работы $P(t)$, отказа $F(t)$, плотности распределения $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$.

1. Рассчитываем параметры статистического ряда распределения:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 115 - 15 = 100$ тыс. км;
- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg(50) = 6,6406 \approx 7$;
- величину интервала $h = R / k = 100 / 7 \approx 15$ тыс. км;
- середины интервалов (тыс. км): $\bar{t}_1 = 22,5$; $\bar{t}_2 = 37,5$; $\bar{t}_3 = 52,5$;
 $\bar{t}_4 = 67,5$; $\bar{t}_5 = 82,5$; $\bar{t}_6 = 97,5$; $\bar{t}_7 = 112,5$;
- частоты попаданий наработок в эти интервалы: $\bar{m}_1 = 6$; $\bar{m}_2 = 14$;
 $\bar{m}_3 = 12$; $\bar{m}_4 = 9$; $\bar{m}_5 = 6$; $\bar{m}_6 = 2$; $\bar{m}_7 = 1$.

2. Определяем числовые характеристики выборки:

$$\bar{t}_{\text{ср}} = 54 \text{ тыс. км}; \sigma(t) = 22,4 \text{ тыс. км}; \nu = 0,41.$$

3. Строим гистограмму распределения частоты отказов (рис. 8.1). По виду гистограммы и коэффициенту корреляции $\nu = 0,41$ предполагаем, что отказы ведомых дисков согласуются с законом Вейбулла.

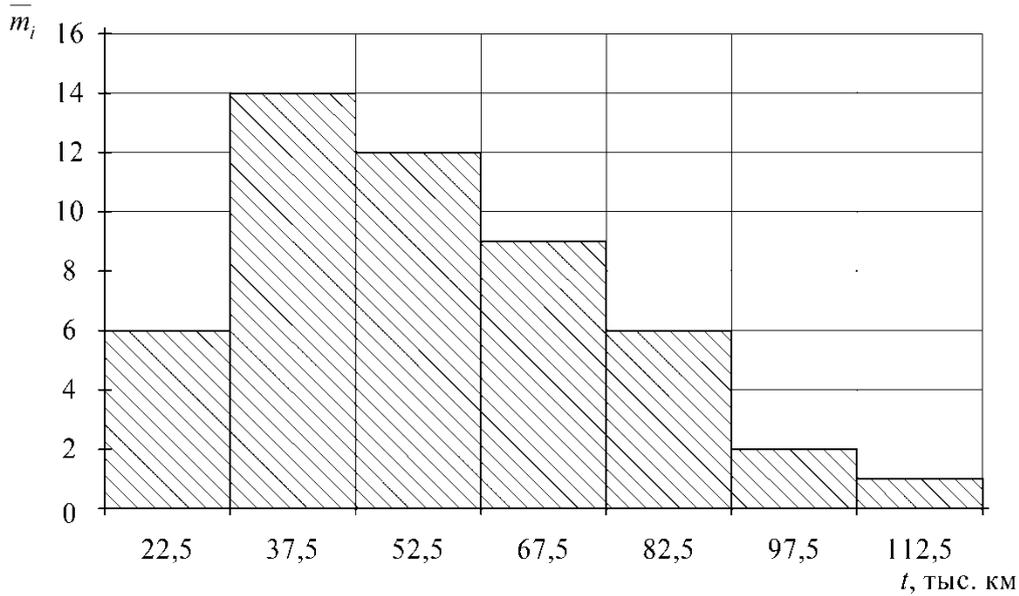


Рис. 8.1. Гистограмма распределения наработок до отказа ведомых дисков сцепления

4. По таблице значений параметров распределения Вейбулла (см. табл. 8.1) для коэффициента вариации $v = 0,41$ находим:

- параметр формы распределения $b = 2,7$;
- коэффициенты $k_B = 0,890$ и $q_B = 0,350$;
- параметр масштаба распределения $a = \bar{t}_{\text{ср}} / k_B = 60,7$ тыс. км.

5. По формуле (7) определяем теоретические вероятности попадания случайной величины t_i в интервалы наработки

$$p_i(t_i < t < t_{i+1}) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} - e^{-\left(\frac{t_{i+1}}{a}\right)^b}; \quad (7)$$

- для первого интервала $p(t_1) = e^{-\left(\frac{15}{60,7}\right)^{2,7}} - e^{-\left(\frac{30}{60,7}\right)^{2,7}} = 0,149 - 0,029 = 0,126$;

- для последующих интервалов: $p(t_2) = 0,224$; $p(t_3) = 0,263$; $p(t_4) = 0,210$; $p(t_5) = 0,110$; $p(t_6) = 0,038$; $p(t_7) = 0,035$.

6. Вычисляем теоретические частоты попадания отказов в интервалы наработок $m_i = p(t_i)N$:

- для первого интервала $m_1 = 0,120 \cdot 50 = 6,0$;
- для последующих интервалов $m_2 = 11,2$; $m_3 = 13,2$; $m_4 = 10,5$; $m_5 = 5,5$; $m_6 = 1,9$; $m_7 = 1,8$.

7. Проверяем гипотезу соответствия распределения наработок ведомых дисков до отказа закону Вейбулла, для чего рассчитываем критерий согласия χ^2 Пирсона (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Результаты расчета критерия χ^2 Пирсона

Интервал	Опытная частота \bar{m}_i	Теоретическая частота m_i	$\bar{m}_i - m_i$	$(\bar{m}_i - m_i)^2$	$\frac{(\bar{m}_i - m_i)^2}{m_i}$
1-й	6	6,00	0	0	0
2-й	14	11,20	2,80	7,84	0,700
3-й	12	13,15	1,15	1,32	0,100
4-й	9	10,50	1,50	2,25	0,214
5-й	6	5,50	0,50	0,25	0,045
6-й	2	1,90	0,10	0,01	0,005
7-й	1	1,83	0,83	0,68	0,373
Σ	50	50,06	—	—	$\chi_{\text{опыт}}^2 = 1,44$

Определяем табличное значение критерия Пирсона. Распределение Вейбулла двухпараметрическое ($r = 2$), поэтому при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $S = k - r - 1 = 7 - 2 - 1 = 4$ табличное значение критерия Пирсона составит $\chi_{\text{табл}}^2 = 9,49$. Так как $\chi_{\text{опыт}}^2 < \chi_{\text{табл}}^2$ гипотеза о принадлежности опытных данных закону Вейбулла не отвергается.

8. Для построения интегральных функций $F(t)$ и $P(t)$ используем найденные значения теоретических вероятностей $p(t_i)$ попадания наработок t в интервалы наработок

$$F(t_i) = \sum_1^i p(t_i);$$

- для первого интервала $F(t_1) = p(t_1) = 0,120$;
- для последующих интервалов: $F(t_2) = p(t_1) + p(t_2) = 0,120 + 0,224 = 0,344$; ... ; $F(t_7) = p(t_1) + p(t_2) \dots + p(t_7) = 1,0$.

Интервальные значения вероятностей безотказной работы находим из выражения

$$P(t_i) = 1 - F(t_i).$$

Результаты расчета сведены в табл. 8.3.

Результаты расчета функций распределения

Функция распределения	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$F(t_i)$	0,1200	0,3440	0,6070	0,817	0,927	0,965	1,000
$P(t_i)$	0,8800	0,6560	0,3930	0,183	0,073	0,035	0
$\lambda(t_i)$	0,0083	0,0200	0,0348	0,054	0,076	0,101	0,128
$f(t_i)$	0,0073	0,0131	0,0137	0,010	0,006	0,003	0

Графическое изображение функций $F(t)$ и $P(t)$ представлено на рис. 8.2.

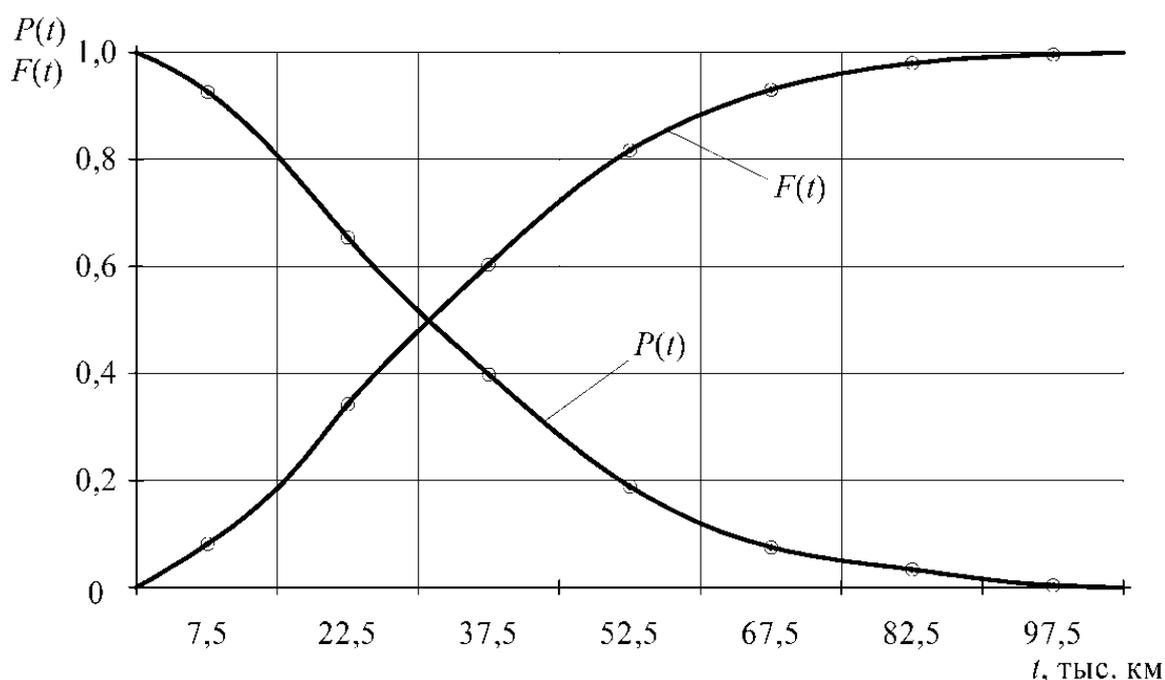


Рис. 8.2. Графики вероятностей отказов $F(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$ ведомых дисков сцепления

9. Рассчитываем интенсивность отказов $\lambda(t)$ и плотность вероятностей распределения $f(t)$ по интервалам наработки t_i :

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} ; f(t_i) = P(t_i) / \lambda(t_i).$$

Результаты расчета см. в табл. 8.3. Графическое изображение кривых $\lambda(t)$ и $f(t)$ представлено на рис. 8.3.

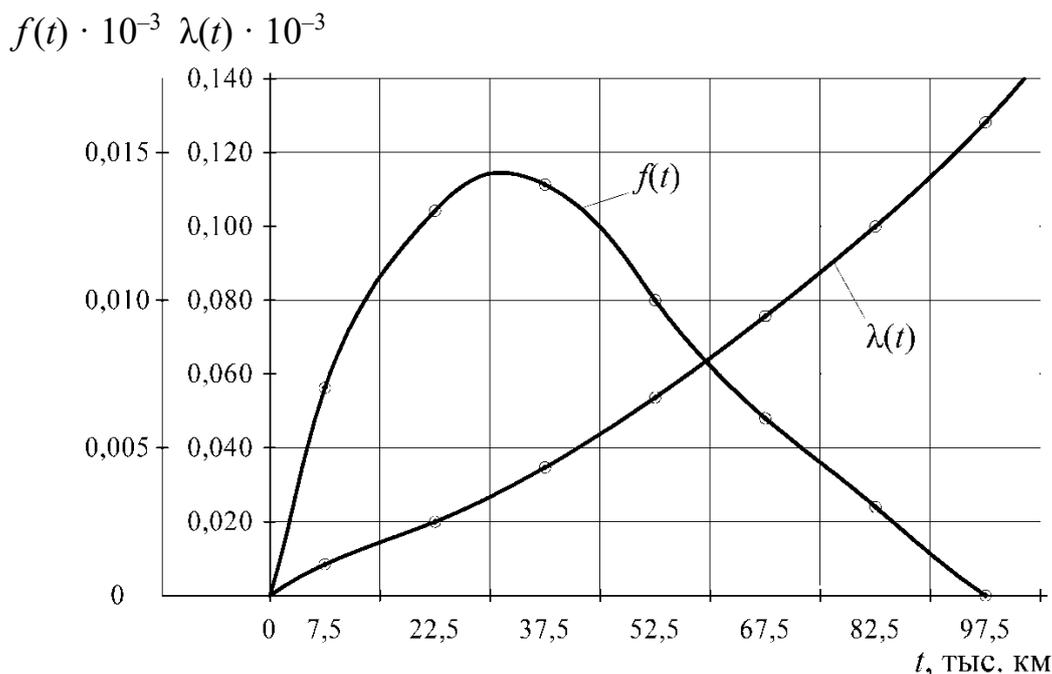


Рис. 8.3. Графики плотности распределения $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$ ведомых дисков сцепления

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности;
- гистограмму распределения наработок до отказа, графики распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$, отказов $F(t)$, плотности распределения $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$;
- проверку гипотезы о принадлежности опытных данных закону распределения Вейбулла по критерию согласия χ^2 Пирсона.

Контрольные вопросы

1. Как рассчитывают параметры статистического ряда распределения наработок изделия до предельного состояния?
2. Для описания каких отказов используют закон распределения Вейбулла?
3. Постройте графики интегральной функции распределения отказов $F(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$ для закона распределения Вейбулла.

4. Что лежит в основе выбора гипотезы о законе распределения отказов?

5. Как осуществляют проверку гипотезы о принадлежности опытных данных предполагаемому закону распределения?

Работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Цель работы:

- изучить особенности обработки статистических данных по результатам незавершенных испытаний;
- особенности расчета и построения интегральных функций распределения вероятностей отказов $F(t)$ и безотказной работы $P(t)$ при незавершенных испытаниях.

Общие сведения о незавершенных испытаниях

При испытаниях на надежность нередко возникают ситуации, когда к моменту анализа информации не все изделия доведены до предельного состояния, т. е. не полностью реализовали свой ресурс. Часть изделий в партии обследования остается работоспособной и, естественно, содержит в себе определенную информацию о реальных показателях надежности. В этом случае мы имеем дело с незавершенными испытаниями, причинами которых могут быть разные сроки начала испытаний, большая длительность их проведения, снятие части изделий с испытаний из-за отказов неисследуемых элементов, аварии машин и по другим причинам.

При эксплуатационных испытаниях автомобилей наиболее типичными являются случаи, когда к моменту их завершения в выборке остаются работоспособные изделия, наработка которых до предельного состояния не установлена. Например, при наблюдении за партией автомобилей $N = 30$ ед. на наработке 150 тыс. км отказало 25 исследуемых элементов. Нарботки остальных пяти элементов не установлены, так как испытания этих автомобилей были приостановлены по различным причинам. В этом случае оценка показателей надежности

только по 25 отказавшим элементам была бы необъективной, так как не учтены потенциальные ресурсы пяти оставшихся элементов, испытания по которым были приостановлены.

При незавершенных испытаниях обработка информации о надежности осуществляется на основе *прогнозирования отказов* с учетом наработок оставшихся работоспособных элементов к моменту приостановки испытаний. Обработка результатов испытаний в этом случае отличается от обработки результатов завершенных испытаний особенностями построения статистического ряда распределения.

Вначале так же, как и при завершенных испытаниях, по результатам полученных данных о надежности отказавших изделий определяются: размах выборки, число интервалов, ширина интервала, границы интервалов и их средние значения, частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок.

Определяется прогнозируемое количество отказов в каждом i -м интервале m_i с учетом не отказавших из-за приостановки испытаний изделий:

$$m_i = k_i n_i, \quad (8)$$

и к концу каждого интервала

$$\sum m_i = \sum m_{(i-1)} + m_i, \quad (9)$$

где $m_{(i-1)}$ – прогнозируемое число отказов в интервале $(i-1)$; n_i – количество отказавших изделий в i -м интервале; $k_i n_i$ – прогнозируемое количество отказов в i -м интервале; k_i – коэффициент приращения количества отказов в i -м интервале наработки, учитывающий наработки неотказавших изделий.

Коэффициент k_i определяется по формуле

$$k_i = \frac{N + 1 - m_{(i-1)}}{N + 1 - \sum g_i - \sum n_{(i-1)}},$$

где N – общее количество изделий в выборке обследования; $\sum g_i$ – общее количество выбывших к концу i -го интервала изделий из-за приостановки испытаний; $\sum n_{(i-1)}$ – общее количество отказов к концу i -го интервала.

Для первого интервала

$$k_1 = \frac{N + 1 - 0}{N + 1 - g_1 - 0}; \quad m_1 = k_1 n_1; \quad \sum m_1 = m_1.$$

Для второго интервала

$$k_2 = \frac{N+1-m_1}{N+1-\sum_1^2 g_i - n_i}; \quad m_2 = k_2 n_2; \quad \sum m_2 = \sum m_1 + m_2 \text{ и т. д.}$$

Вероятность отказа исследуемого изделия к концу каждого i -го интервала с учетом неотказавших изделий находится из выражения

$$F(t_i) = \frac{m_i}{N+1}.$$

Прогнозируемый средний ресурс исследуемого изделия с учетом незавершенных по разным причинам испытаний определяется из выражения

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i m_i,$$

где t_i – среднее значение i -го интервала.

Выполнение работы

После изучения общих сведений о незавершенных испытаниях студент получает *персональные статистические данные* по наработкам до отказа агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет необходимые расчеты.

Продолжительность работы – 2 часа.

Пример. При проведении эксплуатационных испытаний из выборки объемом 40 автомобилей 10 были сняты с испытаний по разным причинам, не относящимся к отказам *тормозных накладок*. Нарботки до отказа накладок оставшихся 30 автомобилей представлены ниже. По остальным 10 автомобилям испытания были приостановлены на следующих наработках с начала эксплуатации: 36, 42, 45, 53, 55, 57, 62, 64, 67, 74 тыс. км.

Значения наработок тормозных накладок до отказа

42;	49;	53;	49;	54;	47;	44;	32;	57;	51;
67;	72;	39;	48;	56;	35;	41;	59;	76;	27;
58;	36;	64;	44;	52;	47;	55;	43;	45;	62

Требуется:

- определить прогнозируемое число отказов в каждом интервале наработки m_i и к концу каждого интервала Σm_i ;

- вероятности отказа $F(t)$ и безотказной работы $P(t)$;

- средний ресурс изделия t_{cp} ;

- построить графики функций распределения $F(t)$ и $P(t)$.

1. Определяем параметры статистического ряда распределения:

- размах выборки $R = t_{max} - t_{min} = 76 - 27 = 49$ тыс. км;

- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg(30) \approx 6$;

- величина интервала $h = R / k = 49 / 6 \approx 10$ тыс. км;

- середины интервалов: $t_1 = 25$; $t_2 = 35$; $t_3 = 45$; $t_4 = 55$; $t_5 = 65$; $t_6 = 75$ тыс. км;

- частоты попаданий наработок в эти интервалы: $n_1 = 1$; $n_2 = 4$; $n_3 = 11$; $n_4 = 9$; $n_5 = 3$; $n_6 = 2$.

Полученные данные испытаний представим в виде упорядоченного статистического ряда (табл. 9.1).

2. По формулам (8) и (9) рассчитываем значения k_i и m_i по интервалам наработки.

Для первого интервала

$$k_1 = \frac{40 + 1}{40 + 1 - 0 - 0} = 1; m_1 = 1 \cdot 1 = 1; \Sigma m_1 = 1.$$

Для второго интервала

$$k_2 = \frac{40 + 1 - 1}{40 + 1 - 1 - 1} = 1,026; m_2 = 1,026 \cdot 4 = 4,104; \Sigma m_2 = 1 + 4,104 = 5,104.$$

Для третьего интервала

$$k_3 = \frac{40 + 1 - 5,104}{40 + 1 - 3 - 5} = 1,088; m_3 = 1,088 \cdot 11 = 11,968; \Sigma m_3 = 5,104 + 1,968 = 17,072.$$

Таким же образом рассчитываем значения k_i и m_i для остальных интервалов наработки и результаты сводим в табл. 9.1.

После того как определено прогнозируемое количество отказов m_i по интервалам наработки, дальнейшая обработка информации проводится так же, как и при завершенных испытаниях.

Таблица 9.1

Результаты обработки информации при незавершенных испытаниях

Интервал наработки, тыс. км	n_i	Σn_i	g_i	Σg_i	k_i	$m_i = n_i k_i$	Σm_i
20 – 30	1	1	–	–	1	1	1
30 – 40	4	5	1	1	1,026	4,104	5,104
40 – 50	11	16	2	3	1,088	11,968	17,072
50 – 60	9	25	3	6	1,259	11,331	28,403
60 – 70	3	28	3	9	1,799	5,397	33,800
70 – 80	2	30	1	10	2,400	4,800	38,600

3. Определяем значения интегральных функций распределения отказов тормозных накладок $F(t)$ и вероятностей безотказной работы $P(t)$ по интервалам наработки.

