

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

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Методические указания к лабораторным работам

Составитель
Ю.В. Баженов Ю.В.

Владимир 2015

УДК 629.113.004.58 (07)

ББК 39.3

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
Зав. кафедрой «Мехатроника и электронные системы автомобиля»
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А.А. Кобзев

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Методы обеспечения надежности автотранспортных средств в эксплуатации над:
Метод. указания к лаб. работам / Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых;
сост. Ю.В. Баженов. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2016. – 70 с.

Представлены лабораторные работы, каждая из которых содержит общие сведения, практическую часть, порядок выполнения работы, варианты заданий, содержание отчета по работе, контрольные вопросы.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения.

Ил. 18 . Табл. 14 . Библиогр.: 16 назв.

УДК 629.113.004.58 (07)

ББК 39.3

ВВЕДЕНИЕ

Современные научные исследования в области технической эксплуатации АТС направлены прежде всего на разработку методов и средств обеспечения необходимого уровня их надежности при выполнении транспортной работы с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов. Важным элементом в этих исследованиях является изучение закономерностей изменения показателей качества машин, которые непосредственно связаны с их техническим состоянием. Дисциплина «Методы обеспечения надежности автотранспортных средств в эксплуатации» является одной из базовых дисциплин при обучении магистров по программе подготовки - 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Имея ключевые знания в области надежности и работоспособности автотранспортных средств, магистрант существенно повысит свою квалификацию и компетенции в области развития автотранспортного комплекса страны, более качественно определять перспективные направления деятельности предприятий и организаций автомобильного транспорта, формировать и реализовывать научные направления в сфере эксплуатации АТС.

Дисциплина «Методы обеспечения надежности автотранспортных средств в условиях эксплуатации» изучается в контексте современного состояния науки о надежности. Поэтому преподавание указанной дисциплины включает использование всего многообразия форм получения информации и базируется на таких отраслях знаний, как теория вероятностей и математическая статистика, физико-химические процессы разрушения и изменения свойств материалов, из которых изготовлены машины, химические процессы (коррозия) и др.

Работа № 1

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ЕЕ ОЦЕНКИ

Цель работы – изучить:

- термины и определения в теории надежности;
- показатели для оценки надежности.

Общие сведения

Важнейшим свойством любой машины, позволяющим количественно оценить изменение показателей качества во времени, является надёжность. Под *надёжностью автомобиля*, например, принято понимать его свойство выполнять транспортную работу, сохраняя во времени или по пробегу эксплуатационные показатели в требуемых пределах.

Надёжность является сложным (комплексным) свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения характеризуется сочетанием более простых свойств: *безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью*. Важнейшими из них являются долговечность и безотказность.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Таким образом, долговечность анализирует работу объекта в течение всего периода эксплуатации.

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

ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АТС

Для оценки долговечности машин используются следующие основные показатели:

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

Под **ресурсом** понимается суммарная наработка изделия от начала эксплуатации (или ее возобновления после капитального ремонта) до предельного состояния, оговоренного технической документацией.

Срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации изделия от ее начала (или возобновление после КР) до наступления предельного состояния.

По результатам статистической обработки данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации, средний ресурс определяется по формуле

$$\bar{T}_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i, \quad (1)$$

где N – число изделий, находящихся под наблюдением; T_i – наработка i -го изделия до КР или списания.

Гамма-процентный ресурс – это наработка, в течение которой изделие не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах. Гамма-процентный ресурс легко определяется, если известны кривая вероятности безотказной работы $P(t)$ или плотность распределения наработок до отказа $f(t)$ (рис. 1).

Для этого через точку $P(t) = \gamma$ (рис 1, а) на оси ординат следует провести горизонталь до пересечения с кривой вероятности безотказной работы. Абсцисса точки пересечения и будет γ - процентным ресурсом. Например, для $\gamma = 90\%$ соответствует наработка $t_\gamma = 90\%$, которая и является γ - процентным ресурсом для данного изделия.

Для партии изделий γ - процентный ресурс представляет собой наработку, которую имеют или превышают обусловленный процент изделий γ (рис. 1, б). Вертикальная линия с абсциссой, равной γ - 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.

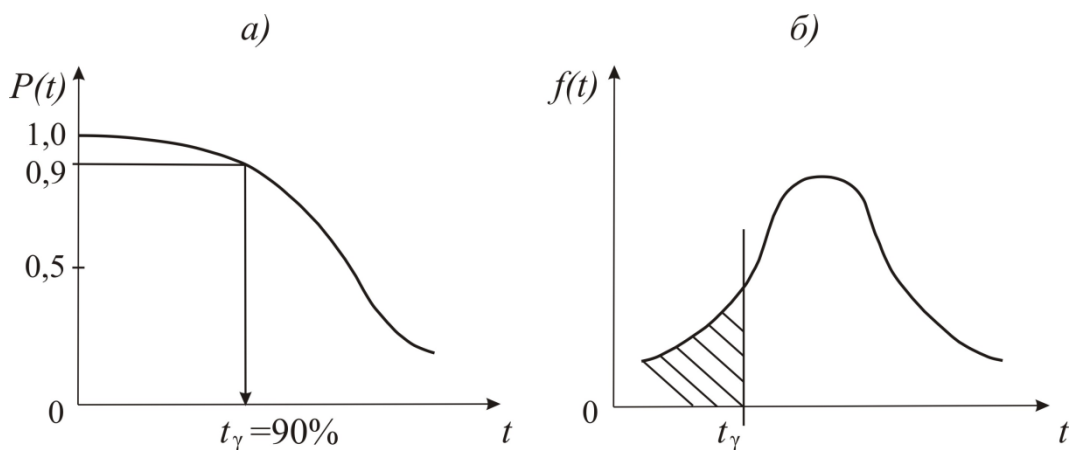


Рис. 1. Схема определения γ – процентного ресурса

При известной функции распределения ресурса γ - процентный ресурс находится из выражения

$$1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{\gamma} f(t) dt = \frac{\gamma}{100} \quad (2)$$

ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ АТС

Для количественной оценки безотказности используют следующие показатели:

- вероятность безотказной работы;
- среднюю наработку на отказ;
- среднюю наработку до отказа;
- интенсивность отказов;
- параметр потока 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.

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 :

$$\bar{P}(t) = \frac{N - \sum_{j=1}^k m_j}{N}, \quad (3)$$

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.

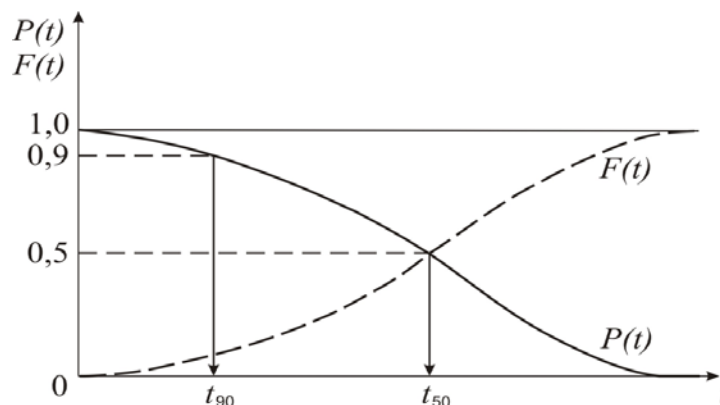


Рис.2. Изменение вероятности безотказной работы $P(t)$ и отказа $F(t)$ по наработке

Средняя наработка на отказ – это среднее значение наработки *восстанавливаемого* изделия между отказами. Статистическая оценка этого по-

казателя определяется отношением суммарной наработки изделия к числу отказов в течение этой наработки

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{T}{n}, \quad (4)$$

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 r интервалов Δt и число отказов внутри каждого интервала равно m_j , то

$$\bar{t} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_r t_r}{m_1 + m_2 + \dots + m_r} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r m_j t_j, \quad (5)$$

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

Средняя наработка до отказа – это среднее значение наработки *невосстанавливаемого* объекта до первого отказа. Статистическая оценка этого показателя определяется отношением суммы наработок испытуемых изделий до первого отказа к их количеству

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j, \quad (6)$$

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

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

Статистическая оценка этого показателя по результатам экспериментальных исследований находится по формуле:

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t}, \quad (7)$$

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

Из этого выражения следует, что интенсивность отказов $\lambda(t)$ представляет собой количество отказов, приходящихся на одно работоспособное изделие $N(t)$ за единицу наработки Δt .