Вероятности отказов:

$$F(t_1) = \frac{1}{40+1} = 0,024 ; F(t_2) = \frac{5,104}{41} = 0,124 ; F(t_3) = \frac{17,072}{41} = 0,416 \text{ и т. д.}$$

Вероятности безотказной работы:

$$P(t_1) = 1 - F(t_1) = 1 - 0,24 = 0,976; P(t_2) = 1 - F(t_2) = 1 - 0,124 = 0,876 \text{ и т. д.}$$

Результаты расчета интегральных функций сводим в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты расчета функций распределения $F(t)$ и $P(t)$

Функция	Интервал					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
$F(t)$	0,024	0,124	0,416	0,693	0,824	0,941
$P(t)$	0,976	0,876	0,584	0,307	0,176	0,059

4. По найденным значениям $F(t)$ и $P(t)$ строим соответствующие графики этих функций (рис. 9).

Прогнозируемый средний ресурс тормозных накладок с учетом снятых с испытаний автомобилей составит

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i m_i = \frac{1}{40} \{25 \cdot 1 + 35 \cdot 4,104 + 45 \cdot 11,968 + 55 \cdot 11,331 + 65 \cdot 5,397 + 75 \cdot 4,8\} = 51,2 \text{ тыс. км.}$$

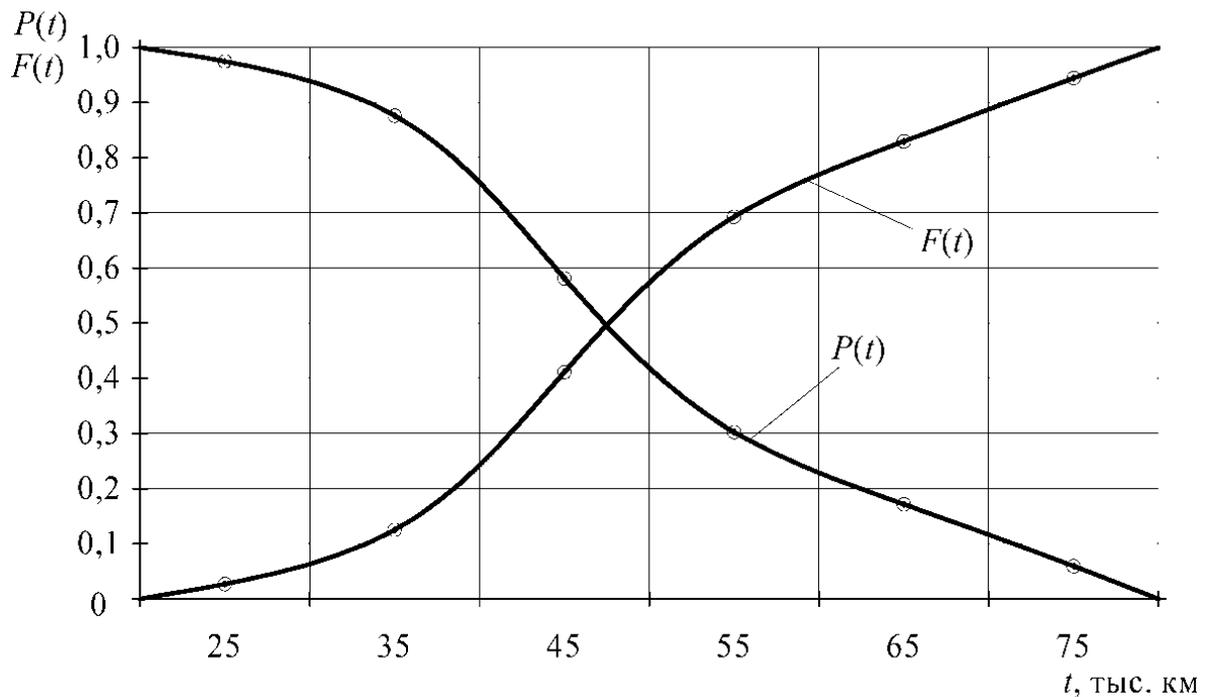


Рис. 9. Графики вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказов $F(t)$ тормозных накладок автомобиля

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов;
- графики функций распределения $F(t)$ и $P(t)$;
- заключение и выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются особенности построения вариационного ряда при незавершенных испытаниях?
2. Как определяют прогнозируемое число отказов по интервалам наработки по результатам незавершенных испытаний?
3. Что понимают под коэффициентом приращения количества отказов в i -м интервале наработки изделия?
4. Как определяют прогнозируемый средний ресурс изделий при незавершенных испытаниях?

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Цель работы:

- изучить способы резервирования как метода повышения надежности технических систем;
- осуществить расчет показателей надежности тормозных систем автомобилей.

Общие сведения о резервировании технических систем

Надежность любой технической системы, состоящей из заданного числа элементов, зависит не только от надежности каждого из них, но и от способа их соединения. Анализ схемы соединения топливных фильтров двигателя (рис. 10.1, *а*), например, включающей фильтры грубой 1 и тонкой 2 очистки, показывает, что при засорении (отказе) любого из них нарушается подача топлива. Такое соединение конструктивных элементов, когда отказ одного из них вызывает отказ системы в целом, называется *последовательным*.

Если вероятность безотказной работы каждого из фильтров в пределах заданной наработки равна P_1 и P_2 , то вероятность безотказной работы системы очистки топлива в целом определяется из выражения

$$P(t) = P_1 P_2.$$

Соединение масляных фильтров грубой 3 и тонкой 4 очистки системы смазки двигателя конструктивно выполнено по другой схеме (рис. 10.1, *б*). Фильтры работают независимо друг от друга, и отказ одного из них не отражается на работе другого. Такое включение фильтров считается *параллельным*. Вероятность безотказной работы фильтров при такой системе соединения определяется по формуле

$$P(t) = 1 - (1 - P_3)(1 - P_4), \quad (10)$$

где P_3 , P_4 – вероятности безотказной работы фильтров тонкой и центробежной очистки соответственно.

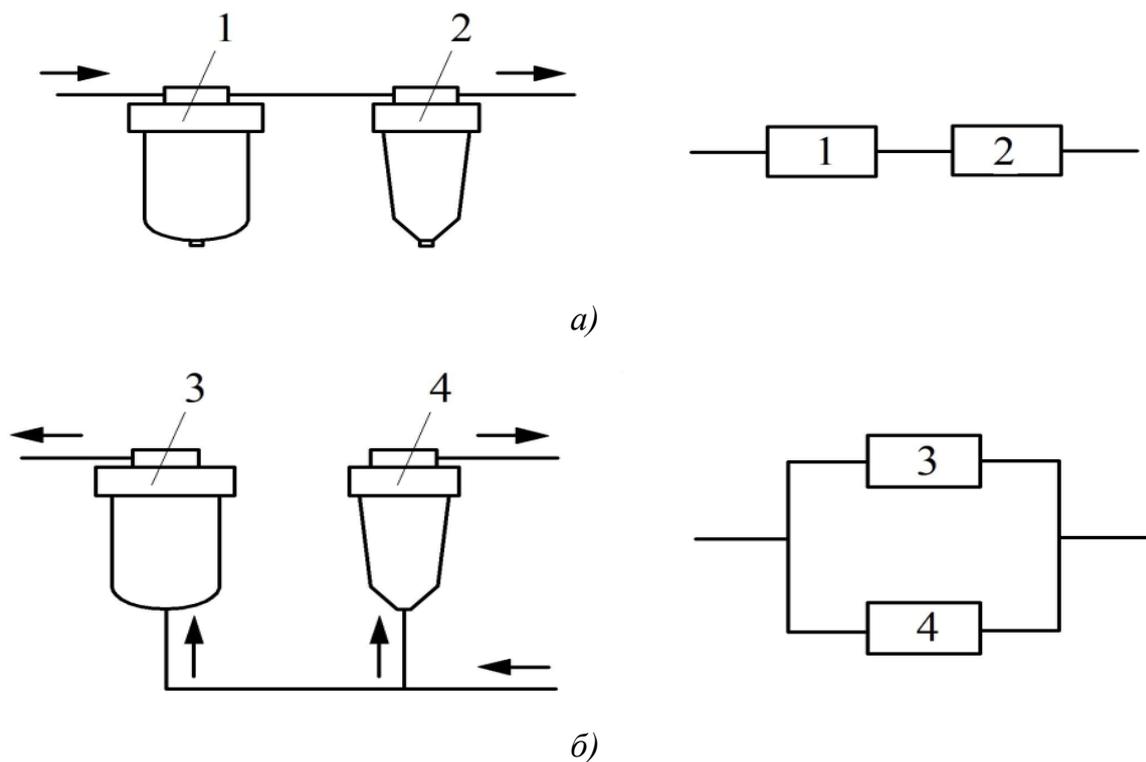


Рис. 10.1. Схемы соединения фильтров:
 а – в системе питания; б – в системе смазки

Анализ последней формулы показывает, что параллельное соединение элементов значительно повышает безотказную работу, следовательно, и надежность всей системы. Если, например, вероятность безотказной работы каждого фильтра принять равной $P = 0,9$, то вероятность безотказной работы системы очистки масла составит $P(t) = 1 - (0,1)^2 = 0,99$, т. е. она будет существенно выше каждого из входящих в нее фильтров. Поэтому параллельное включение элементов системы является основой весьма важного метода повышения надежности – резервирования.

В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 **резервирование** – это способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, сверх минимально необходимых для выполнения требуемых функций.

При резервировании конструктивные элементы машины могут быть основными и резервными. *Основным* называют элемент структуры объекта, необходимый для выполнения объектом заданных функций без использования резерва. *Резервный* элемент предназначен для обеспечения работоспособности объекта при отказе основного элемента.

В случае, когда резервный элемент работает в том же режиме, что и основной, он считается *нагруженным*. Если резервный элемент работает с меньшей интенсивностью, чем основной, такой режим нагружения носит название *облегченного*.

Резервирование может быть и *ненагруженным*, если резервный элемент не работает до тех пор, пока не отказал основной.

К резервированию прибегают в основном при разработке систем, состоящих из последовательно соединенных конструктивных элементов. При этом возможно несколько вариантов их резервирования:

а) раздельное резервирование, обеспечивающее включение резервных элементов при отказе отдельных основных элементов системы;

б) общее резервирование, при котором в случае отказа любого элемента основной системы включается резервная система, полностью заменяющая работу основной.

Использование структурной избыточности при резервировании ведет к усложнению системы, ее удорожанию. В связи с этим резервирование используют в системах, к которым предъявляются повышенные требования к надежности. В автомобильной технике это в основном тормозные системы, отказы которых приводят к аварийным ситуациям. По статистике отказы тормозных систем приводят к наиболее серьезным ДТП с тяжелыми последствиями, поэтому для повышения надежности используют различные варианты их резервирования.

Современные автомобили оборудуют запасными тормозными системами, которые включаются в работу при отказе рабочей системы. Для повышения безопасности в автомобилях с гидравлическим приводом рабочая тормозная система выполняется по схеме с двумя независимыми контурами, что позволяет сохранять работоспособность при отказе одного из них.

Схемы разнесения независимых контуров, включающие в себя секции главного тормозного цилиндра и колесные цилиндры, могут быть различными. На рис 10.2, *а* в один контур объединены первая секция главного тормозного цилиндра 1 и колесные цилиндры передних тормозов. Второй контур включает вторую секцию главного цилиндра 2 и цилиндры задних колес.

На рис. 10.2, б показана диагональная схема разделения контуров, при которой один из них объединяет колесные цилиндры правого переднего и левого заднего тормозов, а второй – колесные цилиндры левого переднего и правого заднего тормозных механизмов.

Такие структурные схемы соединений тормозной системы являются параллельными. Вероятность безотказной работы тормозной системы $P(t)$, выполненная по одной из таких схем, определяется по формуле (10).

Если принять условно вероятности безотказной работы обоих контуров равными $P_1 = P_2 = 0,9$, то

$$P(t) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) = 0,99.$$

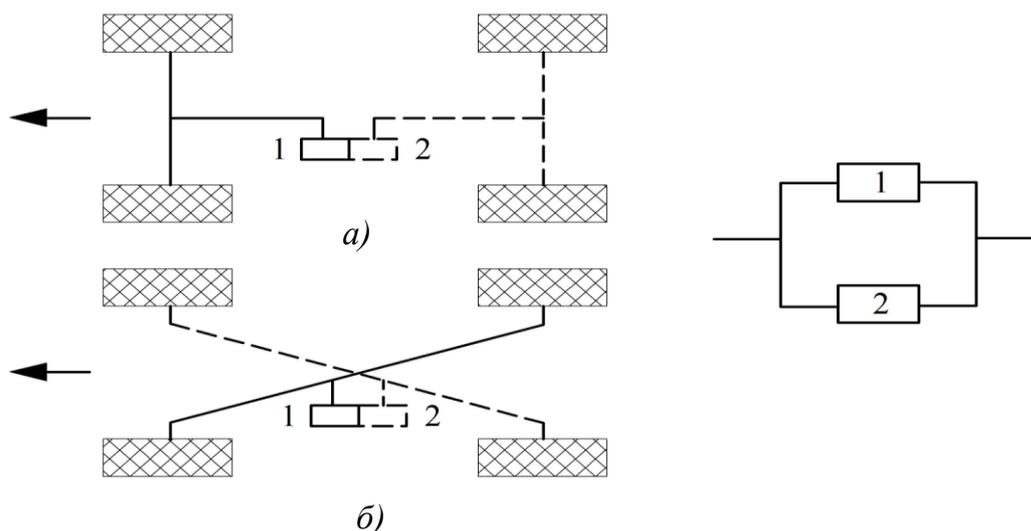


Рис. 10.2. Схемы тормозных систем с осевым (а) и диагональным (б) разделением контуров: 1 – контур, объединяющий первую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы колес; 2 – контур, объединяющий вторую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы колес

Очевидный недостаток этих схем состоит в том, что отказ любого контура снижает эффективность торможения автомобиля, так как тормозные механизмы одного из контуров не участвуют в торможении.

На рис. 10.3 показана схема тормозной системы с резервированием одного из контуров (передних дисковых тормозов). Дисковые тормоза при этом являются составной частью тормозного механизма (как основной тормозной системы, так и резервной).

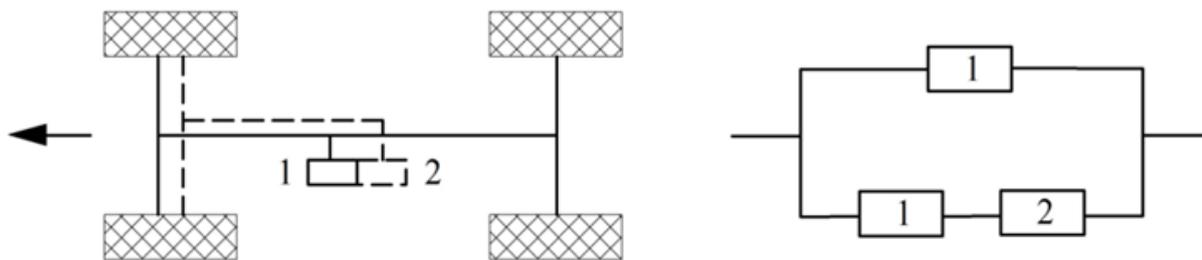


Рис. 10.3. Схема тормозной системы с резервированием переднего контура: 1 – контур, объединяющий первую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы всех колес; 2 – контур, объединяющий вторую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы передних колес

Вероятность безотказной работы тормозной системы, выполненной по такой схеме раздельного резервирования, определяется из выражения

$$P(t) = [1 - (1 - P_1)^2] P_2 = 0,891.$$

Более надежной является схема раздельного резервирования, в которой работоспособным всегда остается один из контуров, объединяющий цилиндры двух передних и одного заднего колес, т. е. в процессе торможения участвуют три тормозных механизма (рис. 10.4).

Вероятность безотказной работы тормозной системы с таким видом резервирования составляет

$$P(t) = 1 - (1 - P_1) (1 - P_1 P_2) = 0,981.$$

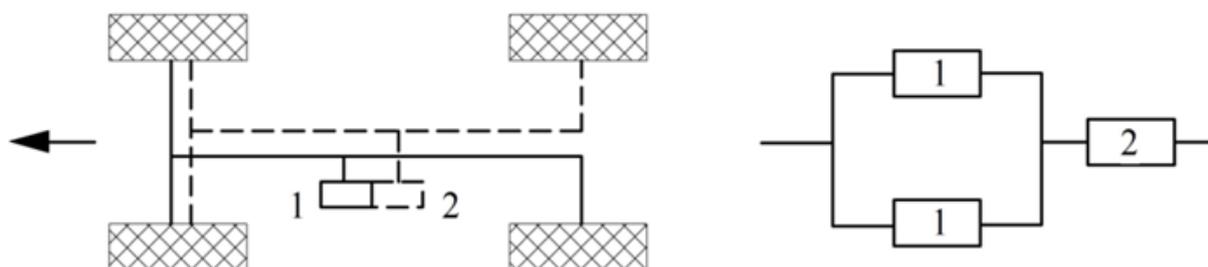


Рис. 10.4. Схема тормозной системы с резервированием переднего контура и одного из цилиндров задних колес: 1 – контур, объединяющий первую секцию главного тормозного цилиндра, тормозные механизмы передних и заднего левого колес; 2 – контур, объединяющий вторую секцию главного тормозного цилиндра, тормозные механизмы передних и заднего правого колес

На рис. 10.5 показана схема тормозной системы с общим резервированием, в которой любой из контуров осуществляет торможение всех колес, поэтому отказ одного из них не снижает тормозные качества автомобиля. В этом случае

$$P(t) = 1 - (1 - P_1 P_2)^2 = 0,964.$$

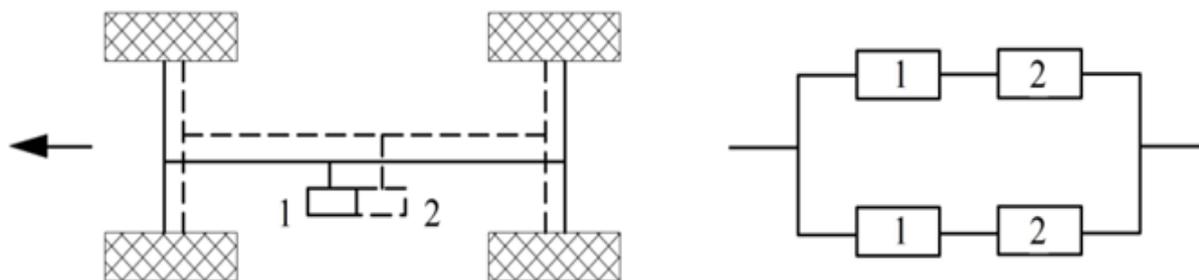


Рис. 10.5. Схема тормозной системы с общим резервированием: 1 – контур, объединяющий первую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы всех колес; 2 – контур, объединяющий вторую секцию главного тормозного цилиндра и тормозные механизмы всех колес

В любой схеме резервирования тормозной системы обязательным является наличие двух независимых главных тормозных цилиндров. Как правило, конструктивно они расположены последовательно в одном корпусе с приводом от педали одним штоком.

Оценка надежности тормозных систем

Тормозные системы современных автомобилей являются достаточно сложными и многоэлементными. Надежность этих систем зависит от способа включения элементов и надежности каждого из них. На рис. 10.6 показаны двухконтурные тормозные системы автомобилей с гидравлическим приводом.