Параметр потока отказов представляет собой отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M\{m(t + \Delta t) - m(t)\}}{\Delta t}, \quad (8)$$

где Δt – малый интервал наработки; $m(t)$ – число отказов, наступивших до достижения наработки t ; $m(t + \Delta t) - m(t)$ – число отказов на интервале Δt .

Статистическую оценку для параметра потока отказов $\bar{\omega}(t)$ определяют по формуле

$$\bar{\omega} = \frac{m(t_2) - m(t_1)}{t_2 - t_1} . \quad (9)$$

По сравнению с формулой (7) здесь рассматривается число отказов за конечный отрезок времени (t_1, t_2) , при $t_1 \leq t \leq t_2$.

Выполнение работы

После изучения указаний студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегатов, узлов и систем автомобиля и выполняет расчеты показателей долговечности и безотказности.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 4 часа.

Задание 1. По выданному преподавателем вариационному ряду рассчитать показатели долговечности .

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за долговечностью двигателей установлены значения их ресурсов в тыс. км (табл.1)

Таблица 1. Значения ресурсов двигателей

156	194	202	182	226	197	174	191	204	186	198	212
222	184	196	245	203	209	214	219	188	176	203	208
231	174	213	200	192	209	231	234	192	196	223	234
179	203	234	187	217	228	218	181	198	192		

По данным табл. 1 находим:

- размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 245 - 156 = 89$ тыс.км.
- число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg N = 1 + 3,32 \lg 46 \approx 9$.
- ширину интервала $h = R/k = 89/9 \approx 10$ тыс.км.

Определяем границы интервалов, их средние значения и частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок двигателя до предельного состояния. Полученные результаты сведем в табл. 2.

Таблица 2. Параметры интервалов

Параметр	Интервал наработки								
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й
Границы интервалов, тыс. км	155-165	165-175	175-185	185-195	195-205	205-215	215-225	225-235	235-245
Середины интервалов \bar{t}_i , тыс. км	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Опытные частоты \bar{m}_i	1	2	5	8	11	9	6	3	1

Определяем показатели долговечности:

- средний ресурс $t_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i m_i = 201,304$ тыс. км;

- среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (t_i - \bar{t})^2 m_i}{n-1}} = 34,421 \text{ тыс. км};$$

- коэффициент вариации $\nu = \frac{\sigma(t)}{t_{\text{ср}}} = 0,17$

Строим гистограмму распределения ресурса, аппроксимирующую ее плотность вероятности (рис. 3) и интегральную функцию распределения ресурса по наработке (рис. 4).

Для определения гамма-процентного ресурса задают значение $\gamma = 0,8$ (80 %) или $\gamma = 0,9$ (90 %) и с использованием графика распределения ресурса находят его значение. Например, гамма-процентному ресурсу $\gamma = 0,8$ (80 %) соответствует ресурс $t_\gamma \approx 183$ тыс. км.

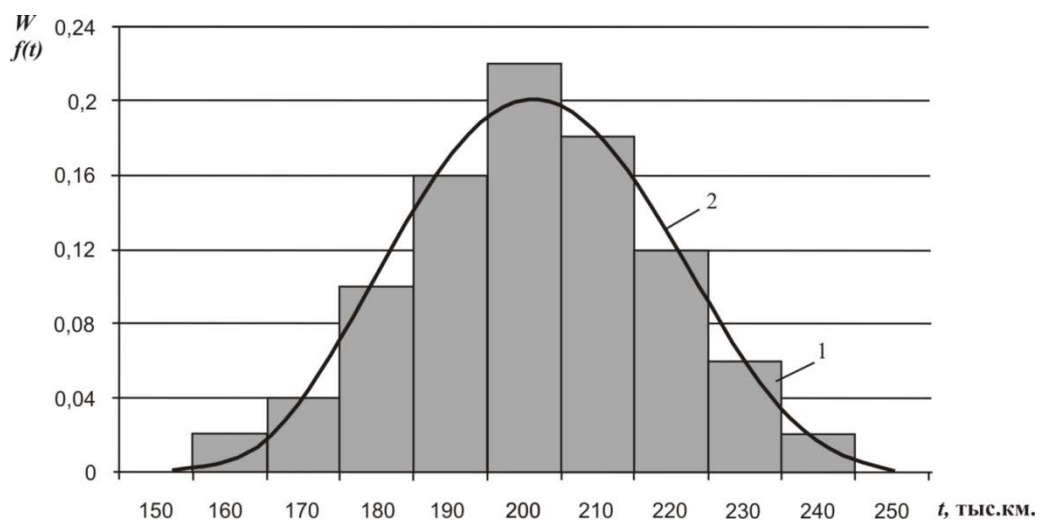


Рис. 3. Гистограмма 1 и дифференциальная функция распределения 2 ресурса двигателей

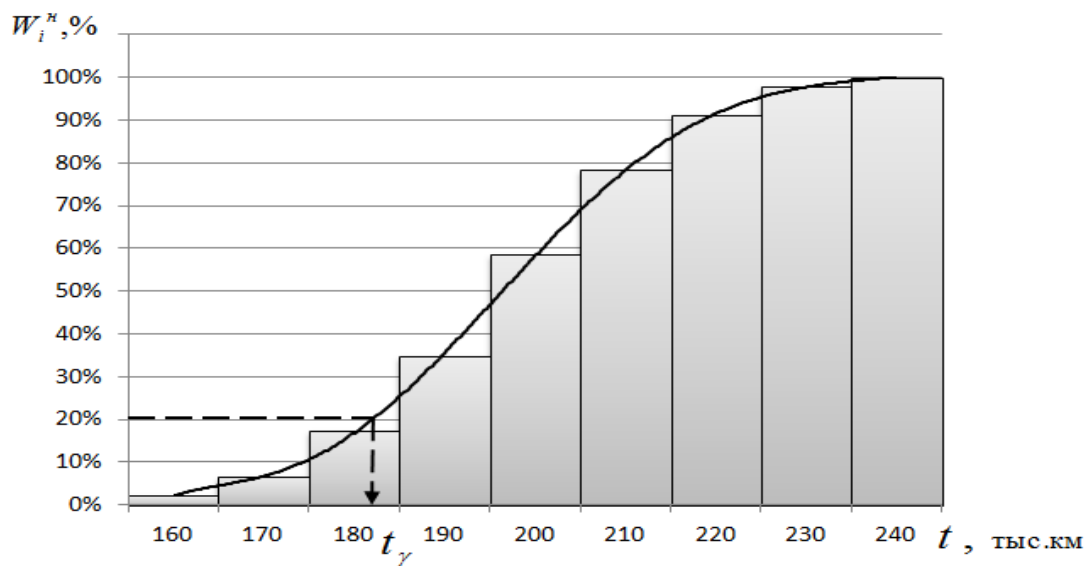


Рис. 4. Интегральная функция распределения ресурса двигателей по наработке

Задание 2. По выданному преподавателем вариационному ряду наработок до отказа рассчитать показатели безотказности

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за долговечностью свечей зажигания установлены их наработки до отказа в тыс. км (табл.3)

Таблица 3. 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

По данным табл. 3 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.

Определяем границы интервалов, их средние значения и частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок. Полученные результаты сведем в табл. 4.

Таблица 4. Параметры интервалов наработок свечей зажигания

Параметр	Интервал наработки						
	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
Средины интервалов \bar{t}_i , тыс. км	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	37,5
Опытные частоты \bar{m}_i	1	6	9	10	5	3	2

Определяем показатели безотказности свечей зажигания

- средняя наработка до отказа:

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i \bar{m}_i = 27,9 \text{ тыс.км}$$

- статистические оценки вероятности безотказной работы по интервалам наработки Δt :

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

- интенсивность отказов на интервалах наработки:

$$\bar{\lambda}(t_1) = \frac{36-35}{36 \times 3000} = 0,0011 \quad \bar{\lambda}(t_2) = \frac{36-35}{36 \times 3000} = 0,0011 \quad \bar{\lambda}(t_3) = \frac{29-9}{29 \times 3000} = 0,0022$$

Для остальных интервалов оценки статистических вероятностей безотказной работы и интенсивности отказов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты расчетов $P(t_i)$ и $\lambda(t_i)$ по интервалам наработки

Функция	Интервал наработки						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$P(t_i)$	0,97	0,81	0,56	0,28	0,14	0,06	0,00
$F(t_i)$	0,03	0,19	0,44	0,72	0,86	0,94	1,00
$\lambda(t_i) \times 10^{-3}$	0,001	0,065	0,15	0,24	0,28	0,31	0,33

По результатам выполненных расчетов строится гистограмма распределения опытных частот \bar{m}_i , а также графики функций распределения $P(t_i)$, $F(t_i)$ и $\lambda(t_i)$ по интервалам наработки.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- основные показатели для оценки надежности машин;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей безотказности;
- гистограмму, дифференциальную и интегральную функции распределения ресурса;
- гистограммы распределения наработок на отказ, графики распределения вероятностей безотказной работы $P(t_i)$, отказов $F(t_i)$ и интенсивности отказов $\lambda(t_i)$;
- заключение и выводы по надежности исследуемого изделия.

Контрольные вопросы

1. Раскройте сущность понятий качества, надежности и работоспособности машин.
2. Какими свойствами характеризуется надежность изделий?
3. Что понимается под долговечностью машин? Какими показателями оценивается это свойство надежности?
4. Что понимается под безотказностью машин и какими показателями оценивается это свойство надежности?

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Цель работы – изучить:

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

Общие сведения

Для оценки случайной однородной величины используются два вида характеристик: полные и числовые. Основными числовыми характеристиками случайной величины являются: среднее арифметическое (выборочное среднее), среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Среднее арифметическое случайной величины характеризует центр группирования всей совокупности ее значений:

$$\bar{X} = (X_1 m_1 + X_2 m_2 + \dots + X_k m_k) / n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k X_i m_i, \quad (1)$$

где X_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 $\sigma(x)$, характеризующее меру рассеивания значений X вокруг центра группирования \bar{X} , определяется по формуле

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2 m_i}{n - 1}}. \quad (2)$$

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

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

Чем меньше значение коэффициента вариации, тем плотнее группируются результаты испытаний вокруг среднего значения \bar{X} , тем, следовательно, меньше их рассеивание.

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

чайной величины. Для автотранспортной техники в качестве случайной величины чаще всего используют значение наработки t (до 1-го отказа, между отказами, до предельного состояния и т.д.). Поэтому при обработке информации о надежности по результатам испытаний вместо абстрактной случайной величины X используется наработка t .

Графическая интерпретация интегральной $F(t)$ и дифференциальной $f(t)$ функций распределения случайной величины наработки представлена на рис. 1.

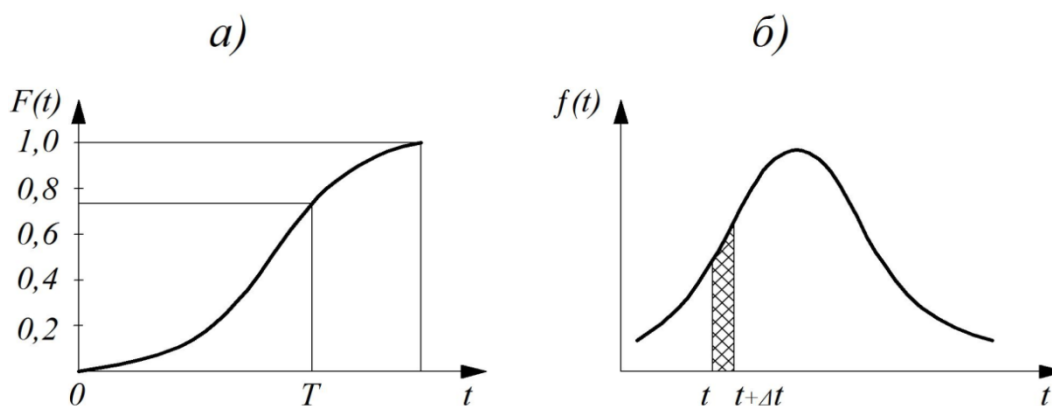


Рис.1. Графическая интерпретация интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения случайной величины

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

Порядок обработки экспериментальных данных

В первичной документации, где фиксируются результаты испытаний на надежность, содержатся данные, в которых трудно усмотреть какой-либо порядок и закономерности. Обработку этих данных начинают с составления таблицы, в которой их располагают в порядке увеличения полученных при испытаниях значений. Дальнейшую обработку статистической информации проводят в следующей последовательности.

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

$$R = t_{\max} - t_{\min}. \quad (4)$$

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

$$k = 1 + 3,32 \lg N, \quad (5)$$

где N – объем выборки испытаний.

Находится ширина интервала вариационного ряда h

$$h = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k} = \frac{R}{k}. \quad (6)$$

Определяются границы интервалов, для чего вначале устанавливается нулевое (крайнее) значение интервала t_0

$$t_0 = t_{\min} - h/2. \quad (7)$$

Следующие границы интервалов рассчитываются 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 определяется его середина

$$\bar{t}_i = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}. \quad (8)$$

Находятся опытные частоты \bar{m} , представляющие собой число попаданий опытных данных в каждый i -й интервал наработки.

В случае, когда отдельные результаты в выборке существенно отличаются по своей величине от остальных, что чаще всего объясняется ошибками испытаний, целесообразно проверить их на аномальность по какому-либо критерию. Из существующих методов проверки чаще всего используют критерий трех средних квадратических отклонений (критерий 3σ). В соответствии с ним результат испытаний, возникающий с вероятностью $P \leq 0,003$, относится к аномальному и его можно квалифицировать промахом. То есть сомнительный результат должен быть исключен из дальнейшего анализа, если его значение выходит за границы допустимой области рассеивания $\bar{t} \pm 3\sigma(t)$.

Исключив аномальные результаты (если они имеются), по формулам 1, 2 и 3 определяют числовые характеристики статистического ряда: среднее арифметическое $\bar{t}_{\text{ср}}$, среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v .

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

$$w_i = \frac{\bar{m}_i}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (9)$$

Найденные значения опытных частостей w_i представляются графически в виде гистограммы. По оси абсцисс гистограммы откладываются интервалы наработок и на их основании строят прямоугольники, высоты которых соответствуют частостям w_i .

Выполнение работы

После изучения указаний студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегатов, узлов или систем автомобиля и выполняет расчеты показателей надежности.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 4 часа.

Задание. По заданному вариационному ряду рассчитать показатели надежности.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за надежностью шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ-5256 были получены их наработки до отказа в тыс. км. (табл. 1)

Таблица 1. Значения наработок шаровых пальцев до отказа, тыс. км

<p>14,9; 19,2; 21,2; 16,1; 22,9; 20,1; 22,4; 14,3; 12,8; 21,4; 18,8; 19,4; 19,6; 24,8; 19,9; 21,4; 21,6; 22,6; 20,0; 11,7; 20,7; 19,9; 24,1; 19,6; 17,0; 17,2; 21,0; 22,9; 20,3; 16,8; 16,6; 15,4; 21,7; 26,4; 26,6; 29,9; 15,0; 17,1; 17,8; 22,1; 21,1; 19,8; 15,6; 19,5; 23,9; 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; 27,6; 23,1; 17,3; 22,5; 24,6; 14,1; 30,6; 20,7; 21,0; 22,2; 19,9; 25,4; 16,8; 21,5</p>
--

1. Находим параметры статистического ряда распределения:

– размах выборки $R = t_{\max} - t_{\min} = 30,6 - 11,4 = 19,2$ тыс.км.

– число интервалов $k = 1 + 3,32 \lg N = 1 + 3,32 \lg 80 \approx 7$.

– ширину интервала $h = R/k = 19,2/7 \approx 3,0$ тыс.км.

Определяем границы интервалов, их средние значения и частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок. Полученные результаты сведем в табл. 2.

Таблица 2. Параметры интервалов наработок шаровых пальцев рулевого управления автобусов

Параметр	Интервал наработки						
	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	21,5	23,5	26,5	29,5
Опытные частоты \bar{m}_i	3	8	15	29	17	6	2

2. Определяем числовые характеристики выборки:

$$\bar{t}_{\text{ср}} = 20,3 \text{ тыс. км}; \quad \sigma(t) = 3,9 \text{ тыс. км}; \quad v = 0,19$$

3. Строим гистограмму распределения частоты отказов шаровых пальцев по наработке t (рис. 2).