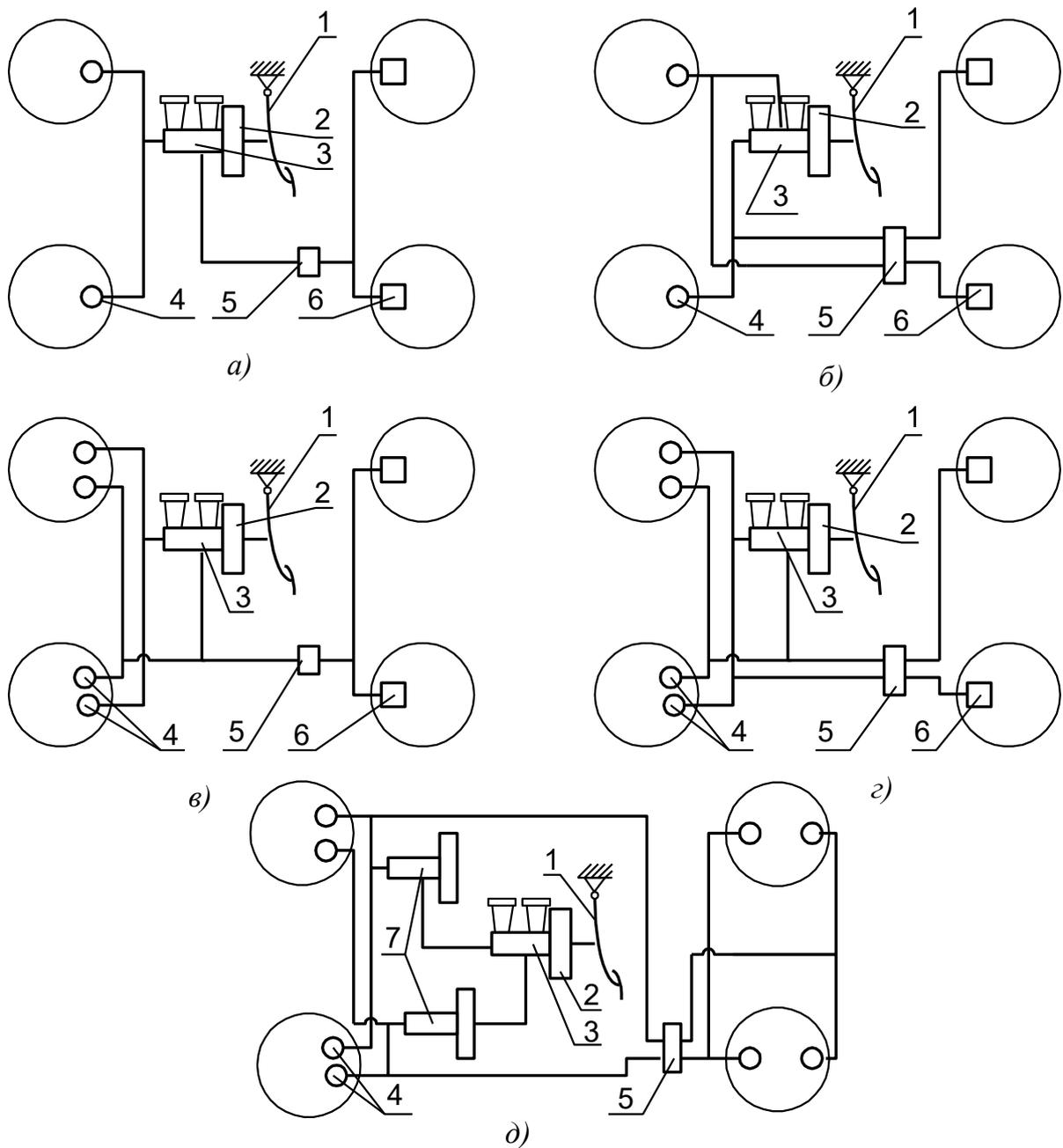


Рис. 10.6. Двухконтурные тормозные системы автомобилей с гидравлическим тормозным приводом: а) с разделением по осям; б) с диагональным включением; в) с резервной подсистемой; г) с резервной системой; д) с полным дублированием; 1 – тормозная педаль; 2 – вакуумный усилитель; 3 – главный тормозной цилиндр; 4 – дисковый тормозной механизм; 5 – регулятор тормозных сил; 6 – барабанные тормозные механизмы; 7 – дополнительный усилитель

Схема а). Резервирование подсистем конструкции автомобиля не предусмотрено. Усилие от педали 1 передается вакуумному усилителю 2, объединенному с главным тормозным цилиндром 3. В усилителе

предусмотрена механическая связь педали с главным тормозным цилиндром. Главный тормозной цилиндр состоит из двух секций с автономным питанием тормозной жидкостью. Передняя секция питает контур тормозов задних колес, задняя секция – передних колес. Регулятор тормозных сил 5, включенный в контур задних тормозов, обеспечивает уменьшение тормозных сил на задних колесах при низких значениях вертикальных реакций на них. Такое конструктивное решение снижает опасность первоочередного блокирования задних колес и улучшает устойчивость автомобиля при торможении.

Схема б). Эта схема тормозной системы автомобиля в отличие от схемы *а)* состоит в диагональном включении тормозных механизмов в контуры: передняя секция питает контур переднего правого и заднего левого тормозных механизмов, а задняя – контур переднего левого и заднего правого тормозных механизмов. Регулятор тормозных сил 5 имеет две секции, каждая из которых управляет своим тормозным механизмом. Такая схема обладает большей эффективностью торможения в случае выхода из строя одного из контуров, чем схема *а)*.

Схема в). Двухконтурная тормозная система с резервированием. Основная подсистема включает тормозные механизмы всех колес, а дополнительная резервная действует только на передние колеса с дисковыми тормозами 4. Последние являются составной частью тормозного механизма как основной системы, так и дополнительной резервной. Рабочие тормозные цилиндры отдельные. Регулятор тормозных сил 5 включен в основную подсистему.

Схема г). Тормозная система также двухконтурная с резервированием. Обе подсистемы по своей эффективности равнозначны. В каждую из них входит секция главного тормозного цилиндра 3, по одному рабочему цилиндру в обоих передних тормозных механизмах, секция регулятора тормозных сил и один тормозной механизм задних колес.

Схема д). Тормозная система зарезервирована в наибольшей степени. Параллельно подсистемам передних и задних тормозов включены такие же, поэтому деление подсистем на основные и резервные теряет смысл. Конструктивно это обеспечивается тем, что тормозные механизмы всех колес дисковые. Резервированы и усилители – помимо

основного в каждой подсистеме имеются дополнительные усилители

7. Основное преимущество этой схемы состоит в том, что отказ любого элемента тормозной системы не отражается на тормозных свойствах автомобиля.

Выполнение работы

Для предложенной преподавателем принципиальной схемы тормозной системы автомобиля составить структурную схему и рассчитать показатели надежности. Вероятность безотказной работы каждого из элементов тормозной системы принять одинаковой ($P_i = 0,99$).

Продолжительность работы – 2 часа.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- методы резервирования технических систем;
- принципиальную и структурную схемы предложенной тормозной системы;
- результаты расчета надежности тормозной системы.

Контрольные вопросы

1. Опишите последовательное и параллельное соединения элементов в технических системах.
2. С какой целью используют резервирование элементов и систем автомобилей?
3. В каких системах автомобилей используется резервирование?
4. Какие схемы разнесения независимых контуров применяются в рабочих тормозных системах автомобилей?
5. Приведите основные схемы резервирования тормозных систем автомобиля.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Цель работы:

- изучить требования к выбору диагностических параметров, оценивающих техническое состояние объекта;
- освоить нормирование диагностических параметров.

Общие сведения о диагностических параметрах

Техническое состояние машин (агрегатов, узлов, механизмов) определяется значениями структурных параметров, которые в процессе эксплуатации претерпевают различные изменения. К структурным параметрам относятся зазоры в сопряжениях, изменение формы и размеров деталей, другие параметры, измерение которых связано с необходимостью проведения разборочно-сборочных работ. Это повышает трудоемкость контроля и существенно снижает ресурс контролируемого объекта.

Изменения структурных параметров сопровождаются изменениями параметров рабочих и сопутствующих выходных процессов, которые могут измеряться без разборки контролируемого объекта. Такие параметры носят название диагностических. Таким образом, *диагностические параметры* – это косвенные величины, связанные со структурными параметрами, доступные измерению и несущие достаточную информацию о техническом состоянии объекта.

Диагностические параметры, выбранные для оценки технического состояния объекта, должны удовлетворять требованиям однозначности, стабильности, чувствительности, информативности и технологичности.

Под *однозначностью* понимают соответствие каждому значению диагностического параметра S только одного состояния диагностируемого объекта (рис. 11.1). Это означает, что в диапазоне изменения структурного параметра Y от начального значения до предельного функция диагностического параметра $S = f(Y)$ не имеет экстремума.

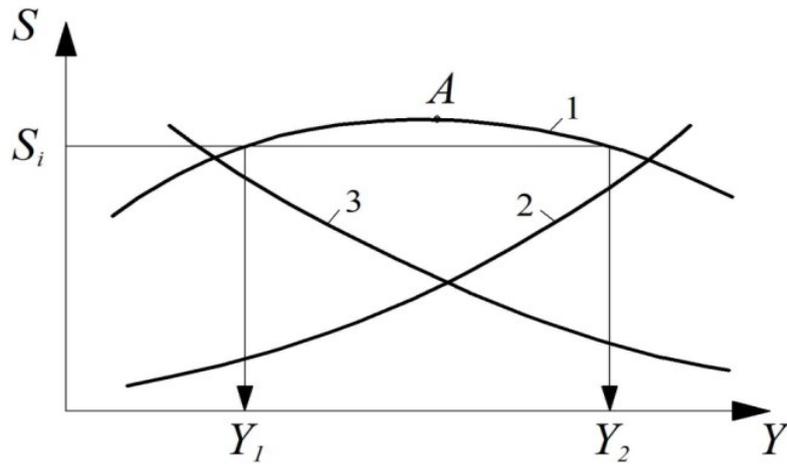


Рис. 11.1. Закономерности изменения диагностических параметров: 1 – не обладающий однозначной зависимостью (имеется экстремум в точке A); 2 и 3 – обладающие однозначной зависимостью

Стабильность диагностического параметра определяется отклонениями его величины от среднего значения при неизменном значении структурного параметра Y_i (рис. 11.2).

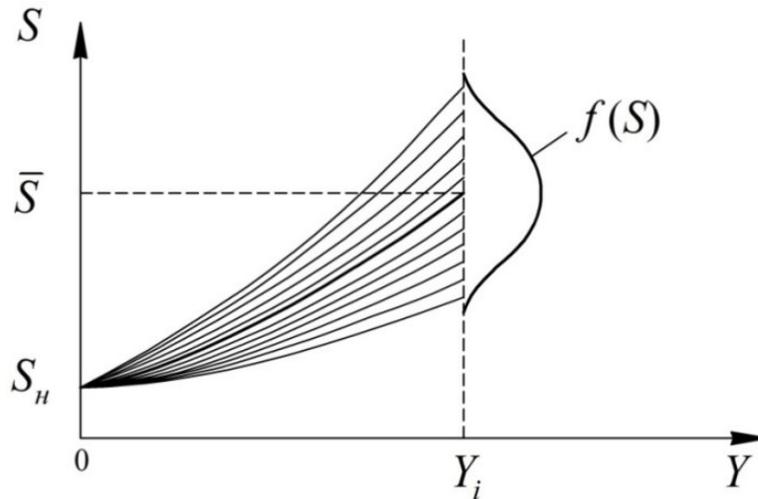


Рис. 11.2. Рассеивание результатов измерения диагностического параметра

Это свойство диагностического параметра характеризует достоверность диагноза и может быть оценено величиной среднего квадратического отклонения, характеризующего меру рассеивания диагностического параметра S_i относительно центра группирования \bar{S}

$$\sigma(S) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1}},$$

где n – число измерений диагностического параметра.

Чувствительность φ диагностического параметра характеризуется изменением его значения с изменением структурного параметра (рис. 11.3). Из приведенной схемы видно, что при изменении структурного параметра на величину ΔY диагностические параметры S_1 и S_2 изменились на разную величину ($\Delta S_1 > \Delta S_2$). Следовательно, чувствительность диагностического параметра S_1 при оценке технического состояния объекта больше чувствительности параметра S_2 , т. е. $\varphi_1 > \varphi_2$.

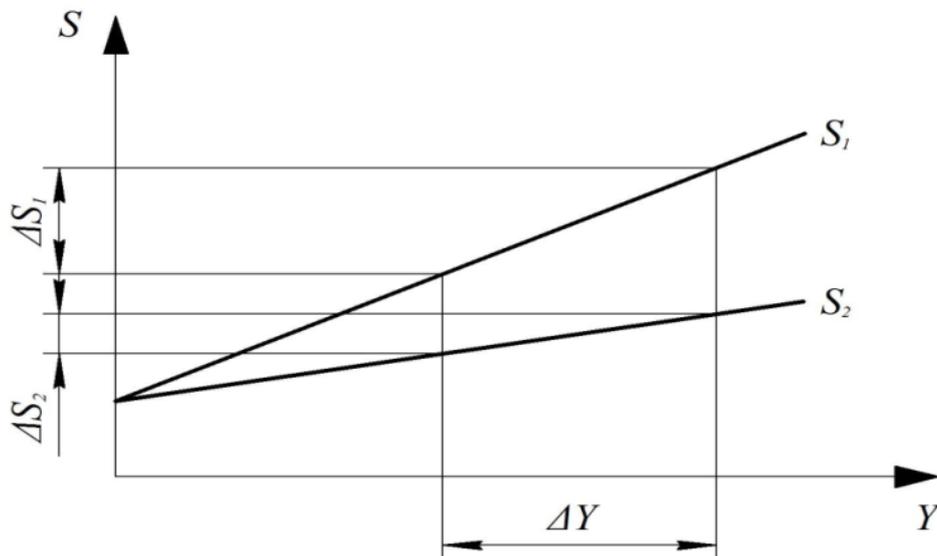


Рис. 11.3. Схема определения чувствительности диагностических параметров

Информативность диагностического параметра – его важнейшее свойство при оценке технического состояния сложных систем.

При диагностировании автомобиля как сложной технической системы используется комплекс диагностических параметров, информативность которых различна. Если диагностический параметр малоинформативен, то распределение их значений у большого числа технически исправных и неисправных объектов отличается незначительно. Это означает, что диагностический параметр не позволяет с достаточной надежностью отличить исправный объект от неисправного

(рис. 11.4, а). В том случае, когда диагностический параметр обладает высокой информативностью, распределение исправных объектов существенно отличается от неисправных, и чем больше это отличие, тем выше информативность диагностического параметра (рис. 11.4, б).

Технологичность измерения параметра определяется удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки полученных результатов.

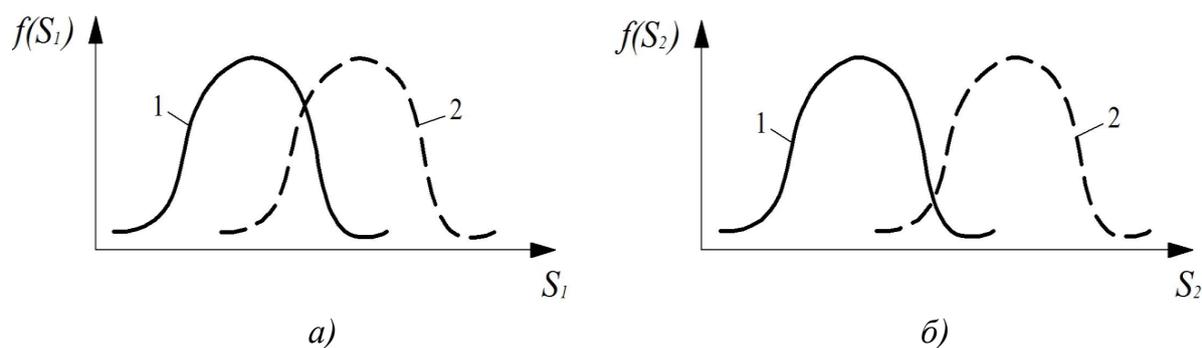


Рис. 11.4. Распределение значений малоинформативного S_1 и высокоинформативного S_2 диагностических параметров:
1, 2 – исправное и неисправное состояния объектов соответственно

Вполне очевидно, что чем больше диагностические параметры удовлетворяют рассматриваемым требованиям, тем эффективнее их использование при определении технического состояния объекта.

Нормирование диагностических параметров

Важнейший этап разработки системы диагностирования – определение нормативных значений диагностических параметров, количественно оценивающих техническое состояние объекта. В качестве нормативных показателей (или просто нормативов) при диагностировании автомобилей и их элементов служат *номинальное* (или начальное), *предельное* и *допустимое* значения диагностического параметра.

Номинальное значение диагностического параметра S_n определяет исходное состояние объекта и соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Оно может быть задано техническими условиями (тормозной путь, люфт рулевого колеса, схождение и развал колес и др.) или найдено как средняя величина для данной совокупности объектов.

Предельное значение параметра $S_{\text{п}}$ соответствует такому состоянию объекта, когда его дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной или экономически невыгодной. Оно устанавливается по техническим или технико-экономическим критериям, которые определяют возникновение отказа (неисправности) или экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

Допустимое значение диагностического параметра $S_{\text{д}}$ представляет собой ужесточенную величину предельного, при которой обеспечивается заданный уровень безотказной работы на межконтрольной наработке.

Диагностические нормативы можно подразделить на три основные группы:

- нормативы, устанавливаемые государственными стандартами;
- нормативы, определяемые конструктивными и технологическими факторами при изготовлении объекта;
- нормативы, определяемые статистическими методами с учетом реальных условий эксплуатации.

Нормативы первой группы устанавливают для узлов и систем, обеспечивающих безопасность движения автомобиля или оказывающих отрицательное влияние на окружающую среду. К ним относятся параметры, оценивающие техническое состояние тормозного и рулевого управлений, шин, колес, систем освещения и сигнализации, а также параметры контроля состава отработавших газов, вибраций и шума. Эти параметры подлежат строгому соблюдению, и их индивидуальная корректировка возможна только в сторону ужесточения.

Ко второй группе относятся диагностические параметры, устанавливаемые техническими условиями заводов-изготовителей или инструкциями по эксплуатации изделий. Это, например, зазоры в различных сопряжениях, углы установки колес, люфты и т. д. Нормативные значения диагностических параметров этого вида устанавливают на основании исследований их функциональных связей с нормативными значениями структурных параметров, которые определяются на стадии разработки объектов и проведении их испытаний.

Нормативы третьей группы составляют параметры, на интенсивность изменения которых существенное влияние оказывают условия эксплуатации, из-за чего они не могут быть едиными для всех изделий. Их определение осуществляется дифференцированно для конкретных условий эксплуатации с помощью статистических методов, учитывающих закономерности и интенсивность изменения технического состояния объекта.

Сущность метода нормирования диагностических параметров заключается в том, что по результатам обследования представительной партии автомобилей строится гистограмма распределения значений диагностического параметра и аппроксимирующая ее теоретическая кривая. Предполагается, что полученное распределение содержит диагностические параметры, оценивающие только исправные объекты (объекты, состояние которых неисправно, из выборки исключаются). Тем не менее не следует исключать, что крайние значения диагностических параметров в распределении могут соответствовать как исправному, так и неисправному состоянию объекта.

Поэтому по аналогии с принятой в теории надежности методикой нормирования диагностических параметров область рассеивания значений диагностического параметра ограничивают пределами, соответствующими требуемому уровню вероятности безотказной работы. Для ответственных узлов и механизмов (например, непосредственно влияющих на безопасность движения) целесообразно использовать более жесткое ограничение распределения диагностического параметра уровнем вероятности $P = 0,85$, для остальных – менее жесткое $P = 0,95$. Полученные таким образом граничные значения распределения считают предельными нормативами диагностического параметра S_n .

Ограничение области распределения диагностического параметра в зависимости от физической сущности контролируемого объекта может быть верхним, нижним или двухсторонним, когда параметр ограничивается и верхним (рис. 11.5, *а*), и нижним (рис. 11.5, *б*) уровнем доверительной вероятности.

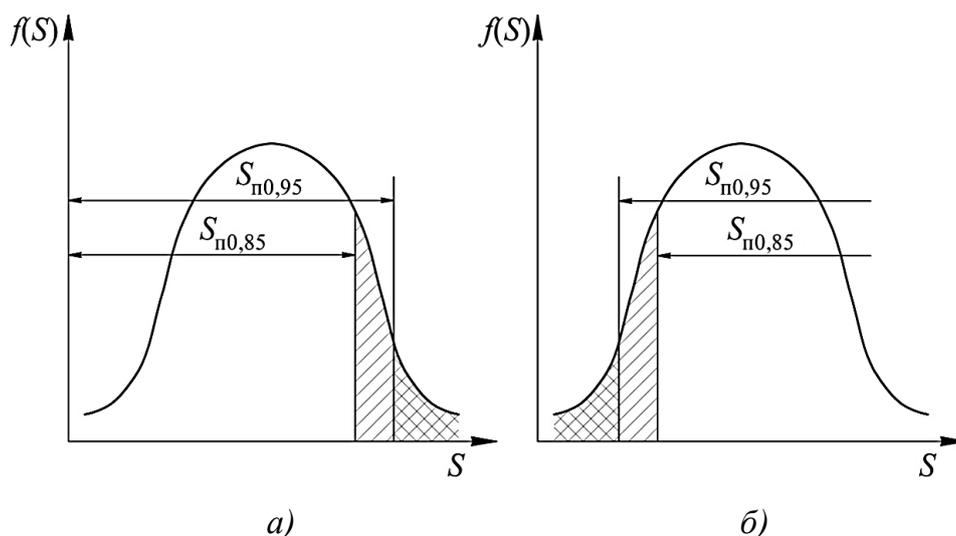


Рис. 11.5. Схема определения предельных нормативов диагностических параметров

На практике с относительно небольшой погрешностью при определении предельных значений диагностических параметров может быть использован метод прибавления к найденному среднеарифметическому значению параметра \bar{S} одно- или полутора кратного значения среднеквадратического отклонения σ .

При одностороннем верхнем ограничении

$$S_{п0,85} = \bar{S} + \sigma; \quad S_{п0,95} = \bar{S} + 1,5\sigma. \quad (11)$$

При одностороннем нижнем ограничении

$$S_{п0,85} = \bar{S} - \sigma; \quad S_{п0,95} = \bar{S} + 1,5\sigma.$$

Практическая реализация процедуры определения предельных значений диагностических параметров, учитывающих условия эксплуатации, включает в себя следующие этапы:

- по результатам измерения диагностических параметров представительной выборки автомобилей, находящихся в исправном состоянии, строят гистограмму и аппроксимирующий ее теоретический закон распределения;
- находят параметры распределения (среднее значение \bar{S} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v);
- по виду гистограммы и значению коэффициента вариации v подбирают теоретический закон распределения случайной величины диагностического параметра;

- зная закон распределения диагностического параметра и принятый уровень вероятности P (0,85 или 0,95), определяют его предельные нормативы.