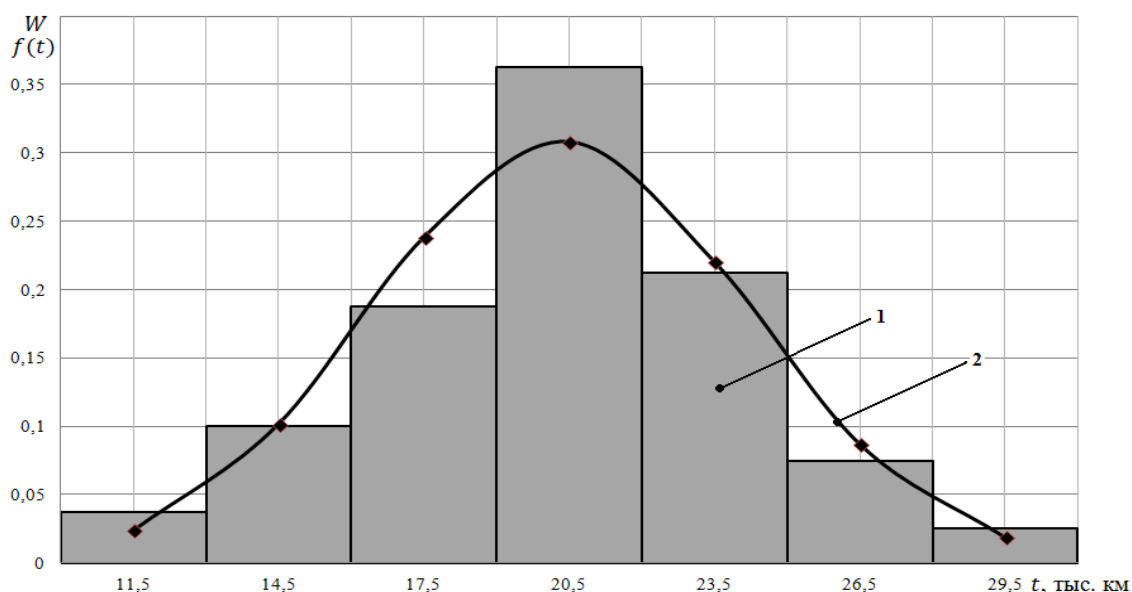


Рис. 2. Гистограмма 1 и теоретическая кривая распределения наработок до отказа шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ – 5256

При обработке статистических данных возникает задача подбора теоретической кривой распределения к полученной гистограмме.

Сглаживание полученного статистического ряда теоретической кривой в настоящее время не требуют 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 $f(t)$.

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* – $v = 0,8 \dots 1,2$.

В приведенном примере вид полученной гистограммы и значение коэффициента вариации $v = 0,19$ позволяет предположить, что теоретическая кривая распределения наработок до отказа шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ – 5256 (кривая 2) подчиняется нормальному закону.

Результаты расчетов вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$ на наработках, соответствующих серединам интервалов сведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения функций распределения отказов шаровых пальцев рулевого управления автобусов

Функция	Интервал
---------	----------

	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
$P(t_i)$	0,98	0,93	0,76	0,485	0,21	0,06	0,01
$F(t_i)$	0,02	0,07	0,24	0,515	0,79	0,94	0,99

По найденным значениям $P(t)$ и $F(t)$ строим соответствующие графики этих функций (рис. 3).

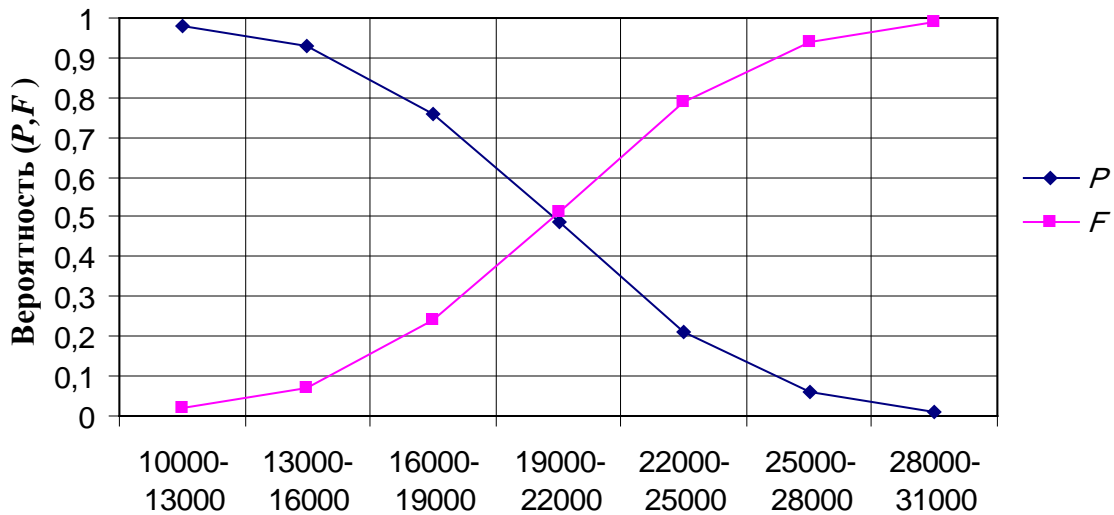


Рис. 3. Графики функций вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$ шаровых пальцев рулевого управления автобусов

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- числовые характеристики случайных величин;
- исходные данные индивидуального задания;
- порядок обработки статистической информации;
- гистограмму и теоретическую кривую наработок до отказа;
- графики функций вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$

Контрольные вопросы

1. Приведите основные числовые характеристики, оценивающие надежность машин.
2. Что понимается под законом распределения случайной величины наработки до отказа?

3. Приведите порядок обработки экспериментальных данных.
4. Как определяются опытные частоты, отражающие вероятности попадания случайной величины в заданные интервалы наработок?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Цель работы – изучить:

- особенности построения статистического ряда результатов незавершенных испытаний по интервалам наработки;
- построение гистограмм и теоретических кривых распределения наработок до отказа.

Общие сведения

При испытаниях на надёжность нередко возникают ситуации, когда к моменту анализа информации не все изделия доведены до предельного состояния. Часть изделий в партии обследования остаётся работоспособной и естественно, содержит в себе определённую информацию о реальных показателях надёжности. В этом случае мы имеем дело с незавершёнными испытаниями, причинами которых могут быть: неодновременность начала испытаний, большая длительность их проведения, снятие части изделий с испытаний из-за возникновения отказов других элементов, чем изучаемые, аварии и другие причины.

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

При незавершённых испытаниях обработка информации о надёжности осуществляется на основе *прогнозирования отказов* с учётом наработок оставшихся работоспособных элементов к моменту приостановки испытаний. Обработка результатов испытаний в этом случае отличается от обработки результатов завершённых испытаний особенностями построения статистического ряда распределения. Эти особенности заключаются в следующем.

Так же, как и при завершённых испытаниях определяются число интервалов наработки и их границы. Составляется таблица распределения наработок отказавших и не отказавших из-за приостановки испытаний изде-

лий по интервалам группировки. Вероятность отказа к концу интервала с учётом не отказавших изделий определяется по формуле

$$F(t) = \frac{m_i}{N+1}, \quad (1)$$

где N – общее количество изделий в выборке; m_i – прогнозируемое количество отказов к концу i -го интервала с учётом не отказавших из-за приостановки испытаний изделий, которое определяется по формуле:

$$m_i = m_{(i-1)} + k_i n_i, \quad (2)$$

где $m_{(i-1)}$ – прогнозируемое число отказов в интервале $(i - 1)$; n_i – количество отказавших изделий в i -м интервале; $k_i \cdot n_i$ – прогнозируемое количество отказов в i -м интервале; k_i – коэффициент приращения количества отказов в i -м интервале наработки, который определяется по формуле:

$$k_i = \frac{N+1 - m_{(i-1)}}{N+1 - \sum g_i - \sum n_{(i-1)}}, \quad (3)$$

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

Для первого интервала

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

Для второго интервала

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

Рассмотрим изложенный метод обработки информации о надежности на конкретном примере.

Выполнение работы

После изучения указаний студент получает *персональные статистические данные* по наработкам до отказа агрегата, узла или системы автомобиля и выполняет необходимые расчеты.

Продолжительность работы 2 ... 4 часа.

Задание. По предложенным преподавателем статистическим данным, полученным по результатам незавершенных испытаний, требуется:

- рассчитать прогнозируемое число отказов по интервалам наработки m_i , вероятности отказа $F(t)$ и безотказной работы $P(t)$
- определить средний ресурс изделия $t_{\text{ср}}$;
- построить графики функций распределения $F(t)$ и $P(t)$.

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 в табл. 1. 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. Требуется определить показатели надёжности тормозных накладок с учётом снятых с испытаний автомобилей.

Таблица 1. 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

Полученные данные испытаний представим в виде упорядоченного статистического ряда (табл. 2). В эту же таблицу сведём результаты расчетов

По формулам (1), (2), (3) рассчитываем значения k_i , m_i , $F(t_i)$ по интервалам наработки.

Для первого интервала

$$k_1 = \frac{40+1}{40+1-0-0} = 1; \quad m_1 = 1 \cdot 1 = 1; \quad F(t_1) = \frac{1}{40+1} = 0,024.$$

Для второго интервала

$$k_2 = \frac{40+1-1}{40+1-1-1} = 1,026; \quad m_2 = 1+1,026 \cdot 4 = 5,104; \quad F(t_2) = \frac{5,104}{41} = 0,124.$$

Для третьего интервала

$$k_3 = \frac{40+1-5,104}{40+1-3-5} = 1,088; \quad m_3 = 1+1,088 \cdot 11 = 17,072; \quad F(t_3) = \frac{17,072}{41} = 0,416.$$

Таким же образом рассчитываем k_i , m_i , $F(t_i)$ для остальных интервалов наработки и результаты сведём в таблицу 2. После того как определено прогнозируемое количество отказов m_i по интервалам наработки, дальнейшая

обработка информации проводится так же, как и при завершённых испытаниях.

Таблица 2. Результаты обработки информации при незавершённых испытаниях

Интервал наработки тыс. км	n_i	Σn_i	g_i	Σg_i	k_i	$k_i \cdot n_i$	m_i	$F(t_i)$	$P(t_i)$
20 – 30	1	1	-	-	1	1	1	0,024	0,976
30 – 40	4	5	1	1	1,026	4,104	5,104	0,124	0,876
40 – 50	11	16	2	3	1,088	11,968	17,072	0,416	0,584
50 – 60	9	25	3	6	1,259	11,331	28,403	0,693	0,307
60 – 70	3	28	3	9	1,799	5,397	33,800	0,824	0,176
70 – 80	2	30	1	10	2,400	4,800	38,600	0,941	0,059

По найденным значениям $F(t)$ и $P(t)$ строим соответствующие графики этих функций (рис. 1).

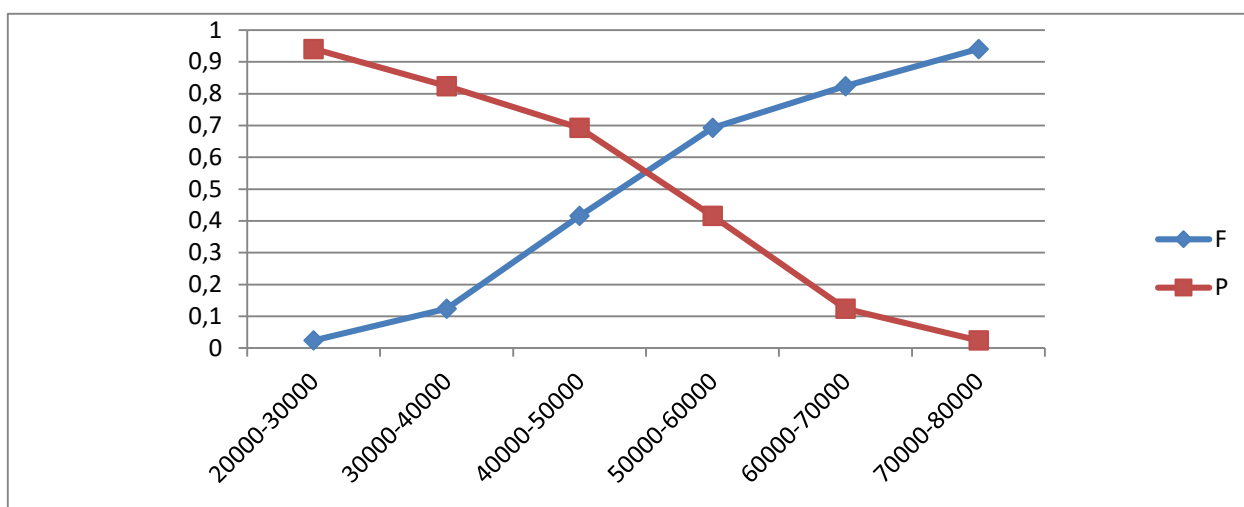


Рис. 1. Графики функций вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$ тормозных накладок автомобиля

Прогнозируемый средний ресурс тормозных накладок с учётом снятых с испытаний автомобилей составит:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i (k_i n_i) = \frac{1}{40} \{ 25 \cdot 1 + 35 \cdot 4,194 + 45 \cdot 11,968 + 55 \cdot 11,331 + 65 \cdot 5,397 + 75 \cdot 4,8 \} = 51,2 \text{ тыс. км.}$$

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 определяется прогнозируемое число отказов по интервалам наработки по результатам незавершенных испытаний?
3. Что понимается под коэффициентом приращения количества отказов в i -м интервале наработки изделия?
3. Определения предельных нормативов диагностических параметров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель работы – изучить:

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

Общие сведения

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

На работу АП и его надежность 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 числа постов ТО и ТР потребностям и т.п.); *организационных* (система снабжения запасными частями и агрегатами, простои 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 является изделием, обладающим 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 среднесписочного автомобиля с достаточной степенью точности характеризует *коэффициент технической готовности* α_T (относительное число работоспособных автомобилей):

$$\alpha_T = \frac{D_{\text{Э}}}{D_{\text{Э}} + D_{\text{Р}}}, \quad (1)$$

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 α_T 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):

$$\alpha_T = \frac{AD_{\text{Э}}}{AD_{\text{И}}} = \frac{AD_{\text{Э}}}{AD_{\text{Э}} + AD_{\text{Р}}}. \quad (2)$$

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):

$$\alpha_{\text{в}} = \frac{AD_{\text{Э}}}{AD_{\text{Э}} + AD_{\text{Р}} + AD_{\text{Н}}}, \quad (3)$$

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

Разница между α_T 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 необходимостью проведения различных технических воздействий (ТО-2 или ТР), подготовкой нового автомобиля к эксплуатации, простоями автомобилей после ДТП и т.д.

Простои по организационным причинам связаны с отсутствием заказчика транспортных услуг, водителей, ремонтных рабочих, из-за неуккомплектованности штатов, болезней, отпусков и др.

При анализе надежности АП удобно использовать граф возможных состояний автомобилей, который учитывает принятую в конкретном АТП систему эксплуатации. Один из возможных вариантов обобщенного графа состояний автомобилей представлен на рис. 1. В соответствии с графиком производственного процесса автомобиля, 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), текущий ремонт (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 (зона 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, а 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.

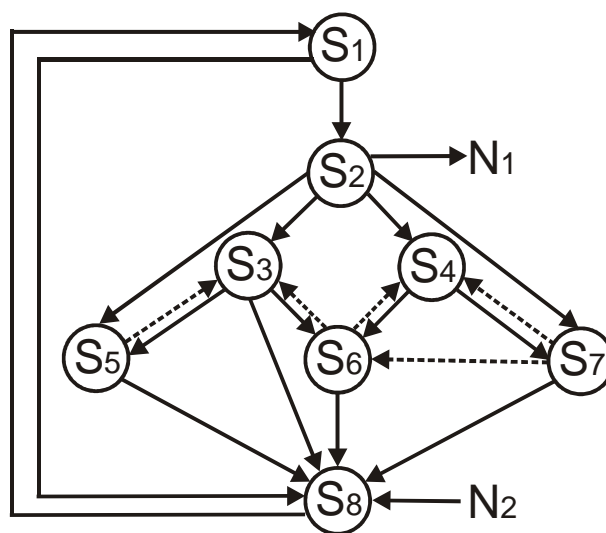


Рис. 1. Обобщенный граф возможных состояний автомобилей

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.

Рассмотрим метод статистического анализа показателей надежности АП на примере.

Выполнение работы

После изучения практических указаний каждый студент получает *персональные статистические данные* результатов эксплуатационных наблю-

дений по состоянию автомобилей в парке и выполняет расчеты показателей надежности.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 2 часа.

Задание. По выданному преподавателем вариационному ряду наработок до отказа рассчитать показатели безотказности

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за техническим состоянием автомобилей конкретного АТП в течение полугода были получены следующие статистические данные об их нахождении в различном технологическом состоянии (табл.1).

Таблица 1. Статистические данные работы АП

Списочное количество автомобилей, $N_{СП}$	Кол-во автомобилей на линии, $N_{Л}$	Простои 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

На основе данных табл. 1 о списочном количестве автомобилей, выпуске на линию, простоях по различным причинам построим граф состояний автомобиля (рис. 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.