Выполнение работы

После изучения общих сведений студент получает *персональные статистические данные* измерений диагностических параметров какого-либо агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2...4 часа.

Пример. При диагностировании увода автобусов ЛиАЗ-5256 от заданной траектории движения получены следующие результаты измерений представительной выборки обследования объемом $N = 60$ ед. (табл. 11).

Таблица 11

Результаты измерений увода автобуса

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, м	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14
Середины интервалов, м	1	3	5	7	9	11	13
Опытные частоты m_i	2	11	20	21	3	2	1

Требуется:

- по заданному вариационному ряду построить гистограмму распределения значений диагностического параметра и аппроксимирующую ее теоретическую кривую;

- рассчитать параметры распределения (среднее значение \bar{S} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации ν);

- по принятому уровню вероятности безотказной работы P (0,85 или 0,95) определить его предельные нормативы.

Используя данные табл. 11, строим гистограмму распределения диагностического параметра увода автобуса Y и аппроксимирующую

ее теоретическую кривую, найденную по результатам обработки опытных данных с помощью программы *Microsoft Excel* (рис. 11.6).

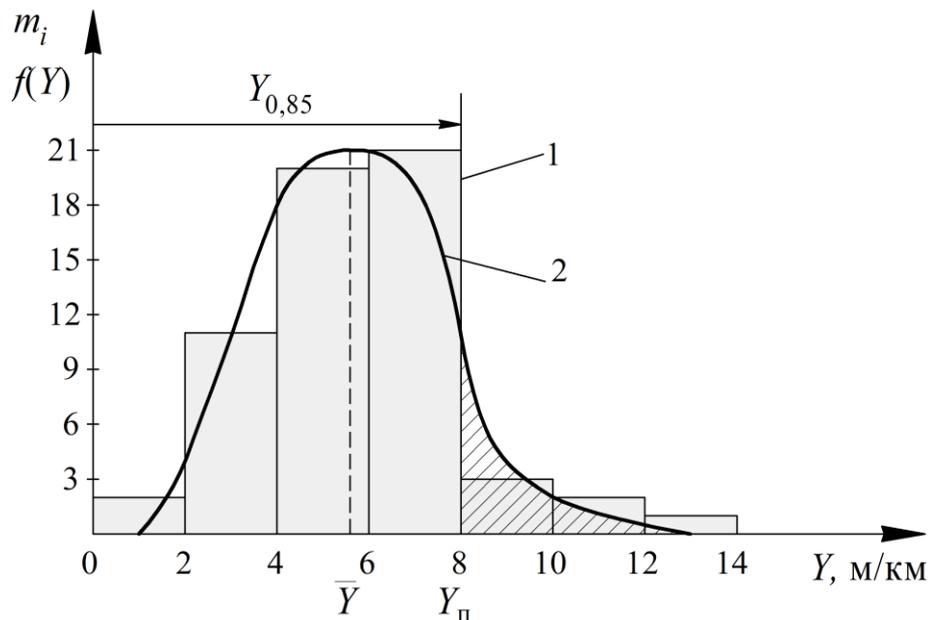


Рис. 11.6. Распределение значений увода автобусов:
1 – гистограмма; 2 – дифференциальная функция

Определяем числовые характеристики распределения:

- среднее арифметическое результатов измерений увода \bar{Y} ;

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i m_i = 5,73 \text{ м};$$

- среднее квадратичное отклонение

$$\sigma(Y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 m_i} = 2,30 \text{ м};$$

- коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma(Y)}{\bar{Y}} = 0,40.$$

По виду гистограммы и значению коэффициента вариации $v = 0,4$ предполагаем, что распределение значений увода автобуса Y подчиняется закону Вейбулла. Используя выражение (11), определяем значение предельного норматива увода автобуса Y_n от заданной траектории движения, ограниченного уровнем вероятности $P = 0,85$

$$Y_{\Pi} = \bar{Y} + \sigma = 5,73 + 2,30 \approx 8 \text{ м/км.}$$

При достижении такого значения увода начинают ощущаться значительные затруднения в управлении автобусом, нарушается его устойчивость, увеличиваются износ шин, расход топлива и др.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов;
- гистограмму распределения значений диагностического параметра и аппроксимирующую ее дифференциальную функцию;
- расчет предельного норматива диагностического параметра.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под диагностическим параметром, оценивающим техническое состояние автомобилей?
2. Какие требования предъявляют к диагностическим параметрам?
3. Какими нормативными значениями диагностических параметров оценивают техническое состояние автомобилей?
4. Раскройте сущность нормирования диагностических параметров.
5. Как определяют предельные нормативные значения диагностических параметров?

Работа № 12

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель работы:

- изучить методы прогнозирования ресурса автотранспортных средств;
- освоить методику прогнозирования остаточного ресурса автомобилей с использованием статистических методов.

Общие сведения об остаточном ресурсе

Одна из основных задач диагностирования технического состояния любого объекта – прогнозирование его остаточного ресурса, под которым понимается определение продолжительности исправной работы объекта до предельного состояния.

На начальной стадии создания автомобиля (проектирование и конструирование) оценку его ресурса осуществляют в основном по результатам конструкторских расчетов и статистических данных о его аналогах. Прогнозируемый при этом ресурс является заданной величиной, соответствующей некоторой вероятности, с которой ресурс должен быть реализован в эксплуатации.

В реальных условиях эксплуатации ресурс автомобиля из-за воздействия на него множества случайных факторов варьируется в довольно широких пределах (рис. 12.1) и характеризуется дифференциальной функцией распределения наработок до предельного состояния $f(t)$. Поэтому на стадии проектирования в качестве прогнозируемого ресурса в технической документации указывают некоторый средний ресурс t_{cp} – математическое ожидание наработки автомобиля до предельного состояния $Y_{пр}$.

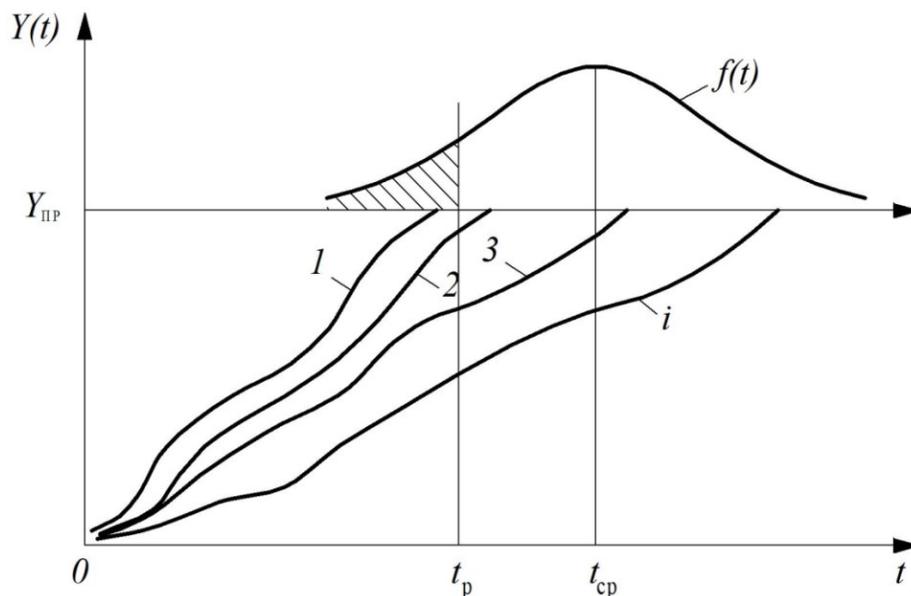


Рис. 12.1. Графическая интерпретация реализации (1, 2, 3...i) автомобилем ресурса

Предельного состояния автомобиль достигает в момент пересечения реализацией $Y(t)$ уровня $Y_{пр}$, устанавливаемого нормативно-технической документацией. Фактические моменты достижения объектами этого состояния могут существенно различаться в зависимости от их индивидуальных свойств и условий эксплуатации. Поэтому ресурс объекта следует считать случайной величиной; он может быть описан только вероятностными моделями. В качестве такой модели обычно используется плотность распределения наработок объекта до предельного состояния. В этом случае теоретическое значение среднего ресурса автомобиля от начала его эксплуатации до списания может быть определено из выражения

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt,$$

где $f(t)$ – плотность распределения наработки до предельного состояния.

В отличие от стадии проектирования, когда прогнозируется ресурс всей генеральной совокупности создаваемых автомобилей, прогнозирование на стадии эксплуатации выполняют для конкретных автотранспортных средств, их агрегатов и узлов. В этом случае оценивается индивидуальный остаточный ресурс объекта, т. е. возможная продолжительность его эксплуатации от момента контроля технического состояния до достижения им предельного состояния. Отличается этот ресурс от ресурса, заложенного на стадии проектирования, тем, что в качестве начала отсчета принимается текущая наработка, до которой объект уже какое-то время эксплуатировался и часть установленного технической документацией ресурса уже реализовал.

Современные методы прогнозирования технического состояния объектов подразделяются на три основные группы.

1. *Методы экспертных оценок*, сущность которых сводится к обобщению, статистической обработке и анализу мнений специалистов. Эксперты обосновывают свою точку зрения на собственном опыте, данных из научной литературы, анализе эксплуатационной надежности узлов и механизмов автомобилей и т. д.

2. *Методы моделирования*, базирующиеся на основных положениях теории подобия, формировании модели изучаемого объекта, проведении экспериментальных исследований и пересчете полученных показателей с модели на натуральный объект.

3. *Статистические методы*, из которых наиболее широкое распространение получил метод экстраполяции.

Наиболее достоверными при прогнозировании индивидуального остаточного ресурса автомобиля в условиях эксплуатации являются статистические методы, основанные на объективной оценке его технического состояния в текущий момент времени. Процесс прогнозирования с использованием статистических методов предусматривает следующие этапы:

- оценку технического состояния объекта с помощью диагностического и контрольно-измерительного оборудования;
- разработку аналитического уравнения, описывающего закономерности изменения этого состояния во времени или по наработке;
- экстраполяцию полученного уравнения и определение остаточного ресурса или сроков выполнения очередного контроля технического состояния объекта.

Исчерпание заложенного при проектировании ресурса (наступление предельного состояния) обусловлено постепенным накоплением различных повреждений. Развитие таких повреждений в материалах деталей, узлах и агрегатах в зависимости от времени или пробега носит плавный, монотонный характер и приводит к возникновению так называемых постепенных отказов, поэтому с некоторой вероятностью может быть описано каким-либо аналитическим уравнением.

Для постепенных отказов изменение параметра технического состояния конкретного изделия или среднего значения для группы изделий аналитически достаточно хорошо описывается двумя функциями:

- линейным уравнением $y = y_n + \gamma t$;
- степенной функцией $y = y_n + \gamma t^b$,

где y_n – начальное значение параметра технического состояния; t – наработка изделия; γ – интенсивность изменения параметра технического состояния, зависящая от конструкции и условий эксплуатации; b – показатель степени, характеризующий изменение параметра y от t .

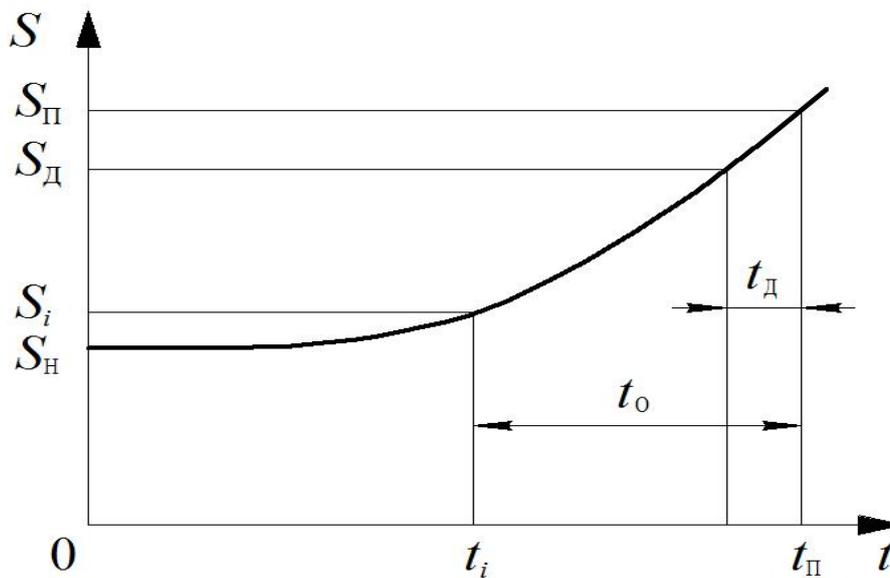
Изменение аналогового диагностического параметра по наработке для большинства узлов и агрегатов автомобиля описывается теми же функциями, что и параметры технического состояния. При прогнозировании остаточного ресурса силовой установки автомобиля

изменение диагностического параметра по наработке с достаточной степенью точности может быть описано степенной функцией

$$S = S_H + vt^\alpha,$$

где S_H – начальное значение диагностического параметра; v – интенсивность изменения диагностического параметра по наработке; t – наработка изделия; α – показатель степени, определяющий зависимость диагностического параметра S от наработки t .

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 12.2.



*Рис. 12.2. Схема определения остаточного ресурса по реализации диагностического параметра:
 $S_i, S_H, S_П$ – текущее, номинальное и предельное значения диагностического параметра;
 $t_i, t_o, t_П$ – текущий, остаточный и полный ресурсы соответственно*

Из приведенной схемы видно, что остаточный ресурс объекта t_o представляет собой разность между полным ресурсом $t_П$, который соответствует предельному значению диагностического параметра $S_П$, и продолжительностью его эксплуатации, предшествующей прогнозируемому периоду t_i . Полный $t_П$ и остаточный t_o ресурсы объекта после наработки t , предшествующей прогнозируемому периоду, при степенной зависимости диагностического параметра по наработке определяются из выражений

$$t_{\text{п}} = \alpha \sqrt{\frac{|S_{\text{п}} - S_{\text{н}}|}{v}}; \quad t_{\text{о}} = t \left[\left(\frac{S_{\text{п}} - S_{\text{н}}}{S_i - S_{\text{н}}} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \right],$$

где $S_{\text{н}}$, $S_{\text{п}}$ – номинальное и предельное значения диагностического параметра соответственно.

Для узлов и систем автомобиля, обеспечивающих безопасность движения или оказывающих отрицательное влияние на окружающую среду, значения номинального и предельного диагностических параметров устанавливаются нормативно-технической документацией заводов-изготовителей. Это, например, зазоры в различных сопряжениях, люфты, углы установки колес, давление в цилиндрах двигателя в конце такта сжатия и т. д.

Номинальное значение диагностического параметра $S_{\text{н}}$ определяет исходное состояние объекта и соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Оно может быть задано техническими условиями (тормозной путь, люфт рулевого колеса, схождение и развал колес и др.) или найдено как средняя величина для данной совокупности объектов. Значения показателя α определяются опытным путем для различных сопряжений механизмов на основе обработки статистического материала и представляют собой некоторые усредненные величины для построения функции изменения диагностического параметра по наработке.

Выполнение работы

После изучения информации об остаточном ресурсе студент получает *персональные данные* по диагностическим параметрам, оценивающим техническое состояние агрегата, узла или системы автомобиля, и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий студент оформляет отчет о выполненной работе и осуществляет его защиту.

Продолжительность работы – 2 часа.

Пример. По результатам измерений были получены следующие значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателя:

- давление в конце такта сжатия $S_{дс}$ 11 кгс/см²;
- относительная утечка воздуха $S_{ув}$ 0,9 кг/см² за 5 сек;
- расход картерных газов $S_{рг}$ 40 л/мин.

Необходимо определить остаточный ресурс двигателя с использованием диагностических параметров.

В табл. 12.1 приведены установленные техническими условиями завода-изготовителя нормативные значения диагностических параметров, а также значения показателя α , найденные по результатам экспериментальных исследований технического состояния цилиндропоршневой группы двигателей.

Таблица 12.1

Нормативные значения параметров диагностирования технического состояния ЦПГ и показателя α для этих параметров

Диагностический параметр	Значение параметра		Показатель α
	Номинальное	Предельное	
Давление в конце такта сжатия, кгс/см ²	12	9,6	1,3
Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ, кг/см ² , в течение 5 с	Снижение с 1,5 до 1,0	Снижение с 1,5 до 0,75	1,6
Расход картерных газов при 4000 мин ⁻¹ , л/мин, не более	22	62	1,5

Остаточный ресурс рассчитывается по каждому диагностическому параметру, и в качестве основного принимается его минимальное значение. По текущему значению параметра давления в конце такта сжатия (11 кгс/см²) при номинальном 12 кгс/см² и предельном 9,6 кгс/см² значениях прогнозируемый остаточный ресурс ЦПГ двигателя до достижения им предельного состояния будет равен

$$t_o = 154 \left[\left(\frac{9,6 - 12}{11 - 12} \right)^{\frac{1}{1,3}} - 1 \right] = 148 \text{ тыс. км.}$$

По остальным диагностическим параметрам рассчитанные значения остаточного ресурса приведены в табл. 12.2.

**Значения остаточного ресурса ЦПГ по результатам
диагностирования**

Диагностический параметр	Значение параметра			t_o , тыс. км
	Текущее	Номинальное	Предельное	
Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ в течение не менее 5 с 1,5 кгс/см ² до	0,90	1,00	0,75	119
Расход картерных газов при 4000 мин ⁻¹ , л/мин	40	22	62	108

В результате выполненных расчетов прогнозируемый остаточный ресурс ЦПГ принимает минимальное значение по параметру «Расход картерных газов», в соответствии с которым $t_o = 108$ тыс. км.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- аналитические зависимости изменения диагностических параметров по наработке;
- нормативные значения параметров, оценивающих техническое состояние объекта;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов остаточного ресурса.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под прогнозированием остаточного ресурса?
2. С какой целью осуществляют прогнозирование остаточного ресурса автомобилей?
3. Какими аналитическими уравнениями описывают закономерности изменения технического состояния объекта по наработке?
4. Как определяют остаточный ресурс объекта по реализации диагностического параметра?

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

По дисциплине «Основы теории надежности» необходимо выполнить контрольную работу, включающую одну задачу по оценке показателей надежности конструктивных элементов автомобиля и пять вопросов, заданных в тестах для контроля знаний.

Задача

По заданным персональным данным о наработках агрегатов, узлов или других конструктивных элементов автомобиля определить показатели их безотказности или долговечности.

В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 для количественной оценки безотказности машин используют следующие показатели:

- среднюю наработку между отказами \bar{t} или до отказа $\bar{t}_{\text{ср}}$;
- вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказов $F(t)$ по интервалам наработки;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Средняя наработка между отказами, используемая для оценки безотказности восстанавливаемых изделий, определяется из выражения

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{T}{n},$$

где t_1, t_2, \dots, t_n – наработки изделия между отказами; T – суммарная наработка изделия за время испытаний; n – число отказов на этой наработке.

Если наработка от начала эксплуатации до T разбита на k интервалов Δt и число отказов внутри каждого интервала равно m_j , то

$$\bar{t} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_r t_r}{m_1 + m_2 + \dots + m_r} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k m_j t_j,$$

где $n = m_1 + m_2 + \dots + m_k$; t_1, t_2, \dots, t_k – средняя наработка изделия в каждом интервале.

Средняя наработка до отказа объекта, оценивающая безотказность невосстанавливаемых объектов, определяется по формуле

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j,$$

где t_1, t_2, \dots, t_N – наработки изделий до первого отказа; N – число объектов, находящихся под наблюдением (объем выборки обследования).

Статистическая оценка *вероятности безотказной работы* $P(t)$ по результатам испытаний определяется отношением числа исправных изделий к общему числу находящихся под наблюдением изделий на протяжении наработки t

$$P(t) = \frac{N - \sum_{j=1}^k m_j}{N},$$

где N – число работоспособных изделий на начало наблюдений; m_j – число изделий, отказавших в j -м интервале наработки; $k = t / \Delta t$ – число интервалов наработки.

Статистическая оценка *интенсивности отказов* по результатам эксплуатационных испытаний находится из выражения

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t},$$

где $N(t), N(t + \Delta t)$ – количество работоспособных изделий при наработках t и $t + \Delta t$; Δt – интервал наработки.

Для оценки *долговечности* машин чаще всего используются следующие показатели:

- средний и гамма-процентный ресурсы;
- среднее квадратическое отклонение;
- коэффициент вариации.

Под *ресурсом* понимают суммарную наработку объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния.

Статистическая оценка среднего ресурса объекта по результатам исследований определяется по формуле

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где N – число объектов, находящихся под наблюдением; t_i – наработка i -го объекта до капитального ремонта (КР) или списания.

Если значения ресурсов в выборке разбиты на k интервалов и число изделий, достигнувших предельного состояния внутри каждого интервала, равно m_j , то

$$t_{\text{ср}} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_k t_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k m_j t_j,$$

где t_j – средний ресурс изделия в каждом интервале.