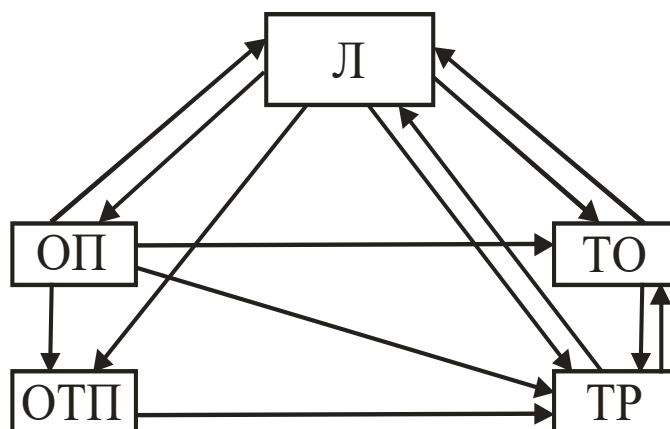


Рис. 2. Граф состояний автомобилей в АТП

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 α_B ; отношение суммы математических ожиданий автомобилей с состояниями Л и ОП к среднесписочному числу автомобилей – коэффициенту технической готовности α_T .

Результаты обработки статистических данных работы АП представлены в табл. 2.

Таблица 2. Числовые характеристики надежности АП

Характеристики надежности АП	Состояние				
	Работа на линии, \bar{N}_L	ТО	ТР	ОТП	ОП
1. Математическое ожидание количества автомобилей в \bar{N} в j -м состоянии	283,44	4,5	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 автопарка;
- граф состояний автомобилей в АТП;
- заключение и выводы по надежности исследуемого автопарка.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под надежностью автопарка?
2. Приведите факторы, влияющие на надежность автомобильного парка.
3. Что характеризует граф состояний автомобилей в парке?;
4. Назовите основные показатели, характеризующие надежность автопарка.

Работа № 5

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Цель работы – изучить:

- требования к выбору диагностических параметров;
- нормирование диагностических параметров.

Общие сведения

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 сопровождается 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.1). Это означает, что в диапазоне изменения структурного параметра Y от начального значения до предельного функция диагностического параметра $S = f(Y)$ не имеет экстремума.

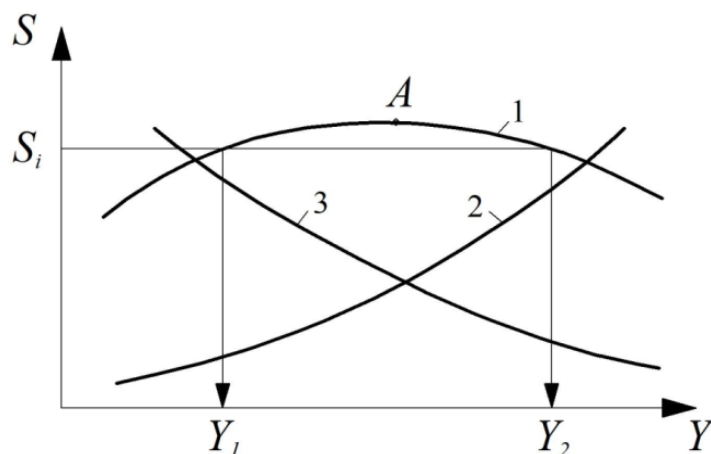


Рис. 1. Закономерности изменения диагностических параметров: 1 – не обладающий однозначной зависимостью (имеется экстремум в точке A); 2 и 3 – обладающие однозначной зависимостью

Стабильность диагностического параметра определяется отклонениями его величины от среднего значения при неизменном значении структурного параметра Y_i (рис.2).

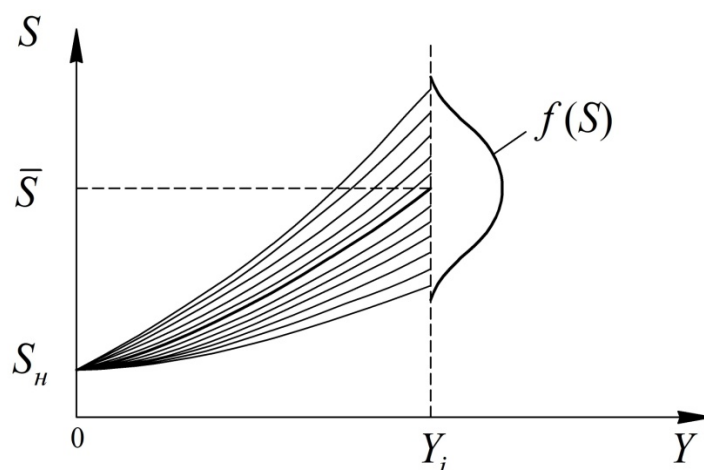


Рис. 2. Рассеивание результатов измерения диагностического параметра

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

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

где n – число измерений диагностического параметра.

Чувствительность φ диагностического параметра характеризуется изменением его значения с изменением структурного параметра (рис. 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. $\varphi_1 > \varphi_2$.

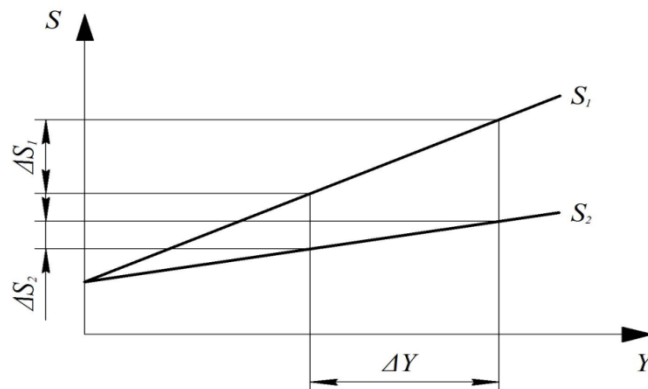


Рис. 3. Схема определения чувствительности диагностических параметров

Информативность диагностического параметра является его важнейшим свойством 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.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.4, б).

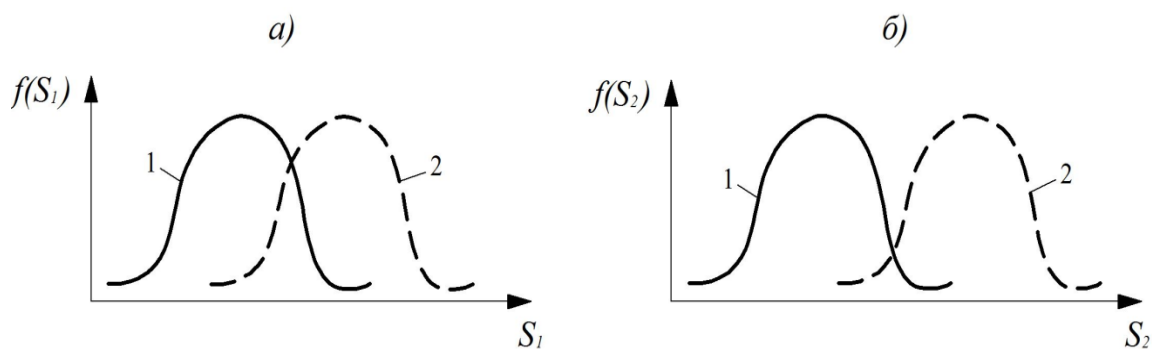


Рис.4. Распределение значений малоинформативного S_1 и высокоинформативного S_2 диагностических параметров: 1, 2 – исправное и неисправное состояния объектов

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

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

Нормирование диагностических параметров

Важнейшим этапом разработки системы диагностирования является 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 S_d значения диагностического параметра.

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

Предельное значение параметра S_p соответствует такому состоянию объекта, когда его дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной или экономически невыгодной. Он устанавливается по техническим или технико-экономическим критериям, которые определяют возникновение отказа (неисправности) или экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

Допустимое значение диагностического параметра S_d 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 устанавливаются 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 устанавливаются 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 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 с неисправным состоянием 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, 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 полученного распределения считают предельными нормативами диагностического параметра $S_{п}$.

Ограничение области распределения диагностического параметра в зависимости от физической сущности контролируемого объекта может быть верхним, нижним или двухсторонним, когда параметр ограничивается и верхним, и нижним уровнем доверительной вероятности (рис 5).