Среднее квадратическое отклонение случайной величины ресурса $\sigma(t)$, характеризующее меру рассеивания его значений вокруг центра группирования $t_{\text{ср}}$, определяют по формуле

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (t_j - t_{\text{ср}})^2 m_j}{N - 1}}.$$

Коэффициент вариации ряда v оценивает относительную меру рассеивания случайной величины t относительно ее среднего значения $t_{\text{ср}}$ и в первом приближении позволяет судить о законе ее распределения

$$v = \frac{\sigma(t)}{t_{\text{ср}}}.$$

Гамма-процентный ресурс – это суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах. По результатам исследований эксплуатационной надежности гамма-процентный ресурс объекта определяется после расчета вероятности их безотказной работы $P(t)$ по интервалам наработки и построения соответствующего графика.

Пример определения показателей безотказности конструктивных элементов автомобиля. По результатам эксплуатационных наблюдений за надежностью электромагнитной топливной форсунки автомобилей Peugeot 408 (объем выборки $N = 30$ ед.) установлены их наработки до отказа.

Значения наработок топливной форсунки до отказа, тыс. км

94; 82; 74; 98; 102; 91; 118; 116; 131; 124; 118; 148; 86; 101; 109; 114; 96; 56; 112; 132; 151; 111; 107; 135; 139; 93; 168; 127; 108; 119

Требуется определить:

- среднюю наработку топливной форсунки до отказа t_{cp} ;
- вероятности безотказной работы $P(t_i)$, вероятности отказов $F(t_i)$ и интенсивность отказов $\lambda(t)$ по интервалам наработки. По найденным значениям $P(t_i)$ и $\lambda(t)$ построить соответствующие графики.

1. По данным значений наработок топливной форсунки до отказа определяем параметры статистического ряда распределения:

- размах варьирования наработок в выборке $R = t_{max} - t_{min} = 168 - 56 = 112$ тыс. км;
- число интервалов (не менее) $k = 1 + 3,32 \lg(N) = 1 + 3,32 \lg(30) \approx 7$;
- ширину интервала $h = R / k = 112 / 7 = 16$ тыс. км;
- границы интервалов;
- середины интервалов: $t_1 = 64$; $t_2 = 80$; $t_3 = 96$; $t_4 = 112$; $t_5 = 128$; $t_6 = 144$; $t_7 = 160$ тыс. км;
- частоты попаданий опытных данных в интервалы: $\bar{m}_1 = 1$; $\bar{m}_2 = 3$; $\bar{m}_3 = 7$; $\bar{m}_4 = 10$; $\bar{m}_5 = 5$; $\bar{m}_6 = 3$; $\bar{m}_7 = 1$.

Полученные результаты сводим в табл. 13.1.

Таблица. 13.1

Параметры интервалов наработок топливной форсунки

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	56 – 72	72 – 88	88 – 104	104 – 120	120 – 136	136 – 152	152 – 168
Середины интервалов t_i , тыс. км	64	80	96	112	128	144	160
Опытные частоты \bar{m}_i	1	3	7	10	5	3	1

2. Находим среднюю наработку топливной форсунки до отказа

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} (94 + 82 + \dots + 119) = 112 \text{ тыс. км.}$$

3. Рассчитываем статистические оценки:

- вероятности безотказной работы $P(t_i)$

$$P(t_1) = \frac{30-1}{30} = 0,97; \quad P(t_2) = \frac{30-(1+3)}{30} = 0,87;$$

$$P(t_3) = \frac{30-(1+3+7)}{30} = 0,63;$$

- вероятности отказов $F(t_i)$

$$F(t_1) = 1 - P(t_1) = 0,03; \quad F(t_2) = 1 - P(t_2) = 0,13;$$

$$F(t_3) = 1 - P(t_3) = 0,37;$$

- интенсивности отказов $\lambda(t)$, тыс. км⁻¹

$$\lambda(t_1) = \frac{30 - (30 - 1)}{30 \cdot 16000} = 0,0021; \quad \lambda(t_2) = \frac{29 - (29 - 3)}{29 \cdot 16000} = 0,0064;$$

$$\lambda(t_3) = \frac{26 - (26 - 7)}{26 \cdot 16000} = 0,0168.$$

Для остальных интервалов наработки оценки статистических вероятностей безотказной работы и интенсивности отказов сводим в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Результаты расчетов $P(t)$, $F(t)$ и $\lambda(t)$ по интервалам наработки

Функция	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$P(t)$	0,97	0,87	0,63	0,30	0,13	0,03	0
$F(t)$	0,03	0,13	0,27	0,70	0,87	0,97	1,00
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0,0021	0,0064	0,0168	0,0329	0,0347	0,0500	0,0625

4. По полученным данным строим соответствующие графики (рис. 13.1).

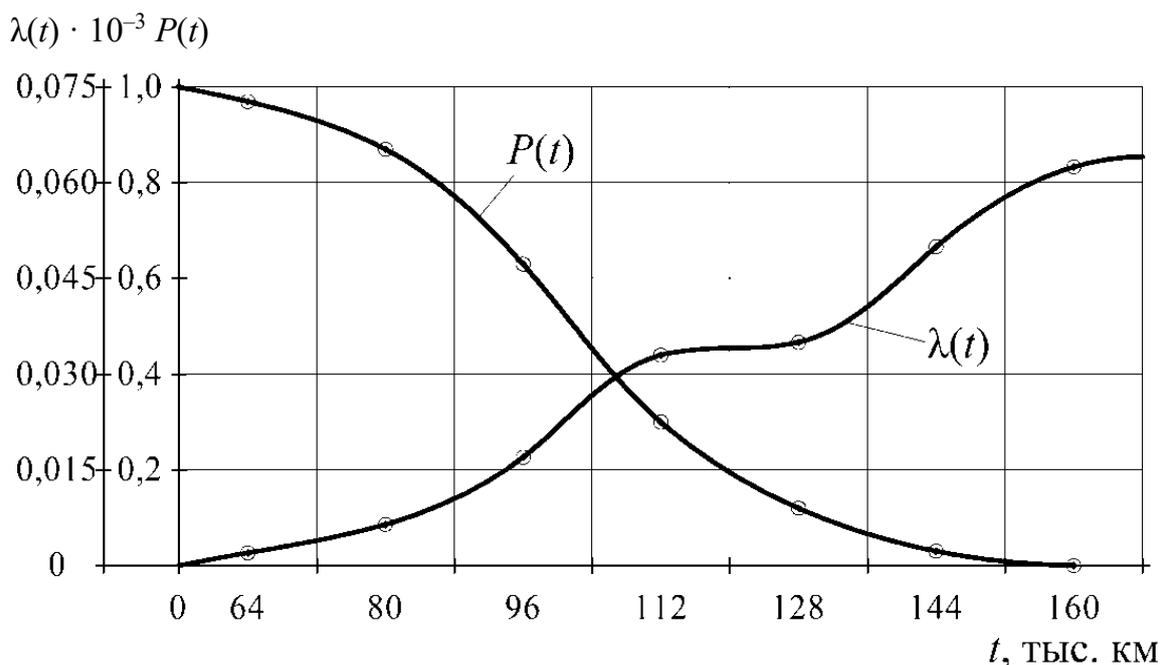


Рис. 13.1. Графики вероятности безотказной работы $P(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$ электромагнитной топливной форсунки автомобилей Peugeot 408

Пример определения показателей долговечности конструктивных элементов автомобиля. По результатам исследований эксплуатационной надежности партии двигателей ЗМЗ-4063 ($N = 36$ ед.) установлены ресурсы их поршневой группы.

Значения ресурсов поршневой группы двигателя, тыс. км

94;	82;	78;	98;	102;	27;	118;	112;	134;	120;	178;	148;
186;	181;	199;	172;	216;	144;	139;	132;	151;	141;	216;	137;
169;	66;	168;	157;	129;	249;	143;	126;	149;	192;	150;	176

Требуется:

- определить числовые показатели долговечности поршневой группы;
- построить гистограмму распределения опытных частот w_i , теоретическую кривую распределения наработок до отказа $f(t)$ и интегральную функцию распределения наработок до предельного состояния $F(t)$.

1. По данным значений ресурсов поршневой группы двигателя определяем параметры статистического ряда распределения:

- размах варьирования, тыс. км $R = t_{\max} - t_{\min} = 149 - 27 = 122$;

- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg(N) = 1 + 3,32 \lg(36) \approx 7$;
 - ширину интервала, тыс. км $h = R / k = 112 / 7 \approx 32$;
 - границы интервалов;
 - середины интервалов, тыс. км: $\bar{t}_1 = 42$; $\bar{t}_2 = 74$; $\bar{t}_3 = 106$; $\bar{t}_4 = 138$;
 $\bar{t}_5 = 170$; $\bar{t}_6 = 202$; $\bar{t}_7 = 234$;
 - опытные частоты m_i и частоты $w_i = \frac{m_i}{N}$.
- Полученные результаты сводим в табл. 13.3.

Таблица. 13.3

Параметры интервалов наработок поршневой группы двигателя

Параметр	Интервал						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Границы интервалов, тыс. км	26 – 58	58 – 90	90 – 122	122 – 154	154 – 186	186 – 218	218 – 250
Середины интервалов \bar{t}_i , тыс. км	42	74	106	138	170	202	234
Опытные частоты m_i	1	3	7	11	8	5	1
Опытные частоты w_i	0,028	0,083	0,194	0,306	0,222	0,139	0,028
Статистическая оценка $P(t_i)$	0,97	0,89	0,69	0,389	0,167	0,028	0

2. Находим числовые характеристики выборки:

- $t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k m_i \bar{t}_i = \frac{1}{36} (1 \cdot 42 + 3 \cdot 74 + \dots + 1 \cdot 234) = 142,44$ тыс. км;

- $\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{t}_i - t_{cp})^2 m_i}{N-1}} = \sqrt{\frac{65\,848}{36-1}} = 43,37$ тыс. км;

- $v = \frac{\sigma(t)}{t_{cp}} = \frac{43,37}{142,44} = 0,3$.

3. Рассчитываем статистические оценки вероятности безотказной работы $P(t_i)$ по интервалам наработок двигателя до предельного состояния:

$$P(t_1) = \frac{36-1}{36} = 0,97; \quad P(t_2) = \frac{36-(1+3)}{36} = 0,89;$$

$$P(t_3) = \frac{36-(1+3+7)}{36} = 0,69.$$

Значения рассчитанных $P(t_i)$ см. в табл. 13.3.

4. По найденным значениям опытных частот w_i строим гистограмму (рис. 13.2) и с помощью программы *Microsoft Excel* подбираем соответствующий ей закон распределения ресурса, т. е. дифференциальную функцию распределения $f(t)$. Вид гистограммы и значение коэффициента вариации $v = 0,3$ позволяют предположить, что распределение ресурса поршневой группы подчиняется нормальному закону.

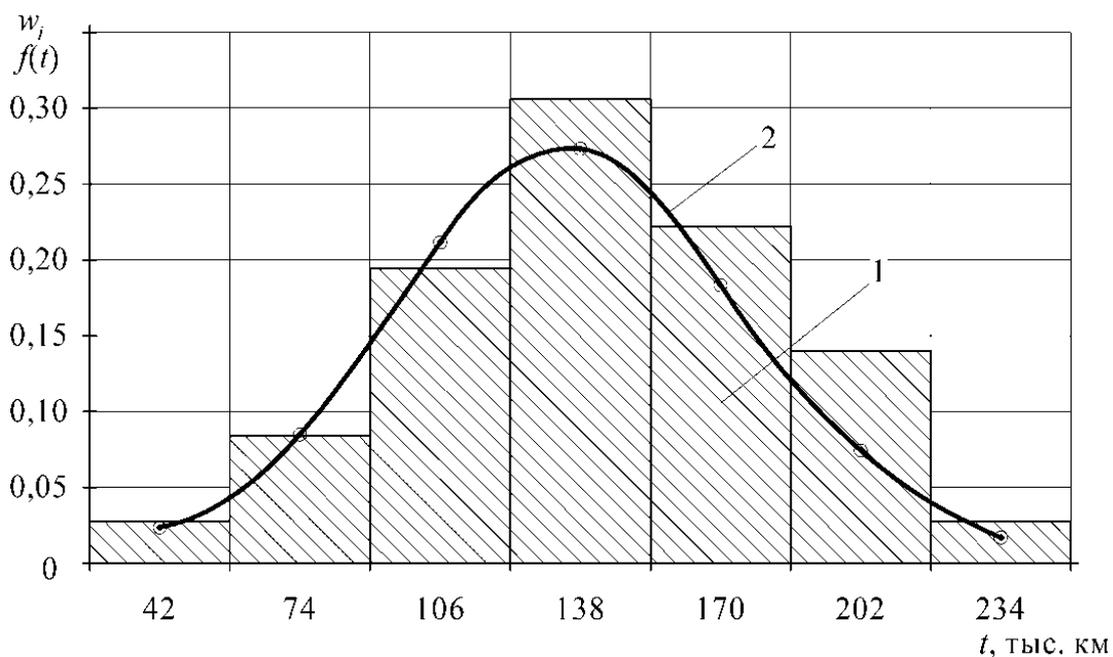


Рис. 13.2. Гистограмма (1) и дифференциальная функция распределения (2)

5. Строим гистограмму накопленных частот w_i^H и интегральную функцию распределения ресурса $F(t)$ (рис. 13.3). Накопленную частоту получаем путем последовательного прибавления частот предыдущих интервалов к частоте очередного интервала: $w_1^H = w_1 = 0,028$; $w_2^H = w_1^H + w_2 = 0,028 + 0,083 = 0,111$; $w_3^H = w_2^H + w_3 = 0,111 + 0,194 = 0,305$ и т. д. Для последнего k -го интервала

$$w_k^H = \sum_{j=1}^k w_j = 1.$$

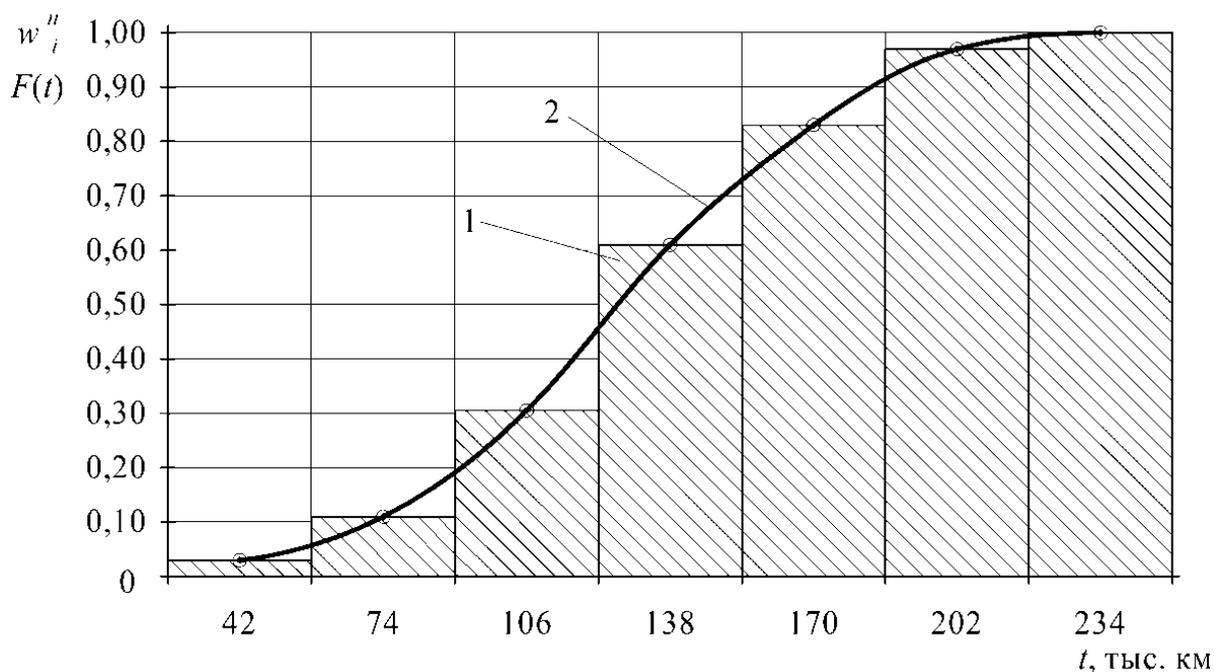


Рис. 13.3. Гистограмма (1) накопленных частот w_i^H и интегральная функция (2) распределения ресурса $F(t)$ поршневой группы двигателей

ТЕСТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Надежность – это:

- а) свойство машины сохранять свою работоспособность;
- б) совокупность свойств объекта, определяющих степень его пригодности к выполнению заданных функций;
- в) свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, ТО, хранения и транспортирования;
- г) свойство сохранять свою работоспособность до предельного состояния.

2. Работоспособность представляет собой:

- а) способность объекта выполнять свои функции;
- б) безотказную работу в течение заданного срока эксплуатации;
- в) состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции;
- г) свойство объекта непрерывно выполнять свои функции в течение некоторого времени или наработки.

3. Безотказность характеризует свойство объекта:

- а) непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;
- б) сохранять работоспособность до наступления предельного состояния;
- в) приспосабливаться к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния;
- г) сохранять работоспособное состояние в течение гарантийного пробега.

4. Вероятность безотказной работы представляет собой:

- а) вероятность того, что в пределах заданной наработки наступит отказ;
- б) вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ изделия не произойдет;
- в) математическое ожидание наработки до первого отказа;
- г) вероятность возникновения отказа на гарантийном пробеге.

5. Ресурс оценивает:

- а) ремонтпригодность объекта;
- б) безотказную работу объекта в течение заданного срока эксплуатации;
- в) долговечность объекта;
- г) работоспособность объекта.

6. Под ремонтпригодностью понимают:

- а) свойство объекта, определяющее его приспособленность к обнаружению возникших неисправностей;
- б) свойство объекта, определяющее его приспособленность к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем ТО и ремонта;
- в) приспособленность объекта к устранению отказов и неисправностей;
- г) приспособленность системы к выполнению ТО и ремонта.

7. Сохраняемость – это:

- а) свойство объекта сохранять работоспособность в течение и после срока хранения и (или) транспортирования;
- б) свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта;
- в) свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние до первого отказа;

г) свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого времени или наработки.

8. Усталостное разрушение деталей происходит:

- а) из-за пластического деформирования материала детали;
- б) тепловых и химических процессов в механизмах машин;
- в) физических процессов трения при взаимном перемещении соприжатых деталей;
- г) многократного воздействия знакопеременных нагрузок.

9. По характеру возникновения и протекания процесса во времени отказы подразделяются:

- а) на технологические и конструктивные;
- б) отказы функционирования и параметрические;
- в) постепенные и внезапные;
- г) явные и скрытые.

10. Как называется свойство машины непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени?

- а) долговечность;
- б) безотказность;
- в) ремонтпригодность;
- г) ресурс.

11. Гамма-процентный ресурс изделия оценивает:

- а) наработку изделия от начала эксплуатации до предельного состояния;
- б) наработку, в течение которой изделие не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью;
- в) безотказность машин;
- г) ремонтпригодность машин.

12. Безотказность машин оценивается:

- а) средним ресурсом до наступления предельного состояния;
- б) вероятностью восстановления отказа в заданное время;
- в) коэффициентом готовности;
- г) вероятностью безотказной работы.

13. Основная причина потери автомобилем работоспособного состояния:

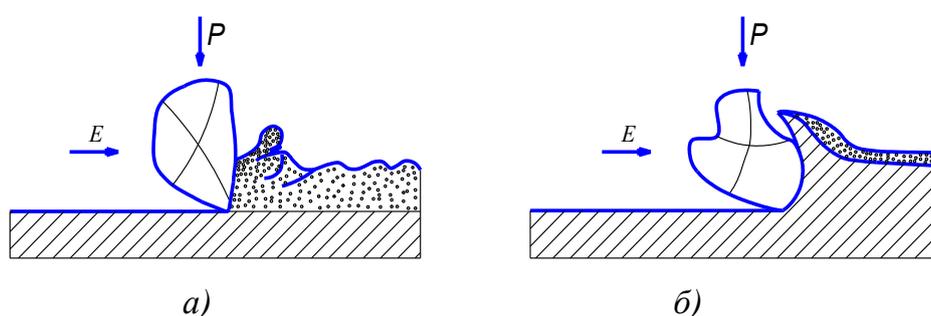
- а) усталостное разрушение деталей;
- б) коррозионное разрушение;

- в) остаточное деформирование;
- г) изнашивание деталей.

14. Химическая коррозия деталей возникает:

- а) в результате взаимодействия металла с атмосферной средой;
- б) из-за разницы электрических потенциалов металла и среды;
- в) при контакте разнородных металлов, имеющих разные электродные потенциалы;
- г) в неэлектрических средах и заключается во взаимодействии металла с компонентами сред.

15. Какой вид изнашивания показан на рисунке а?)



- а) окислительный;
- б) коррозионно-механический;
- в) механический;
- г) усталостный.

16. Электрохимическая коррозия развивается:

- а) при воздействии на металл ударных циклических нагрузок;
- б) в активных газовых средах;
- в) в конструктивных элементах, работающих в условиях прессовых посадок;
- г) при воздействии на металл электропроводной среды – раствора электролита.

17. Наиболее объективную оценку надежности транспортных машин дают:

- а) конструкторские расчеты;
- б) расчеты с использованием структурных схем;
- в) эксплуатационные испытания;
- г) стендовые испытания.