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:

$$S_{n0,85} = \bar{S} + \sigma; \quad S_{n0,95} = \bar{S} + 1,5\sigma. \quad (2)$$

При одностороннем нижнем ограничении:

$$S_{n0,85} = \bar{S} - \sigma; \quad S_{n0,95} = \bar{S} - 1,5\sigma. \quad (3)$$

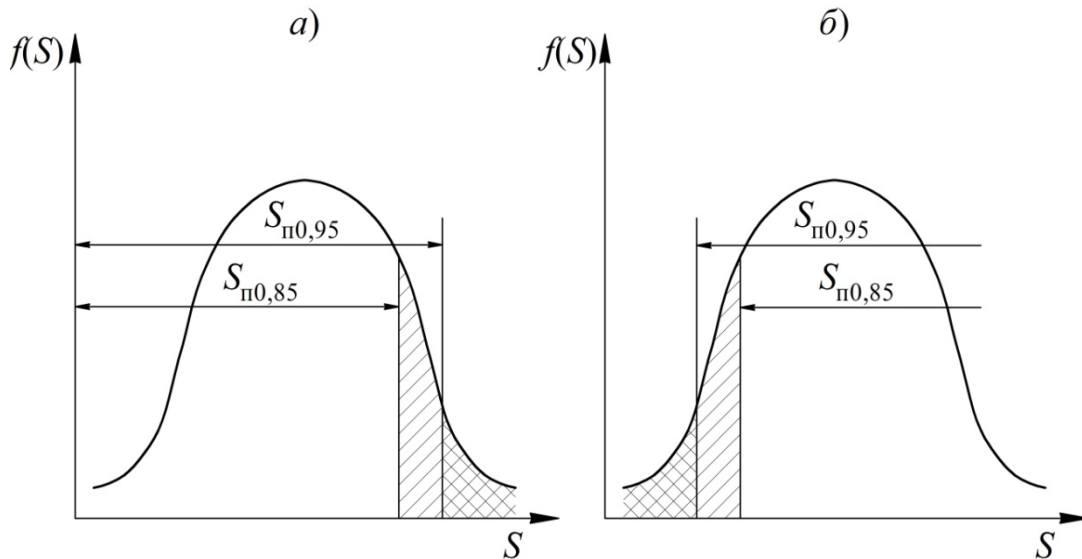


Рис. 5. Схема определения предельных нормативов диагностических параметров

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 состоя-

нии, строится гистограмма и аппроксимирующий ее теоретический закон распределения;

- находятся параметры распределения (среднее значение \bar{S} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v);
- по виду гистограммы и значению коэффициента вариации v подбирается теоретический закон распределения случайной величины диагностического параметра с проверкой правильности выбора по критерию согласия χ^2 Пирсона;
- зная закон распределения диагностического параметра и принятый уровень вероятности P (0,85 или 0,95), определяют его предельные нормативы.

Пример. Определить предельное значение люфта рулевого колеса $\alpha_{\text{рм}}^{\text{пр}}$, вызванное изменением зазора в зубчатом зацеплении рулевого механизма автомобиля.

Результаты измерения значений люфта в рулевом механизме $\alpha_{\text{рм}}$ выборки обследования ($n = 23$ ед.) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений люфтов в рулевом механизме

№ п/п	$\alpha_{\text{рм}}$	№ п/п	$\alpha_{\text{рм}}$	№ п/п	$\alpha_{\text{рм}}$
1	2,3	9	1,9	17	2,1
2	1,8	10	1,7	18	2
3	2,3	11	2,2	19	2
4	1,8	12	2,1	20	2,2
5	2,4	13	2,2	21	2,4
6	2,2	14	2,3	22	2,1
7	2,3	15	2,4	23	2,1
8	1,8	16	1,9		

По результатам измерений с помощью программы STATISTICA строим гистограмму распределения диагностического параметра $\alpha_{\text{рм}}$, аппроксимирующий ее теоретический закон (рис.6) и определяем числовые характеристики полученного распределения:

- среднее арифметическое результатов измерений:

$$\bar{\alpha}_{\text{рм}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{рм}i} = 2,126 \text{ град.};$$

- среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma(\alpha_{\text{рм}}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_{\text{рми}} - \bar{\alpha}_{\text{рм}})^2} = 0,202 \text{ град};$$

- коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma(\alpha_{\text{рм}})}{\bar{\alpha}_{\text{рм}}} = 0,10.$$

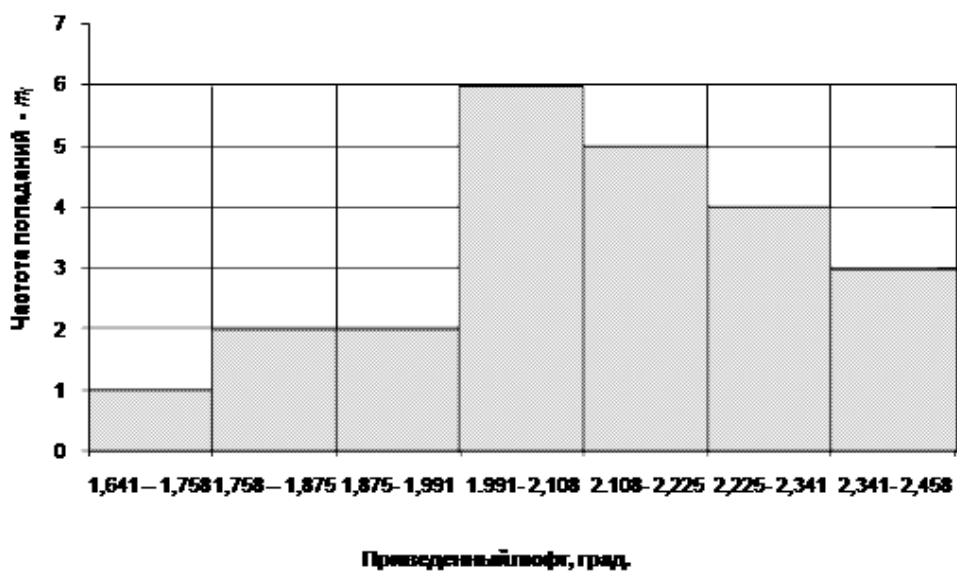


Рис. 6. Гистограмма распределения значений люфта $\alpha_{\text{рм}}$, град.

По виду гистограммы и значению коэффициента вариации $v = 0,1$ предполагаем, что распределение значений люфта подчиняется нормальному закону. Проверка гипотезы о нормальном распределении экспериментальных данных по критерию согласия подтвердила правильность выбора теоретического закона.

Предельный норматив люфта в рулевом механизме $\alpha_{\text{рм}}^{\text{пр}}$, ограниченный уровнем вероятности $P \leq 0,85$ находим по формуле (2)

$$\alpha_{\text{рм}}^{\text{пр}} = 2,126 + 0,202 = 2,3 \text{ град.}$$

Выполнение работы

После изучения указаний студент получает *персональные статистические данные* по эксплуатационной надежности агрегатов, узлов или систем автомобиля и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 2 ... 4 часа.

Задание. По заданному вариационному ряду построить гистограмму распределения значений диагностического параметра; рассчитать параметры распределения (среднее значение \bar{S} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v); подобрать теоретический закон распределения диагностического параметра с проверкой правильности выбора по критерию согласия χ^2 Пирсона; по принятому уровню вероятности P (0,85 или 0,95), определить его предельные нормативы.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов показателей надежности;
- гистограмму распределения значений диагностического параметра;
- подбор закона распределения и проверку его корректности по критерию согласия χ^2 Пирсона;
- расчет предельного норматива диагностического параметра

Контрольные вопросы

1. Требования к выбору диагностических параметров, оценивающих техническое состояние объекта.
2. Нормативные значения диагностических параметров.
3. Определения предельных нормативов диагностических параметров.

Работа № 6

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель работы – изучить:

- методы прогнозирования ресурса автотранспортных средств;
- процесс прогнозирования остаточного ресурса автомобилей с использованием статистических методов.

Общие сведения

Одной из основных задач диагностирования является прогнозирование остаточного ресурса объекта, под которым понимается определение продолжительности его исправной работы до предельного состояния.

На начальной стадии создания автомобиля (проектирование и конструирование) оценку его ресурса осуществляют, в основном, по результатам конструкторских расчетов и статистических данных об 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 варьирует в довольно широких пределах (рис.1) и характеризуется дифференциальной функцией распределения наработок до предельного состояния $f(t)$. Поэтому на стадии проектирования в качестве прогнозируемого ресурса в технической документации указывается некоторый средний ресурс t_{cp} – математическое ожидание наработки автомобиля до предельного состояния $Y_{пр}$.