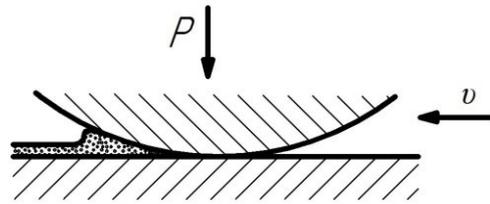
18. Какой вид разрушения деталей при изнашивании показан на этом рисунке?

а) упругое отеснение материала детали;

б) разрушение окисных пленок контактирующих поверхностей;

в) микрорезание материала поверхности;

г) пластическое отеснение материала.



19. Какому закону принадлежит распределение наработки машины t , если плотность ее вероятности описывается выражением

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где λ – параметр закона распределения; t – случайная величина наработки?

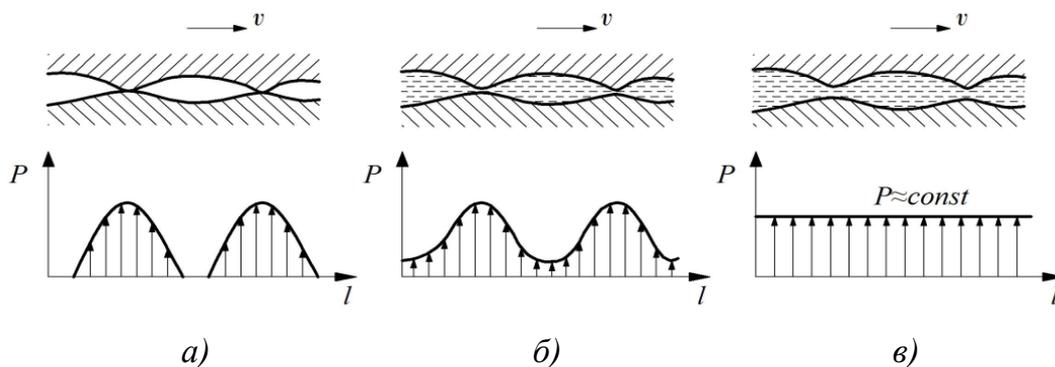
а) закону Вейбулла;

б) логарифмически-нормальному;

в) экспоненциальному;

г) нормальному.

20. Какое изнашивание показано на рисунке б:



а) жидкостное;

б) граничное;

в) сухое;

г) полужидкостное.

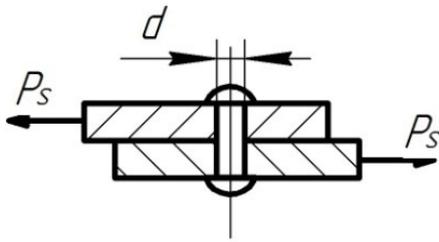
21. Каким основным недостатком обладают эксплуатационные испытания транспортных машин на надежность?

а) низкая достоверность результатов;

б) большая продолжительность их проведения;

в) необходимость наличия специальных дорог для их проведения;

г) необходимость приобретения дорогостоящего технологического оборудования для их проведения.



22. Какой вид деформирования детали представлен этой схемой?

- а) растяжение (сжатие);
- б) кручение;
- в) сдвиг (срез);
- г) изгиб.

23. Изнашивание при фреттинг-коррозии возникает:

- а) в контактирующих деталях при их малых колебательных перемещениях и наличии в зоне контакта окисляющей среды;
- б) при образовании на поверхности металла окисной пленки;
- в) при молекулярно-механическом взаимодействии трущихся поверхностей;
- г) вследствие пластического деформирования трущихся поверхностей при их взаимодействии.

24. Основное требование к материалам деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок:

- а) легкая прирабатываемость;
- б) высокая износостойкость при нормальных условиях работы;
- в) высокая контактная усталостная прочность;
- г) усталостная прочность.

25. Техническое диагностирование автотранспортных средств служит:

- а) для поддержания заданного уровня исправности или работоспособности;
- б) оценки технического состояния объектов;
- в) восстановления утраченной работоспособности;
- г) измерения степени износа конструктивных элементов.

26. Какой вид соединения элементов тормозной системы автомобиля обеспечивает в наибольшей степени его надежную работу?

- а) последовательное;
- б) параллельное;
- в) с отдельным резервированием контуров системы;
- г) с общим резервированием контуров системы.

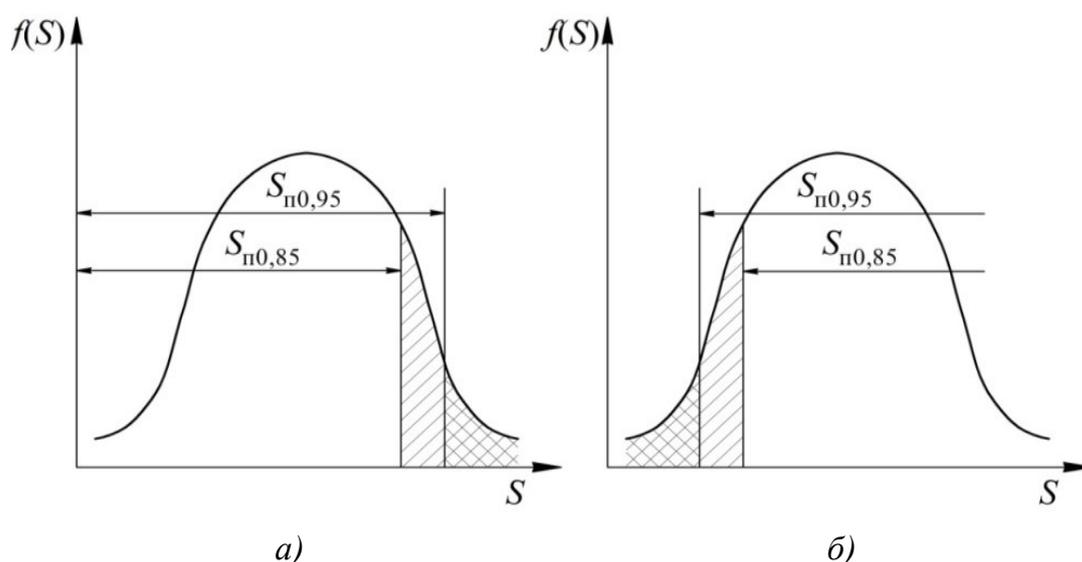
27. Каким диагностическим параметром руководствуются при определении пригодности объекта к эксплуатации без проведения каких-либо технических воздействий?

- а) номинальным;
- б) предельным;
- в) допустимым;
- г) установленным отраслевой технической документацией.

28. Надежность автомобиля в эксплуатации достигается за счет:

- а) рационального выбора материалов деталей в узлах трения;
- б) повышения уровня ремонтпригодности;
- в) качественного выполнения работ по ТО и ремонту;
- г) резервирования элементов и систем автомобиля.

29. Какие диагностические нормативы определяются этой схемой?



- а) номинальные;
- б) предельные;
- в) допустимые;
- г) текущие.

30. Что понимают под прогнозированием остаточного ресурса автомобиля?

- а) средний ресурс автомобиля по результатам конструкторских расчетов;
- б) безотказную работу от начала эксплуатации до потери работоспособности;
- в) продолжительность исправной работы от момента диагностирования до наступления предельного состояния;
- г) среднюю наработку до отказа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна из важнейших задач автомобилестроения – это обеспечение высокого уровня надежности автомобилей. Решение этой задачи возможно только при реализации комплекса взаимосвязанных мероприятий на всех этапах проектирования, изготовления и эксплуатации автомобилей.

В пособии раскрыты теоретические и практические вопросы науки о надежности; приведены основные свойства надежности и показатели для ее определения; раскрыты вопросы нормирования диагностических параметров, оценивающих техническое состояние автомобиля и осуществляющих прогнозирование его остаточного ресурса.

Существенной в решении проблемы повышения надежности машин является информация о наработках до потери ими работоспособности, получаемая из сферы их реальной эксплуатации. Практикум содержит порядок сбора и обработки информации об отказах и неисправностях автомобилей, описываемых различными законами распределения с использованием современных методов статистической обработки экспериментальных данных.

Выполнение приведенных в практикуме работ позволяет студентам оценить уровень фактической надежности той или иной модели автомобиля, выявить слабые места в его конструкции, сформировать навыки в решении практических задач технической эксплуатации автомобиля. Для студентов очно-заочной формы обучения предложены контрольные задания по определению показателей безотказности и долговечности с примерами их выполнения и тесты для проверки знаний изложенного в практикуме материала.

Приведенный материал по выполнению практических работ отражает вопросы, недостаточно освещенные в ранее опубликованной литературе, поэтому окажет помощь студентам, обучающимся по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», при изучении дисциплин «Основы теории надежности» и «Эксплуатационная надежность колесных транспортных средств».

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты индивидуальных заданий

Работа № 1

Надежность машин и комплексные показатели для их оценки

Статистические данные по суммарному времени нахождения автомобилей в работоспособном и неработоспособном состояниях

Номер проведения ТО	Периодичность ТО, тыс. км	$\sum t_э, \text{ч}$	$\sum t_{PC}, \text{ч}$	$\sum t_p, \text{ч}$	$\sum t_{ТО}, \text{ч}$
Вариант 1					
1	15	360	351	9	11
2	15	362	353	9	13
3	15	376	368	8	14
4	15	354	342	12	12
5	15	380	369	11	14
Вариант 2					
1	16	330	319	11	22,4
2	16	348	335	13	21,3
3	16	343	321	22	22,7
4	16	366	341	25	20,1
5	16	339	309	30	23,8
Вариант 3					
1	20	401	391	10	11,6
2	20	390	383	7	13,5
3	20	389	378	11	14,0
4	20	408	400	8	12,0
5	20	403	389	14	14,9
Вариант 4					
1	10	211	201	10	11,5
2	10	206	199	7	12,5
3	10	219	208	11	11,0
4	10	224	212	12	10,5
5	10	223	209	14	10,9
Вариант 5					
1	12	281	271	10	9
2	12	282	273	9	10,5
3	12	289	278	11	11,0
4	12	284	272	12	11,5
5	12	286	269	17	10,9

Продолжение

Номер проведения ТО	Периодичность ТО, тыс. км	$\sum t_3, \text{ ч}$	$\sum t_{PC}, \text{ ч}$	$\sum t_p, \text{ ч}$	$\sum t_{TO}, \text{ ч}$
Вариант 6					
1	11	220,5	210	10,5	11,4
2	11	222,5	213	9,5	11,5
3	11	219,6	208	11,6	11,6
4	11	230,8	218	12,8	11,0
5	11	246,1	229	17,1	10,9
Вариант 7					
1	10	242,5	231	11,5	10,3
2	10	254,4	242	12,4	10,6
3	10	226,3	216	10,3	10,3
4	10	241,9	227	14,9	11,8
5	10	253,6	235	18,6	11,7
Вариант 8					
1	15	372,5	361	11,5	10,4
2	15	362,5	353	9,5	11,6
3	15	369,0	358	11,0	11,3
4	15	354,4	342	12,4	11,0
5	15	372,3	359	13,3	11,9
Вариант 9					
1	14	361,8	351	10,8	10,5
2	14	352,6	343	9,6	10,6
3	14	349,4	338	11,4	10,3
4	14	354,0	342	12,0	11,0
5	14	352,1	339	13,1	11,1
Вариант 10					
1	10	231,2	221	10,2	12,6
2	10	233,6	223	10,6	13,0
3	10	234,4	218	16,4	10,9
4	10	240,0	222	18,0	11,4
5	10	232,1	209	23,1	11,8
Вариант 11					
1	20	400,2	388	12,2	11,3
2	20	400,9	393	7,9	13,0
3	20	390,4	379	11,4	12,0
4	20	409,2	401	8,2	12,4
5	20	403,0	389	14,0	12,9

Окончание

Номер проведения ТО	Периодичность ТО, тыс. км	$\sum t_3, \text{ч}$	$\sum t_{PC}, \text{ч}$	$\sum t_p, \text{ч}$	$\sum t_{TO}, \text{ч}$
Вариант 12					
1	15	359,8	348	11,8	12,4
2	15	373,5	363	10,5	11,6
3	15	369,7	358	11,7	12,3
4	15	364,4	352	12,4	12,0
5	15	363,3	349	14,3	11,9
Вариант 13					
1	12	312,8	302	10,8	12,2
2	12	302,5	291	11,5	12,6
3	12	309,0	298	11,0	12,7
4	12	294,4	282	12,4	12,3
5	12	320,3	309	11,3	12,4
Вариант 14					
1	18	371,2	358	13,2	12,3
2	18	364,9	353	11,9	13,2
3	18	362,4	349	13,4	12,8
4	18	359,2	341	18,2	13,4
5	18	353,6	339	14,6	13,0
Вариант 15					
1	16	342,4	331	11,4	24,4
2	16	356,2	343	13,2	23,6
3	16	344,5	328	16,5	24,8
4	16	347,0	329	18,0	26,0
5	16	369,8	345	24,8	25,9

Работа № 2

Статистическая обработка информации о надежности транспортных машин

Статистические данные о ресурсе или наработке до отказа объекта,
тыс. км

Вариант 1
<i>56; 148; 157; 152; 74; 66; 70; 160; 168; 82; 88; 91; 86; 96; 93; 102; 108; 118; 116; 109; 112; 114; 119; 111; 107; 139; 127; 131; 134; 136</i>
Вариант 2
<i>111; 175; 157; 171; 190; 137; 154; 169; 146; 191; 212; 131; 144; 126; 177; 159; 87; 196; 166; 164; 132; 184; 209; 188; 165; 190; 128; 162; 149; 142; 168; 178</i>

Вариант 3
108; 144; 88; 140; 43; 121; 110; 132; 161; 69; 133; 79; 120; 28; 94; 148; 24; 53; 114; 90; 128; 37; 104; 174; 77; 129; 112; 70; 61; 80; 106; 91
Вариант 4
49; 86; 79; 94; 110; 37; 124; 98; 101; 80; 88; 71; 84; 128; 142; 59; 62; 107; 95; 19; 106; 131; 117; 156; 82; 123; 66; 79; 97; 116; 29; 96
Вариант 5
100; 118; 139; 152; 113; 99; 127; 150; 122; 117; 128; 149; 102; 110; 112; 131; 60; 172; 94; 120; 86; 130; 75; 79; 106; 109; 117; 90; 98; 134; 147; 120
Вариант 6
98; 59; 136; 155; 108; 129; 182; 159; 146; 74; 61; 91; 133; 86; 176; 110; 128; 160; 119; 148; 106; 74; 124; 162; 117; 169; 192; 181; 95; 121; 137; 131
Вариант 7
198; 212; 192; 237; 199; 174; 206; 212; 196; 208; 197; 216; 206; 254; 214; 193; 218; 222; 228; 198; 186; 212; 218; 184; 222; 210; 201; 246; 248; 244
Вариант 8
267; 270; 236; 241; 170; 188; 193; 130; 129; 131; 202; 212; 262; 219; 73; 132; 171; 230; 241; 172; 164; 204; 234; 235; 300; 204; 206; 210; 244; 260; 210; 361
Вариант 9
13; 59; 51; 47; 69; 58; 70; 80; 52; 58; 71; 63; 67; 65; 44; 79; 38; 41; 33; 35; 29; 44; 74; 29; 95; 39; 54; 49; 64; 31; 28; 53
Вариант 10
86; 77; 91; 108; 115; 137; 160; 149; 81; 150; 162; 43; 176; 100; 62; 141; 138; 112; 121; 32; 174; 201; 146; 119; 98; 109; 126; 144; 152; 171
Вариант 11
86; 72; 59; 69; 55; 71; 53; 66; 44; 40; 49; 29; 39; 50; 64; 51; 70; 67; 47; 49; 45; 33; 57; 11; 26; 61; 37; 60; 22; 41; 79; 51
Вариант 12
276; 372; 359; 349; 315; 357; 352; 266; 384; 317; 338; 334; 327; 290; 344; 355; 208; 293; 418; 368; 326; 354; 307; 314; 232; 376; 248; 311; 281; 254; 326; 336
Вариант 13
31; 46; 66; 78; 104; 107; 125; 498; 59; 72; 83; 94; 116; 67; 89; 92; 114; 69; 79; 104; 109; 73; 84; 103; 112; 77; 99; 110; 76; 95; 80; 102
Вариант 14
46; 32; 58; 59; 69; 84; 92; 51; 62; 77; 88; 96; 56; 68; 82; 93; 112; 40; 74; 79; 98; 49; 64; 72; 85; 101; 76; 80; 94; 81; 77; 89
Вариант 15
77; 99; 107; 132; 87; 98; 108; 134; 47; 79; 104; 70; 114; 124; 149; 101; 117; 85; 123; 93; 115; 128; 141; 100; 109; 127; 94; 112; 107; 96; 119; 111

Работа № 3

Определение показателей долговечности транспортных машин

Значения ресурсов объекта, тыс. км

Вариант 1
41; 101; 104; 100; 139; 78; 172; 82; 126; 115; 187; 163; 191; 74; 112; 90; 288; 199; 83; 208; 106; 173; 93; 173; 107; 61; 122; 56; 141; 60
Вариант 2
115; 184; 65; 158; 193; 96; 53; 42; 109; 157; 151; 174; 90; 222; 118; 212; 165; 137; 147; 130; 89; 128; 247; 80; 112; 111; 178; 108; 37; 19
Вариант 3
130; 104; 122; 14; 114; 58; 91; 154; 78; 68; 182; 76; 176; 138; 56; 149; 136; 131; 72; 155; 115; 97; 197; 178; 86; 118; 135; 58; 71; 132
Вариант 4
36; 51; 79; 59; 76; 91; 71; 74; 84; 62; 106; 51; 69; 39; 24; 88; 68; 93; 46; 121; 98; 18; 95; 67; 30; 54; 83; 108; 119; 89; 104; 86
Вариант 5
26; 50; 74; 59; 66; 82; 41; 47; 40; 63; 16; 61; 69; 39; 29; 48; 67; 53; 44; 49; 58; 72; 84; 33; 37; 52; 38; 71; 42; 46; 64; 54
Вариант 6
78; 92; 106; 184; 84; 98; 107; 132; 46; 71; 87; 94; 113; 134; 139; 104; 102; 109; 129; 97; 111; 127; 146; 100; 119; 108; 79; 112; 101; 117; 114; 121
Вариант 7
81; 52; 88; 72; 56; 35; 87; 70; 69; 97; 57; 134; 87; 86; 104; 44; 57; 84; 66; 52; 88; 51; 103; 76; 71; 78; 103; 84; 78; 59; 71; 46
Вариант 8
100; 123; 67; 61; 88; 107; 109; 87; 119; 77; 106; 103; 80; 99; 104; 69; 111; 60; 90; 88; 84; 94; 130; 109; 124; 92; 67; 91; 114; 115; 130; 103
Вариант 9
153; 83; 61; 121; 68; 110; 56; 52; 58; 131; 41; 28; 71; 55; 85; 84; 106; 40; 75; 25; 53; 113; 97; 74; 120; 60; 77; 50; 44; 141; 143; 82
Вариант 10
46; 41; 21; 33; 25; 13; 15; 37; 23; 40; 43; 48; 39; 27; 18; 40; 55; 37; 16; 19; 17; 44; 65; 66; 50; 42; 63; 58; 54; 31; 52; 64
Вариант 11
117; 222; 148; 178; 91; 156; 81; 127; 103; 120; 157; 98; 119; 155; 105; 74; 114; 128; 120; 117; 118; 152; 80; 143; 158; 78; 138; 162; 175; 151; 188; 159
Вариант 12
217; 173; 230; 158; 247; 191; 173; 192; 203; 204; 185; 200; 190; 203; 228; 229; 150; 204; 201; 165; 210; 152; 198; 161; 182; 151; 229; 202; 215; 223; 180; 229

Вариант 13
83; 67; 71; 150; 135; 82; 98; 128; 106; 83; 111; 74; 95; 113; 91; 76; 171; 106; 125; 99; 102; 29; 78; 50; 51; 106; 98; 87; 75; 122; 96; 112
Вариант 14
101; 88; 20; 75; 53; 64; 116; 82; 54; 69; 36; 62; 49; 75; 50; 73; 74; 37; 63; 72; 77; 55; 88; 66; 67; 32; 59; 60; 41; 43; 90; 36
Вариант 15
99; 41; 64; 63; 31; 43; 70; 66; 80; 73; 55; 50; 84; 67; 91; 81; 51; 48; 112; 45; 79; 76; 81; 82; 67; 95; 66; 51; 75; 80; 36; 65

Работа № 4

Определение показателей безотказности агрегатов и систем транспортных машин

Статистические данные о наработках объекта до отказа, тыс. км

Вариант 1
46; 39; 65; 42; 56; 32; 48; 82; 57; 24; 73; 44; 61; 67; 71; 75; 53; 60; 52; 57; 75; 59; 102; 77; 70; 53; 59; 73; 88; 61
Вариант 2
54; 36; 48; 52; 24; 69; 63; 49; 79; 29; 31; 52; 76; 41; 47; 43; 56; 64; 42; 37; 52; 68; 37; 44; 51; 45; 75; 66; 29; 57; 51; 40
Вариант 3
11; 30; 32; 35; 46; 52; 23; 34; 45; 44; 37; 38; 54; 17; 29; 38; 21; 29; 39; 19; 25; 21; 27; 31; 34; 37; 27; 40; 41; 47; 33; 26
Вариант 4
21; 29; 37; 24; 27; 41; 30; 39; 23; 27; 56; 49; 29; 71; 80; 52; 26; 51; 62; 97; 40; 44; 28; 74; 47; 20; 83; 34; 68; 38; 61; 58
Вариант 5
47; 60; 63; 57; 59; 77; 55; 61; 69; 66; 30; 44; 53; 67; 57; 74; 58; 65; 39; 41; 52; 59; 86; 72; 69; 48; 50; 51; 49; 58
Вариант 6
31; 58; 67; 37; 69; 76; 87; 63; 54; 59; 70; 62; 50; 57; 74; 23; 46; 84; 98; 42; 45; 75; 80; 60; 85; 52; 68; 56; 65; 79; 72
Вариант 7
21; 23; 29; 23; 16; 44; 18; 20; 49; 22; 37; 28; 30; 17; 19; 31; 24; 55; 33; 62; 19; 29; 47; 18; 72; 47; 17; 39; 51; 57; 36; 27
Вариант 8
66; 82; 74; 98; 102; 91; 118; 116; 131; 124; 160; 148; 86; 70; 109; 114; 96; 56; 112; 157; 152; 111; 107; 136; 139; 93; 168; 127; 108; 119

Окончание

Вариант 9
24; 36; 42; 51; 56; 75; 88; 62; 66; 39; 42; 48; 53; 61; 57; 44; 101; 77; 69; 82; 75; 57; 60; 69; 68; 70; 59; 68; 55; 56
Вариант 10
74; 66; 112; 61; 76; 71; 87; 60; 68; 79; 109; 139; 73; 91; 99; 69; 107; 77; 95; 90; 129; 164; 70; 118; 186; 75; 156; 144; 116; 94
Вариант 11
74; 66; 90; 61; 76; 71; 87; 60; 68; 79; 103; 67; 73; 58; 51; 72; 69; 83; 77; 33; 49; 81; 59; 70; 67; 78; 42; 53; 64; 56; 93; 84
Вариант 12
33; 39; 46; 53; 76; 40; 47; 58; 22; 42; 44; 51; 37; 50; 34; 50; 49; 56; 44; 57; 39; 35; 18; 55; 41; 65; 40; 43; 29; 36; 47; 51
Вариант 13
36; 59; 66; 54; 76; 60; 77; 78; 67; 72; 44; 51; 79; 90; 72; 69; 82; 62; 84; 81; 93; 57; 104; 52; 86; 44; 71; 64; 73; 91; 83; 68
Вариант 14
46; 29; 19; 23; 26; 20; 27; 17; 34; 22; 44; 51; 19; 33; 58; 39; 22; 28; 42; 55; 71; 21; 30; 31; 18; 25; 36; 23; 17; 21; 38; 61
Вариант 15
54; 61; 79; 55; 66; 40; 47; 74; 60; 62; 41; 51; 69; 34; 20; 78; 26; 83; 42; 48; 70; 45; 90; 71; 78; 55; 58; 103; 67; 53; 87; 41

Работа № 5

Определение показателей надежности парка автотранспортных средств

Статистические данные о количестве автомобилей в АТП
с различным техническим состоянием

Варианты № 1 – 5

Списочное количество автомобилей, $N_{сп}$	Количество автомобилей на линии, $N_{л}$	Простой автомобилей			
		ТО	ТР	ОТП	ОП
352	290	7	28	9	18
351	271	3	59	8	10
352	275	8	48	9	12
352	278	7	49	8	10
354	285	0	52	9	8
354	285	5	49	9	6
354	289	5	46	9	5
354	279	5	53	10	7

Окончание

Списочное количество автомобилей, $N_{сп}$	Количество автомобилей на линии, $N_{л}$	Простой автомобилей			
		ТО	ТР	ОТП	ТО
354	286	6	47	7	8
354	289	4	43	7	11
354	289	2	44	6	13
354	289	4	48	7	6

$$k_1 = 1,0, k_2 = 1,2, k_3 = 0,8, k_4 = 1,3, k_5 = 1,7$$

Варианты № 6 – 10

Списочное количество автомобилей, $N_{сп}$	Количество автомобилей на линии, $N_{л}$	Простой автомобилей			
		ТО	ТР	ОТП	ОП
387	314	9	43	11	10
387	319	8	31	10	19
386	298	3	65	9	11
387	303	9	52	10	13
389	314	0	56	10	9
389	314	6	52	10	7
389	318	6	49	10	6
389	311	3	58	8	9
389	315	7	50	8	9
389	318	4	47	8	12
389	318	2	48	7	14
389	307	1	57	9	15

$$k_6 = 1,0, k_7 = 1,5, k_8 = 0,7, k_9 = 1,4, k_{10} = 1,6$$

Варианты № 11 – 15

Списочное количество автомобилей, $N_{сп}$	Количество автомобилей на линии, $N_{л}$	Простой автомобилей			
		ТО	ТР	ОТП	ОП
209	170	2	25	4	8
211	171	5	24	6	5
211	174	4	17	5	11
211	163	2	35	5	6
211	165	5	29	5	7
211	167	4	29	5	6
212	171	0	31	5	5
212	173	3	28	5	3
212	170	2	31	4	5
212	173	2	26	4	7
212	173	1	26	4	8
212	173	2	29	4	4

$$k_{11} = 1,0, k_{12} = 0,9, k_{13} = 1,1, k_{14} = 1,3, k_{15} = 0,7$$

Примечания:

1) исходные данные для выполнения расчетов показателей надежности автопарка корректируются коэффициентами ($k_1 - k_{15}$) в соответствии с вариантом задания;

2) списочное количество автомобилей, количество автомобилей на линии, а также простои автомобилей после умножения на коэффициент округлять до целого числа;

3) сумма автомобилей на линии и в простоях должно быть равно списочному количеству автомобилей.

Работа № 6

Проверка гипотезы о принадлежности опытных данных выбранному закону распределения

(на примере нормального закона)

Значения наработок объекта до предельного состояния, тыс. км

Вариант 1
154; 234; 149; 130; 135; 122; 155; 210; 203; 150; 179; 184; 76; 198; 174; 184; 224; 97; 213; 158; 160; 162; 129; 220; 199; 144; 203; 195; 143; 185; 165; 115; 145; 144; 136; 107; 176; 190; 134; 168
Вариант 2
126; 201; 200; 130; 147; 184; 59; 166; 101; 145; 116; 183; 57; 103; 148; 157; 177; 125; 101; 94; 122; 211; 112; 101; 146; 171; 125; 171; 86; 72; 141; 173; 131; 116; 212; 160; 173
Вариант 3
115; 118; 146; 165; 148; 110; 119; 131; 205; 119; 118; 125; 68; 147; 128; 83; 109; 129; 109; 150; 157; 134; 116; 143; 134; 106; 125; 96; 168; 128; 117; 145; 147; 158; 136
Вариант 4
170; 108; 106; 131; 126; 113; 141; 126; 189; 93; 100; 190; 129; 122; 35; 91; 175; 203; 92; 151; 93; 63; 91; 127; 109; 127; 200; 128; 146; 128; 190; 173; 105; 78; 185; 97; 87; 65; 98; 70; 177
Вариант 5
89; 92; 42; 94; 62; 88; 86; 90; 80; 90; 42; 44; 110; 92; 52; 55; 39; 111; 88; 58; 36; 71; 98; 70; 88; 68; 108; 56; 84; 40; 16; 75; 118; 104; 66; 98; 92; 124; 50; 64
Вариант 6
146; 212; 199; 154; 143; 185; 171; 183; 185; 145; 188; 243; 136; 167; 134; 211; 199; 191; 101; 103; 127; 211; 49; 266; 118; 265; 115; 98; 183; 147; 37; 199; 218; 109; 225; 190; 121; 187; 164; 107; 66; 128; 203

Вариант 7
<i>115; 161; 52; 154; 87; 129; 121; 29; 74; 61; 123; 67; 11; 124; 120; 23; 75; 80; 118; 103; 111; 84; 103; 85; 81; 134; 65; 133; 123; 47; 114; 116; 76; 91; 126; 121; 85; 101</i>
Вариант 8
<i>105; 27; 80; 64; 82; 118; 51; 64; 60; 86; 75; 122; 71; 68; 110; 40; 74; 109; 93; 66; 96; 83; 100; 96; 82; 113; 92; 96; 112; 81; 82; 79; 104; 40; 100; 50; 84; 81; 15</i>
Вариант 9
<i>92; 85; 123; 86; 128; 56; 89; 106; 86; 169; 132; 102; 83; 102; 103; 155; 89; 22; 237; 121; 119; 62; 59; 182; 100; 102; 69; 82; 109; 106; 94; 182; 113; 80; 107</i>
Вариант 10
<i>188; 183; 130; 144; 201; 139; 92; 254; 183; 75; 149; 124; 158; 164; 152; 90; 135; 175; 209; 191; 195; 187; 203; 136; 131; 173; 126; 172; 183; 176; 229; 217; 144; 192; 106; 251; 156; 215; 248; 75</i>
Вариант 11
<i>181; 112; 170; 270; 183; 180; 180; 221; 183; 102; 170; 177; 143; 186; 198; 160; 162; 151; 249; 276; 186; 153; 195; 212; 170; 129; 157; 61; 198; 127; 237; 114; 134; 160; 130; 216; 184; 159; 107; 124; 173; 122; 183; 177</i>
Вариант 12
<i>72; 76; 62; 58; 94; 73; 159; 63; 61; 69; 79; 98; 95; 123; 53; 94; 93; 83; 82; 82; 81; 63; 100; 113; 72; 119; 76; 81; 51; 80; 100; 89; 32; 132; 78; 47; 39; 95; 144</i>
Вариант 13
<i>106; 115; 51; 41; 67; 69; 78; 64; 35; 65; 30; 114; 49; 66; 73; 57; 69; 53; 19; 92; 59; 58; 65; 56; 52; 92; 47; 90; 62; 57; 75; 51; 80; 83; 60; 92; 29; 86; 100; 56; 66; 121; 88</i>
Вариант 14
<i>43; 111; 147; 136; 100; 70; 81; 120; 111; 108; 123; 138; 91; 167; 122; 47; 84; 110; 97; 104; 184; 46; 142; 117; 91; 162; 100; 91; 77; 27; 115; 137; 68; 46; 38; 80; 129; 79; 42; 130</i>
Вариант 15
<i>169; 84; 151; 104; 99; 95; 168; 65; 157; 172; 108; 139; 123; 46; 76; 234; 150; 207; 158; 119; 89; 70; 136; 85; 173; 60; 49; 83; 133; 120; 87; 96; 110; 100; 158; 74; 181; 90; 132; 98; 196; 52; 172</i>

Работа № 7

Обработка опытных данных о надежности, распределенных по экспоненциальному закону

Значения наработок объекта до отказа, тыс. км

Вариант 1
43,2; 11,3; 12,0; 35,9; 24,3; 6,4; 138,7; 8,7; 9,5; 19,0; 11,2; 3,8; 2,7; 3,3; 16,0; 6,7; 30,6; 105,4; 17,5; 35,8; 51,1; 6,0; 24,5; 12,8; 34,5; 11,2; 31,9; 5,6; 116,1; 25,0; 11,3; 41,2; 9,7; 33,9; 28,6; 15,4; 87,8; 18,9; 49,2; 5,4
Вариант 2
55,2; 52,7; 64,6; 16,7; 32,1; 25,9; 12,0; 109,7; 77,8; 9,6; 14,8; 17,4; 23,0; 1,8; 90,8; 1,3; 14,4; 30,4; 18,7; 9,2; 14,6; 45,1; 41,1; 115,7; 22,6; 5,9; 103,0; 84,2; 69,1; 23,3; 5,3; 26,7; 2,7; 21,9; 21,1; 58,2; 7,0; 2,4; 18,5; 45,5
Вариант 3
1,7; 100,9; 19,6; 19,7; 12,2; 9,7; 7,1; 12,4; 30,2; 17,4; 34,6; 37,0; 31,4; 51,9; 25,4; 3,0; 0,1; 0,3; 74,6; 8,9; 11,3; 10,7; 5,4; 23,8; 0,1; 13,2; 28,6; 23,1; 42,0; 7,4; 24,0; 25,3; 5,5; 0,3; 26,9; 7,6; 8,4; 14,3; 35,3; 5,4
Вариант 4
1,7; 10,5; 5,7; 20,8; 3,4; 0,2; 70,1; 9,3; 2,2; 15,4; 50,5; 6,0; 23,4; 6,0; 4,9; 37,7; 1,7; 30,6; 10,0; 57,4; 29,1; 47,5; 24,7; 29,5; 5,7; 14,0; 24,7; 11,7; 6,9; 34,0; 74,9; 16,9; 16,3; 12,1; 21,5; 18,9; 77,4; 98,1; 52,6; 20,9
Вариант 5
17,9; 5,4; 14,3; 3,5; 21,8; 3,6; 6,3; 1,4; 5,4; 3,9; 1,5; 16,3; 7,1; 19,8; 78,5; 24,6; 3,2; 14,9; 64,8; 6,5; 77,6; 0,1; 46,1; 5,0; 29,3; 0,5; 8,1; 63,5; 88,2; 26,4; 1,6; 61,5; 13,4; 90,6; 43,1; 33,2; 68,1; 35,3; 6,7; 1,8
Вариант 6
19,3; 9,5; 5,5; 24,5; 8,0; 51,0; 7,0; 14,5; 7,0; 41,2; 39,7; 16,1; 3,7; 10,6; 2,1; 8,7; 34,2; 26,0; 3,3; 5,2; 13,0; 1,1; 59,2; 4,4; 2,3; 18,9; 33,2; 121,7; 30,1; 17,3; 6,8; 16,9; 9,6; 29,0; 37,1; 1,9; 1,4; 18,0; 22,4; 13,4
Вариант 7
18,5; 80,0; 98,3; 31,9; 51,8; 127,7; 25,3; 79,2; 268,8; 14,9; 27,3; 61,0; 35,2; 18,3; 11,2; 104,7; 161,0; 9,1; 61,6; 49,1; 118,7; 97,3; 59,7; 30,2; 7,1; 194,8; 32,7; 33,1; 58,3; 147,1; 26,0; 87,7; 37,8; 58,4; 56,0; 108,4; 203,7; 126,7; 16,6; 10,1
Вариант 8
73,2; 12,2; 25,0; 10,7; 11,0; 1,0; 3,9; 84,1; 34,6; 23,1; 1,7; 35,5; 19,5; 4,2; 40,1; 0,1; 26,3; 7,8; 16,3; 0,9; 3,8; 0,3; 1,5; 0,4; 15,3; 4,5; 6,4; 18,2; 7,0; 13,6; 30,5; 44,1; 4,9; 6,1; 39,9; 5,1; 24,9; 20,4; 26,9; 4,1
Вариант 9
141,5; 18,0; 47,5; 30,0; 33,1; 15,5; 41,7; 20,2; 24,7; 17,8; 33,2; 26,2; 5,0; 13,3; 12,6; 23,6; 33,6; 73,0; 11,4; 11,4; 97,8; 14,7; 34,1; 108,2; 4,7; 1,7; 65,9; 18,0; 32,2; 2,1; 109,4; 19,0; 23,7; 8,2; 66,9; 7,7; 41,8; 3,2; 58,2; 31,6

Окончание

Вариант 10
59,5; 34,9; 52,7; 28,7; 34,1; 44,0; 76,0; 13,7; 63,2; 1,2; 24,7; 5,2; 36,2; 21,3; 0,7; 26,0; 0,8; 19,7; 41,2; 17,5; 19,2; 4,0; 8,3; 9,0; 69,0; 12,8; 23,1; 217,2; 7,9; 17,3; 55,6; 91,4; 13,8; 24,8; 43,1; 92,5; 20,4; 1,3; 31,5; 2,5
Вариант 11
6,0; 6,8; 31,5; 77,7; 164,6; 24,6; 39,6; 282,6; 14,0; 28,4; 34,2; 112,5; 120,6; 41,4; 45,9; 48,6; 8,0; 2,6; 34,5; 19,6; 7,3; 3,3; 28,1; 27,8; 62,5; 25,0; 14,6; 8,9; 3,8; 6,5; 23,0; 28,0; 29,9; 359,2; 3,5; 111,1; 224,2; 7,1; 136,7; 48,8
Вариант 12
70,3; 36,4; 33,4; 115,8; 159,1; 9,5; 23,7; 24,8; 60,3; 6,1; 11,3; 7,1; 82,5; 20,1; 1,9; 19,3; 20,5; 95,2; 23,1; 20,0; 85,7; 64,3; 17,9; 17,7; 12,8; 27,4; 0,6; 19,7; 12,8; 46,6; 13,6; 3,7; 29,9; 66,8; 24,1; 61,7; 4,0; 44,2; 4,5; 141,9
Вариант 13
55,1; 4,7; 9,9; 28,9; 34,5; 2,4; 37,7; 23,1; 56,2; 34,6; 32,1; 40,2; 295,7; 27,5; 10,3; 7,2; 66,6; 47,3; 53,5; 72,4; 3,4; 33,5; 23,6; 56,3; 97,0; 40,7; 2,4; 189,6; 5,5; 7,5; 13,5; 189,0; 62,3; 29,3; 4,4; 13,0; 11,3; 55,5; 49,3; 51,2
Вариант 14
28,6; 4,7; 27,7; 5,9; 16,1; 6,1; 1,8; 25,8; 42,4; 10,4; 12,4; 2,2; 3,1; 3,7; 2,8; 28,0; 19,1; 32,5; 5,0; 38,2; 42,3; 52,5; 9,0; 28,5; 3,9; 16,3; 21,6; 69,0; 29,9; 31,2; 42,9; 2,5; 62,6; 15,8; 15,9; 2,6; 0,9; 19,4; 56,5; 14,9
Вариант 15
74,2; 5,4; 0,1; 8,7; 46,7; 20,4; 5,8; 22,2; 8,8; 1,2; 83,0; 13,7; 30,7; 3,4; 59,9; 1,4; 15,3; 7,9; 44,6; 0,5; 17,9; 23,0; 29,1; 17,9; 11,7; 34,2; 35,1; 57,5; 15,9; 28,2; 18,6; 24,0; 5,6; 3,4; 22,0; 60,8; 27,2; 13,1; 67,2; 13,3

Работа № 8

Обработка опытных данных, распределенных по закону Вейбулла

Значения наработок объекта до отказа, тыс. км

Вариант 1
38; 14; 266; 94; 48; 74; 202; 50; 98; 138; 49; 201; 63; 96; 99; 103; 9; 29; 204; 57; 154; 29; 8; 27; 131; 81; 88; 42; 80; 99; 66; 120; 27; 33; 18; 95; 51; 106; 88; 74; 108; 30; 71; 37; 176; 43; 65; 130; 45; 146
Вариант 2
32; 50; 19; 37; 82; 81; 146; 91; 68; 82; 95; 94; 142; 56; 93; 119; 28; 58; 66; 97; 256; 81; 105; 35; 22; 135; 112; 63; 131; 25; 189; 27; 223; 102; 54; 54; 55; 23; 77; 113; 183; 68; 43; 104; 63; 82; 49; 80; 194; 157

Вариант 3
122; 157; 84; 17; 145; 5; 88; 55; 87; 185; 150; 24; 267; 166; 72; 136; 70; 85; 60; 50; 75; 62; 129; 139; 108; 14; 31; 50; 173; 217; 54; 85; 146; 38; 239; 52; 115; 174; 5; 220; 8; 162; 287; 70; 130; 70; 68; 143; 68; 61
Вариант 4
42; 35; 27; 47; 104; 108; 5; 75; 141; 54; 112; 47; 31; 238; 257; 10; 68; 163; 194; 120; 53; 90; 175; 139; 8; 200; 114; 54; 131; 72; 233; 231; 94; 23; 98; 34; 2; 82; 8; 11; 170; 154; 66; 61; 57; 340; 135; 111; 71; 104
Вариант 5
31; 88; 118; 28; 105; 43; 9; 19; 52; 110; 83; 162; 179; 145; 6; 237; 181; 150; 49; 96; 57; 98; 161; 25; 64; 158; 64; 112; 69; 29; 45; 201; 52; 154; 94; 20; 29; 172; 24; 44; 183; 100; 183; 67; 55; 48; 100; 151; 60; 37
Вариант 6
133; 115; 99; 33; 7; 67; 57; 72; 49; 176; 127; 64; 150; 10; 59; 58; 122; 159; 46; 61; 28; 20; 88; 27; 35; 74; 68; 83; 71; 114; 49; 15; 37; 54; 64; 66; 172; 26; 248; 104; 137; 88; 70; 121; 335; 77; 136; 121; 26; 148
Вариант 7
109; 159; 63; 162; 282; 73; 317; 23; 17; 111; 7; 147; 55; 7; 136; 65; 31; 70; 4; 201; 26; 110; 82; 80; 18; 40; 159; 66; 92; 45; 97; 103; 57; 105; 152; 75; 125; 191; 22; 134; 40; 181; 151; 43; 96; 183; 15; 117; 199; 173
Вариант 8
9; 8; 35; 97; 82; 70; 95; 93; 48; 33; 42; 64; 92; 51; 23; 17; 49; 130; 114; 159; 30; 45; 25; 79; 117; 61; 82; 25; 90; 8; 59; 29; 5; 7; 30; 40; 50; 10; 51; 6; 37; 126; 151; 23; 28; 12; 27; 30; 110; 116
Вариант 9
60; 69; 21; 15; 59; 34; 59; 34; 8; 1; 46; 30; 10; 25; 132; 36; 40; 6; 35; 31; 13; 44; 16; 9; 121; 44; 57; 40; 43; 8; 15; 63; 29; 63; 76; 23; 61; 46; 61; 97; 12; 118; 12; 30; 20; 27; 37; 47; 28; 48
Вариант 10
44; 20; 21; 110; 21; 32; 47; 81; 12; 38; 40; 16; 75; 32; 53; 53; 51; 51; 74; 46; 18; 9; 10; 4; 113; 43; 17; 23; 22; 53; 85; 93; 17; 55; 30; 9; 56; 57; 94; 38; 33; 13; 21; 99; 79; 95; 79; 41; 34; 24
Вариант 11
67; 31; 82; 51; 21; 4; 21; 18; 57; 74; 122; 86; 35; 27; 63; 62; 64; 21; 92; 42; 27; 140; 17; 72; 15; 57; 34; 28; 103; 5; 154; 29; 11; 141; 34; 82; 33; 23; 50; 78; 23; 68; 115; 56; 43; 149; 47; 57; 47; 39
Вариант 12
43; 14; 33; 31; 38; 41; 4; 6; 45; 112; 133; 17; 126; 168; 9; 83; 94; 6; 21; 65; 9; 13; 87; 15; 107; 21; 22; 91; 40; 33; 31; 59; 17; 64; 55; 46; 30; 6; 86; 59; 44; 8; 53; 33; 68; 16; 40; 23; 47; 39