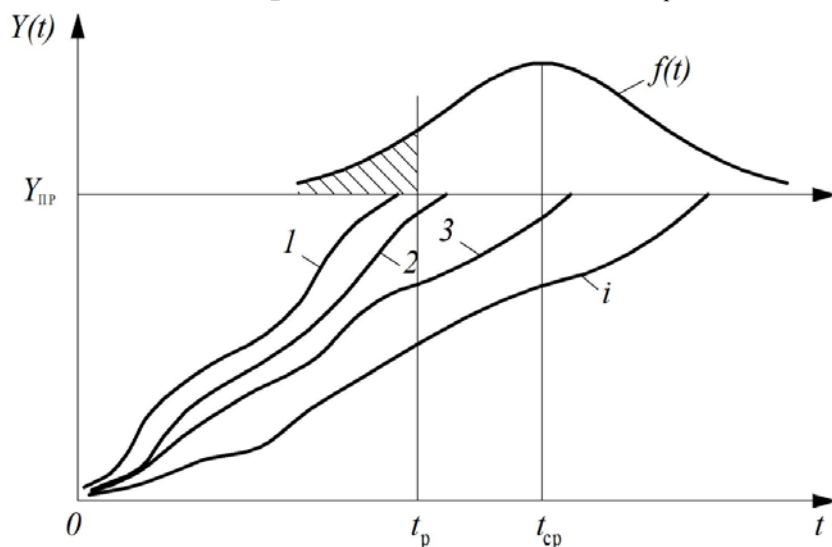


Рис. 1. Графическая интерпретация реализации автомобилем ресурса

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 и 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

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

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 (АТС), 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 он от ресурса 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, литературных данных, 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 выполнение следующих этапов:

- 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, приводящий 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 $Y = Y_n + A_1 T$;
- СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ $Y = Y_n + A_1 T^B$,

ГДЕ T – НАРАБОТКА ИЗДЕЛИЯ; Y_n – НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ; a_1 - 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, например, изменение диагностического параметра по наработке с достаточной степенью точности может быть описано степенной функцией

$$S = S_n + \nu t^\alpha,$$

где S_n – начальное значение диагностического параметра; ν – 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.2.

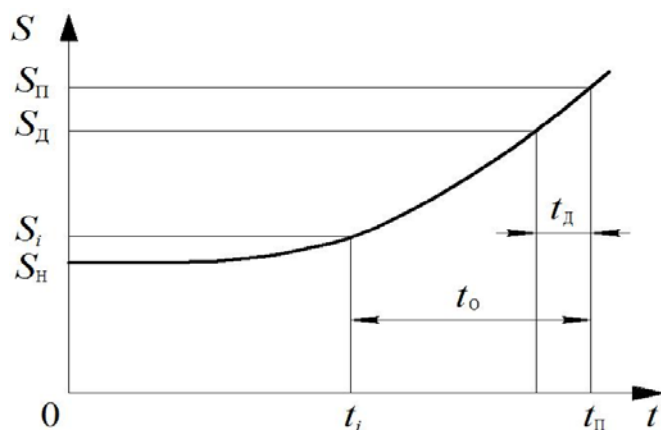


Рис. 2. Схема определения остаточного ресурса по реализации диагностического параметра: S_i, S_n, S_p – текущее, номинальное и предельное значение диагностического параметра; t_i, t_o, t_p – текущий, остаточный и полный ресурс соответственно

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

$$t_p = \alpha \sqrt{\frac{|S_p - S_n|}{v}}; \quad t_o = t \left[\left(\frac{S_p - S_n}{S_i - S_n} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \right],$$

где S_n, S_p – номинальное и предельное значения диагностического параметра.

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_n определяет исходное состояние объекта и соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Оно может быть задано техническими условиями (тормозной путь, люфт рулевого колеса, сходжение 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 указаний студент получает *персональные данные* по диагностическим параметрам, оценивающим техническое состояние двигателей, и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 2 часа.

Задание. По заданным результатам диагностирования двигателя рассчитать его остаточный ресурс.

Пример. Определить остаточный ресурс двигателя с использованием диагностического параметра – давление в конце такта сжатия.

В табл. 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 1. Нормативные значения параметров диагностирования технического состояния ЦПГ и показателя α для этих параметров

№ п/п	Диагностический параметр	Номинальное значение	Предельное значение	Показатель α
1	Давление в конце такта сжатия, кгс/см ²	12	9,6	1,3
2	Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ, кг/см ² в течение не менее 5 с.	Снижение с 1,5 до 1,0	Снижение с 1,5 до 0,75	1,6
3	Расход картерных газов при 4000 мин ⁻¹ , л/мин не более	22	62	1,5
4	Давление в главной масляной магистрали при 2500 мин ⁻¹ , кгс/см ²	5,0	3,0	1,4

Остаточный ресурс рассчитывается по каждому диагностическому параметру и в качестве основного принимается его минимальное значение. По параметру давления в конце такта сжатия, например, на этой наработке его текущее значение составило 11 кгс/см² при номинальном 12 кгс/см² и предельном 9,6 кгс/см². 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. 8.5.

Таблица 8.5. 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 сек. с 1,5 кгс/см ² до:	0,9	1,0	0,75	119
Расход картерных газов при 4000 мин ⁻¹ , л/мин	40	22	62	108
Давление в главной масляной магистрали при 2500 мин ⁻¹ , кгс/см ²	4	5	3	99

В результате выполненных расчетов прогнозируемый остаточный ресурс ЦПГ принимает минимальное значение по параметру «давление в главной масляной магистрали», в соответствии с которым $t_o = 99$ тыс. км.

Выполнение работы

После изучения указаний студент получает *персональные данные* по диагностическим параметрам, оценивающим техническое состояние двигателей, и выполняет необходимые расчеты.

По завершении занятий оформляется отчет о выполненной работе и осуществляется его защита.

Продолжительность работы 2 часа.

Задание. По заданным результатам диагностирования двигателя рассчитать его остаточный ресурс.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- аналитические зависимости изменения диагностических параметров по наработке;
- параметры, оценивающие состояние цилиндропоршневой группы двигателя;
- исходные данные индивидуального задания и результаты расчетов остаточного ресурса.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под прогнозированием остаточного ресурса?
2. Аналитические уравнения, описывающие закономерности изменения технического состояния объекта во времени или по наработке.
3. Определение остаточного ресурса по реализации диагностического параметра.

Библиографический список

1. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин : учеб. пособие / Ю.В.Баженов. – М.: Форум, 2014. – 320 с.
2. Болдин А.П. Основы научных исследований : учебник / А.П.Болдин, В.А.Максимов. – М. : ИЦ «Академия», 2012. – 336 с.
3. ГОСТ 27002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 38с.
4. Денисов А.С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей / А.С.Денисов, А.Т.Кулаков. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2007. – 422 с.
5. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В.А.Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
6. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении / А.И.Кубарев. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
7. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А.Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011.–208с.
8. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. РД 50-690-89. –: Изд-во стандартов, 1990. – 132 с.
9. Мирошников Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л.В.Мирошников, А.П.Болдин, В.И.Пал. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.
10. Озорнин С.П. Основы работоспособности технических систем: учеб. пособие / С.П.Озорнин. – Чита: Изд. ЧитГУ, 2006. – 123 с.
11. Павлов Е.В. Надёжность строительных и дорожных машин: учеб. пособие / Е.В.Павлов, А.Ф.Крюков. – Волгоград: Изд. ВолгГАСУ, 2005. – 134 с.
12. Проников А.С. Надежность машин / А.С.Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 532 с.

13. Сапронов Ю.Г. Экспертиза и диагностика объектов и систем сервиса: учеб. пособие / Ю.Г.Сапронов. – М.: ИЦ «Академия», 2008.–224 с.

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

15. Юркевич В.В. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В.В.Юркевич, А.Г.Схиртладзе. – М.: ИЦ «Академия», 2011. – 304 с.

16. Яхьяев Н.Я. Основы теории надёжности и диагностика: учебник / Н.Я.Яхьяев, А.В.Кораблин. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 256 с.

Оглавление

Лабораторная работа № 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ЕЕ ОЦЕНКИ	3
Лабораторная работа № 2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ МАШИН	4
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ .	
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	
Лабораторная работа № 5. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.....	
Лабораторная работа № 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ...	