Вариант 13
30; 50; 26; 36; 44; 109; 27; 45; 65; 85; 62; 14; 44; 54; 31; 101; 38; 34; 44; 9; 35; 59; 2; 4; 20; 28; 6; 78; 27; 30; 99; 61; 68; 48; 13; 34; 36; 40; 38; 11; 73; 79; 114; 4; 30; 33; 81; 103; 37; 110
Вариант 14
16; 22; 79; 38; 98; 31; 27; 9; 58; 48; 11; 99; 21; 107; 52; 129; 46; 29; 17; 32; 5; 86; 11; 12; 71; 9; 91; 116; 14; 75; 26; 25; 25; 60; 58; 11; 28; 135; 22; 34; 72; 41; 3; 56; 110; 45; 38; 36; 58; 48
Вариант 15
77; 56; 49; 43; 62; 32; 45; 101; 31; 20; 60; 67; 40; 4; 106; 9; 133; 63; 51; 18; 27; 68; 74; 89; 16; 15; 75; 19; 20; 50; 3; 139; 144; 38; 130; 40; 24; 30; 21; 6; 49; 30; 75; 43; 10; 158; 60; 17; 49; 21

Работа № 9

Определение показателей надежности машин по результатам незавершенных испытаний

Статистические данные по наработкам объекта по результатам
незавершенных испытаний, тыс. км

Вариант 1
$N = 40; N_c = 10.$ $t_{ic} = \{37; 41; 44; 54; 56; 57; 61; 64; 68; 75\}.$ $t_{io} = \{39; 51; 53; 50; 55; 47; 44; 33; 56; 53; 67; 70; 39; 48; 54; 37; 41; 38; 59; 26; 58; 36; 65; 44; 53; 47; 55; 43; 46; 61\}$
Вариант 2
$N = 40; N_c = 8.$ $t_{ic} = \{56; 60; 64; 70; 76; 79; 83; 88\}.$ $t_{io} = \{59; 61; 62; 63; 60; 55; 67; 54; 53; 66; 73; 77; 80; 79; 88; 84; 57; 60; 71; 68; 79; 56; 78; 56; 85; 64; 73; 67; 75; 63; 66; 81\}$
Вариант 3
$N = 42; N_c = 10.$ $t_{ic} = \{66; 70; 74; 80; 86; 89; 73; 77; 68; 56\}.$ $t_{io} = \{91; 94; 92; 93; 86; 98; 97; 84; 87; 76; 83; 87; 89; 99; 98; 94; 87; 92; 95; 98; 89; 96; 98; 86; 85; 94; 93; 97; 95; 83; 86; 98\}$
Вариант 4
$N = 40; N_c = 10.$ $t_{ic} = \{36; 40; 44; 50; 38; 47; 53; 58; 38; 52\}.$ $t_{io} = \{51; 64; 62; 63; 66; 58; 47; 64; 58; 56; 63; 67; 69; 59; 48; 64; 47; 52; 65; 58; 60; 66; 58; 61; 65; 74; 63; 67; 55; 63\}$

Вариант 5
$N = 42; N_c = 11.$ $t_{ic} = \{26; 30; 34; 28; 27; 37; 33; 28; 30; 52; 26\}.$ $t_{io} = \{31; 34; 42; 43; 46; 48; 37; 54; 48; 46; 33; 37; 39; 42; 40; 37; 42; 45; 38; 50;$ $46; 48; 51; 55; 54; 53; 37; 45; 43; 36; 51\}$
Вариант 6
$N = 40; N_c = 9.$ $t_{ic} = \{36; 38; 44; 47; 56; 49; 33; 38; 41\}.$ $t_{io} = \{48; 51; 52; 49; 59; 45; 57; 54; 52; 66; 73; 77; 80; 69; 78; 87; 60; 71; 58; 59;$ $66; 58; 76; 79; 84; 83; 87; 76; 63; 86; 72\}$
Вариант 7
$N = 38; N_c = 8.$ $t_{ic} = \{57; 62; 64; 71; 76; 77; 80; 68\}.$ $t_{io} = \{69; 71; 62; 73; 80; 75; 67; 84; 73; 76; 63; 77; 81; 79; 83; 67; 80; 81; 88; 89;$ $96; 98; 86; 95; 94; 83; 87; 95; 83; 96\}$
Вариант 8
$N = 44; N_c = 12.$ $t_{ic} = \{36; 30; 34; 28; 37; 34; 33; 44; 39; 52; 47; 51\}.$ $t_{io} = \{41; 44; 52; 53; 56; 58; 67; 64; 78; 76; 83; 77; 79; 82; 90; 89; 67; 72; 85; 88;$ $90; 96; 98; 51; 75; 94; 73; 87; 95; 93; 86; 98\}$
Вариант 9
$N = 42; N_c = 10.$ $t_{ic} = \{46; 68; 74; 70; 86; 49; 53; 58; 63; 78\}.$ $t_{io} = \{109; 101; 112; 93; 80; 93; 87; 84; 93; 96; 83; 87; 89; 79; 86; 114; 117; 112;$ $91; 98; 79; 86; 98; 86; 85; 94; 83; 77; 95; 93; 76; 111\}$
Вариант 10
$N = 44; N_c = 12.$ $t_{ic} = \{46; 68; 74; 70; 86; 49; 53; 58; 63; 78; 63; 78\}.$ $t_{io} = \{101; 103; 112; 96; 87; 93; 97; 84; 83; 96; 89; 97; 99; 79; 106; 114; 121;$ $114; 109; 98; 89; 86; 98; 76; 75; 64; 73; 77; 95; 93; 115; 113\}$
Вариант 11
$N = 36; N_c = 6.$ $t_{ic} = \{27; 32; 34; 41; 36; 47\}.$ $t_{io} = \{29; 31; 52; 53; 60; 65; 67; 44; 33; 36; 63; 67; 71; 49; 53; 37; 40; 51; 58; 49;$ $66; 68; 76; 75; 64; 53; 57; 45; 43; 36\}$
Вариант 12
$N = 46; N_c = 6.$ $t_{ic} = \{67; 52; 64; 31; 46; 57\}.$ $t_{io} = \{120; 121; 102; 93; 90; 85; 87; 94; 103; 76; 73; 107; 97; 105; 127; 123; 117;$ $98; 79; 84; 98; 86; 95; 84; 73; 117; 75; 113; 126; 129; 120; 99; 86; 82; 98; 98; 91;$ $82; 98; 109\}$

Вариант 13
$N = 48; N_c = 6.$ $t_{ic} = \{47; 52; 64; 61; 46; 55\}.$ $t_{io} = \{62; 56; 72; 53; 60; 75; 77; 94; 83; 86; 53; 77; 87; 95; 107; 103; 87; 98; 79;$ $84; 88; 86; 95; 84; 93; 51; 55; 73; 106; 109; 66; 69; 86; 82; 98; 92; 90; 82; 93;$ $102; 87; 104\}$
Вариант 14
$N = 40; N_c = 8.$ $t_{ic} = \{36; 40; 44; 50; 46; 49; 63; 38\}.$ $t_{io} = \{51; 53; 52; 63; 60; 55; 67; 64; 73; 66; 71; 70; 72; 59; 58; 74; 54; 61; 71; 68;$ $77; 76; 78; 66; 65; 64; 73; 69; 75; 83; 76; 80\}$
Вариант 15
$N = 40; N_c = 10.$ $t_{ic} = \{35; 37; 44; 43; 46; 49; 43; 48; 41; 51\}.$ $t_{io} = \{38; 41; 42; 49; 51; 48; 57; 54; 62; 66; 71; 70; 73; 69; 78; 67; 60; 71; 68; 59;$ $66; 58; 76; 79; 80; 81; 68; 66; 63; 82\}$

Примечание:

N – объем выборки испытаний;

N_c – количество автомобилей, снятых с испытаний;

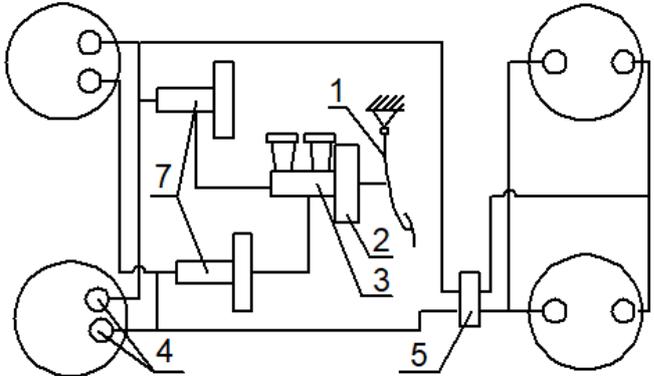
t_{ic} – наработки до отказа снятых с испытаний автомобилей, тыс. км;

t_{io} – наработка до отказа оставшихся в выборке автомобилей, тыс. км.

Работа № 10**Резервирование элементов и систем транспортных машин**Варианты заданий с резервированием тормозных систем
автомобиля

Схема	Вариант		
	1	2	3
	$P_i = 0,99$	$P_i = 0,98$	$P_i = 0,95$

Схема	Вариант		
	4	5	6
	$P_i = 0,99$	$P_i = 0,98$	$P_i = 0,95$
	$P_i = 0,99$	$P_i = 0,98$	$P_i = 0,95$
	$P_i = 0,99$	$P_i = 0,98$	$P_i = 0,95$

Схема	Вариант		
	13	14	15
	$P_i = 0,99$	$P_i = 0,98$	$P_i = 0,95$

Работа № 11

Диагностические параметры и обоснование их нормативных значений

Результаты измерений диагностических параметров, оценивающих техническое состояние объектов

Вариант 1. Время срабатывания тормозной системы, с							
Границы интервалов	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Опытные частоты m_i	2	32	42	47	44	20	13
Вариант 2. Тормозной путь, м							
Границы интервалов	10,0 – 11,5	11,5 – 13,0	13,0 – 14,5	14,5 – 16,0	16,0 – 17,5	17,5 – 19,0	19,0 – 20,5
Опытные частоты m_i	10	22	38	48	40	25	17
Вариант 3. Установившееся замедление, м/с ²							
Границы интервалов	2,5 – 3,5	3,5 – 4,5	4,5 – 5,5	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	7,5 – 8,5	8,5 – 9,5
Опытные частоты m_i	4	20	36	66	54	12	8
Вариант 4. Общая удельная тормозная сила							
Границы интервалов	0,35 – 0,41	0,41 – 0,47	0,47 – 0,53	0,53 – 0,59	0,59 – 0,65	0,66 – 0,72	0,72 – 0,78
Опытные частоты m_i	4	19	25	53	59	34	6

Вариант 5. Коэффициент неравномерности тормозных сил колес оси							
Границы интервалов	0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,15	0,15 – 0,20	0,20 – 0,25	0,25 – 0,30	0,30 – 0,35
Опытные частоты m_i	49	67	38	24	9	8	5
Вариант 6. Люфт в рулевом механизме, град							
Границы интервалов	1,64 – 1,75	1,75 – 1,86	1,86 – 1,97	1,97 – 2,08	2,08 – 2,19	2,19 – 2,30	2,30 – 2,41
Опытные частоты m_i	12	17	18	49	44	37	23
Вариант 7. Суммарный люфт в рулевом управлении легкового автомобиля, град							
Границы интервалов	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14
Опытные частоты m_i	10	14	32	70	45	20	9
Вариант 8. Расход картерных газов, л/мин							
Границы интервалов	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	60 – 70
Опытные частоты m_i	15	26	40	45	36	28	10
Вариант 9. Давление в конце такта сжатия, МПа							
Границы интервалов	0,69 – 0,76	0,76 – 0,83	0,83 – 0,90	0,90 – 0,97	0,97 – 1,04	1,04 – 1,11	1,11 – 1,18
Опытные частоты m_i	3	21	32	46	58	22	19
Вариант 10. Содержание СО в отработавших газах на минимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя, %							
Границы интервалов	1,5 – 2,0	2,0 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,5	3,5 – 4,0	4,0 – 4,5	4,5 – 5,0
Опытные частоты m_i	8	16	36	58	50	18	14
Вариант 11. Минимально устойчивая частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹							
Границы интервалов	350 – 400	400 – 450	450 – 500	500 – 550	550 – 600	600 – 650	650 – 700
Опытные частоты m_i	6	18	34	64	60	12	6
Вариант 12. Схождение передних колес, мин							
Границы интервалов	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14
Опытные частоты m_i	14	27	37	46	35	27	14
Вариант 13. Свободный ход педали тормоза, мм							
Границы интервалов	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9
Опытные частоты m_i	12	35	57	46	27	17	6

Окончание

Вариант 14. Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ, кг/см ² в течение не менее 5 с							
Границы интервалов	0,80 – 0,99	0,99 – 1,18	1,18 – 1,37	1,37 – 1,56	1,56 – 1,75	1,75 – 1,94	1,94 – 2,13
Опытные частоты m_i	15	32	51	68	17	10	7
Вариант 15. Сила света фар ближнего света (тип фары С, СR), кд							
Границы интервалов	300 – 400	400 – 500	500 – 600	600 – 700	700 – 800	800 – 900	900 – 1000
Опытные частоты m_i	6	20	41	53	64	14	2

Работа № 12

Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов и систем автотранспортных средств

Значения диагностических параметров, оценивающих
техническое состояние цилиндропоршневой группы двигателя

Вариант	Давление в конце такта сжатия, кгс/см ²	Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ, кг/см ² в течение не менее 5 с	Расход картерных газов при 4000 мин ⁻¹ , л/мин, не более
1	11,56	1,48	31
2	11,02	1,24	38
3	10,00	1,21	42
4	10,61	1,18	40
5	11,72	1,46	29
6	9,86	0,98	56
7	11,45	1,23	33
8	9,56	0,86	57
9	10,80	1,04	41
10	11,64	1,46	29
11	9,78	1,00	55
12	10,08	0,99	48
13	11,92	1,42	24
14	11,00	1,21	32
15	10,66	1,05	44

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Ф. Н. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1985. – 216 с.
2. Аринин, И. Н. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. пособие для вузов / И. Н. Аринин, С. И. Коновалов, Ю. В. Баженов. – (Серия «Высшее профессиональное образование»). – Ростов н/Д. : Феникс, 2004. – 320 с. – ISBN 5-222-05-101-3.
3. Баженов, Ю. В. Основы теории надежности машин : учеб. пособие / Ю. В. Баженов. – М. : ФОРУМ, 2019. – 320 с. – ISBN 978-5-91134-883-0.
4. Баженов, Ю. В. Основы надежности и работоспособности технических систем : учеб. пособие / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2017. – 267 с. – ISBN 978-5-9984-0785-7.
5. Болдин, А. П. Надежность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта : учеб. пособие / А. П. Болдин, В. И. Сарбаев. – М. : МАИИ, 2010. – 206 с.
6. Бояршинов, А. Л. Надежность и техническая диагностика автотранспортных средств : учеб. пособие / А. Л. Бояршинов, В. А. Стуканов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2013. – 239 с. – ISBN 978-5-91134-789-5.
7. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – 3-е изд., стер. – М. : URSS, 2019. – 584 с. – ISBN 978-5-397-06577-1.
8. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике : учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Гмурман. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1979. – 400 с.

9. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 27.002-89 ; введ. 2017-03-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 22 с.

10. ГОСТ 27578-87. Диагностирование изделий. Общие требования. – Взамен ГОСТ 23564-79 ; введ. 1989-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.

11. Гурвич, И. Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И. Б. Гурвич, П. Э. Сыркин. – М. : Транспорт, 1984. – 141 с.

12. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / В. А. Зорин. – М. : Академия, 2009. – 208 с. – ISBN 978-5-7695-6003-3.

13. Зубарев, Ю. М. Основы надежности машин и сложных систем : учебник / Ю. М. Зубарев. – СПб. : Лань, 2017. – 180 с. – ISBN 978-5-8114-2328-6.

14. Кубарев, А. И. Надежность в машиностроении / А. И. Кубарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.

15. Кугель, Р. В. Испытания на надежность машин и их элементов / Р. В. Кугель. – М. : Машиностроение, 1982. – 181 с.

16. Кузьмин, Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности : учеб. пособие для студентов вузов / Н. А. Кузьмин. – М. : ФОРУМ, 2011. – 208 с. – ISBN 978-5-91134-534-1.

17. Лисунов, Е. А. Практикум по надежности технических систем: учеб. пособие для студентов вузов / Е. А. Лисунов. – СПб. : Лань, 2015. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-1756-8.

18. Малкин, В. С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты : учеб. пособие для студентов вузов / В. С. Малкин. – М. : Академия, 2007. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-3191-0.

19. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным : РД 50-690-89. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 132 с.

20. Мирошников, Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал. – М. : Транспорт, 1977. – 263 с.
21. Надежность в машиностроении : справочник / под общ. ред. В. В. Шашкина и Г. П. Карзова. – СПб. : Политехника, 1992. – 719 с.
22. Николаев, Н. Н. Основы теории надежности и диагностика : учеб. пособие для студентов вузов / Н. Н. Николаев. – зерноград : Изд-во ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 148 с. – ISBN 978-5-91833-002-9.
23. Озорнин, С. П. Основы работоспособности технических систем : учеб. пособие / С. П. Озорнин. – Чита : Изд-во ЗабГУ, 2012. – 132 с. – ISBN 978-5-9293-0827-7.
24. Основы научных исследований : учеб. пособие / Б. И. Герасимов [и др.]. – М. : ФОРУМ, 2013. – 272 с. – ISBN 978-5-91134-340-8.
25. Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 532 с.
26. Сапожников, В. В. Основы теории надежности и технической диагностики : учебник / В. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб. : Лань, 2019. – 588 с. – ISBN 978-5-8114-3453-4.
27. Сопротивление материалов : учеб. для студентов вузов / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – М. : Академия, 2012. – 416 с. – ISBN 978-5-7695-7135-0.
28. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. для студентов вузов / Е. С. Кузнецов [и др.]. – М. : Наука, 2004. – 270 с. – 534 с. – ISBN 5-02-006307-X.
29. Щурин, К. В. Надежность машин : учеб. пособие / К. В. Щурин. – СПб. : Лань, 2019. – 592 с. – ISBN 978-5-8114-3748-1.
30. Яхьяев, Н. Я. Основы теории надежности и диагностика : учеб. для студентов вузов / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. – М. : Академия, 2009. – 256 с. – ISBN 978-5-7695-5734-7.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
<i>Работа № 1.</i> НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ.....	4
<i>Работа № 2.</i> СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	10
<i>Работа № 3.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.....	16
<i>Работа № 4.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	21
<i>Работа № 5.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	26
<i>Работа № 6.</i> ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ВЫБРАННОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ (<i>на примере нормального закона</i>).....	33
<i>Работа № 7.</i> ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОМУ ЗАКОНУ	40
<i>Работа № 8.</i> ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ ВЕЙБУЛЛА.....	47

<i>Работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ</i>	55
<i>Работа № 10. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН</i>	61
<i>Работа № 11. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ</i>	70
<i>Работа № 12. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ</i>	79
КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ	87
ТЕСТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
ПРИЛОЖЕНИЕ	103
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	123

Учебное издание

БАЖЕНОВ Юрий Васильевич
БАЖЕНОВ Михаил Юрьевич
КАЛЕНОВ Владимир Павлович

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Практикум

Редактор Е. А. Платонова
Технический редактор Ш. В. Абдуллаев
Корректор О. В. Балашова
Компьютерная верстка Е. А. Герасиной
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 24.12.21.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 7,44. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.