

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)**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Методические указания к практическим занятиям

Составитель
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

Закономерности изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации: Метод. указания к практ. занятиям / Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; сост. Ю.В. Баженов. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 48 с.

Представлены практические работы, каждая из которых содержит общие сведения, 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. 17 . Табл. 19 . Библиогр.: 16 назв.

УДК 629.113.004.58 (07)

ББК 39.3

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения высокого уровня потребительских свойств автотранспортной техники, ее долговечности, безотказности и ремонтпригодности непрерывно обостряется, в связи с чем именно надежность определяет перспективы развития отечественного машиностроения в условиях острой конкуренции как внутри страны, так и со стороны зарубежных производителей автомобилей.

Наука о надёжности изучает закономерности изменения показателей качества машин и на основании этого разрабатывает методы, обеспечивающие необходимый ресурс и безотказность их работы.

Изучение дисциплины *«Закономерности изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации»* является важным элементом в исследованиях, посвященных повышению качества и надежности отечественных автомобилей. Поэтому эта дисциплина является одной из базовых дисциплин при обучении магистров по программе подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Полученные в результате изучения знания при исследовании закономерностей изменения показателей качества и надежности машин в процессе их эксплуатации, магистрант существенно повысит свою квалификацию и компетенции в области развития автотранспортного комплекса страны.

Дисциплина *«Закономерности изменения технического состояния транспортных средств в 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 «математические методы теории надёжности» и «физике отказов».

Работа № 1

НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель работы – изучить:

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

Общие сведения

Каждое 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 понимается совокупность свойств, обуславливающих его пригодность для выполнения им своего функционального назначения. Применительно к автомобилям основными свойствами, характеризующими их качество, являются: 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.

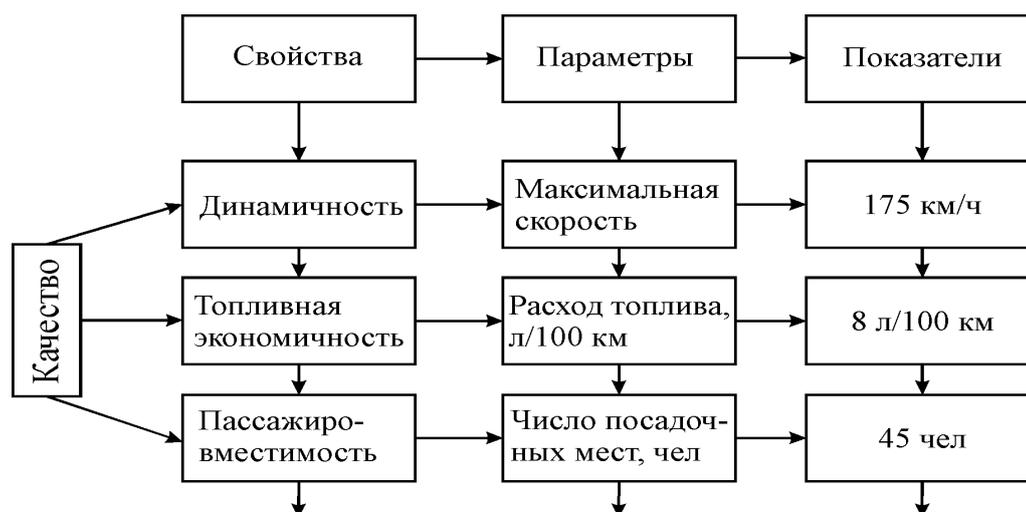


Рис.1.1. Структура понятия качества автомобиля

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. Другими словами, качественно изготовленный и грамотно эксплуатируемый автомобиль в течение всего ресурсного пробега должен выполнять транспортную работу без каких-либо простоев, кроме тех, которые необходимы для проведения в плановом порядке профилактических и ремонтных операций, обеспечивающих его работоспособное состояние.

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.*

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

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

Сохраняемость – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение и после срока 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 состояний переходит в неисправное, а затем и 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. Поддержание исправного

состояния объекта безусловно требует определённых эксплуатационных затрат на выполнение предусмотренных работ по техническому обслуживанию и ремонту, включая контроль и диагностику.

Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской документации, называется **неисправным состоянием** (неисправностью). Переход объекта из исправного состояния в неисправное происходит 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 изделий составляет так называемый **жизненный цикл**, протекающий во времени (или по наработке) и имеющий вполне определённые закономерности, изучаемые в теории надёжности.

Отказы технических систем и их классификация

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 под **отказом** понимается полная или частичная потеря технической системой работоспособности. При наступлении отказа система не может выполнять заданные функции или параметры ее технического состояния выходят за допустимые пределы.

Причины, по которым объект теряет свою работоспособность можно разделить на две основные группы:

- из-за разрушения элементов (поломки, износы, пластические деформации, обрывы и замыкания электропроводки и т.п.);
- вследствие ухудшения качества функционирования (нарушения регулировок механизмов и систем, ослабление контактов и креплений под действием вибраций, нарушение герметичности соединений в гидравлических и пневматических системах и др.).

В отличие от отказа под **повреждением** понимается 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 приводят 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.1.2 приведена классификация основных отказов автомобилей в зависимости от этих факторов.

Таблица 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

Показатели надёжности количественно характеризуют, в какой степени конкретному изделию присущи определённые свойства, обуславливающие его надёжность. Они могут иметь размерность (например, наработка на отказ в тыс. км.) или не иметь её (вероятность безотказной работы, коэффициент технического использования и т.д.).

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 для оценки надёжности применяются количественные показатели, оценивающие её отдельные свойства (безотказность, долговечность и др.), так и *комплексные показатели*, характеризующие готовность и эффективность использования изделий.

В качестве комплексных показателей, оценивающих несколько свойств надёжности одновременно относятся коэффициенты готовности и технического использования.

Коэффициент готовности K_r – это вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени в периодах между плановыми профилактическими мероприятиями:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum t_{pc}}{\sum t_{\Sigma}} = \frac{\sum t_{pc}}{\sum t_{pc} + \sum t_p},$$

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

Коэффициент K_{Γ} оценивает непредусмотренные остановки объекта на устранение отказов в периоды между техническими обслуживаниями, которые свидетельствуют о том, что профилактические операции ТО не в полной мере выполняют свою роль.

Коэффициент технического использования $K_{ти}$ 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 техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период:

$$K_{ти} = \frac{\sum t_{pc}}{\sum t_{pc} + \sum t_p + \sum t_{то}},$$

где $\sum t_{то}$ – суммарное время нахождения объекта в техническом обслуживании.

Таким образом, коэффициент технического использования представляет собой вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольно выбранный момент времени на заданной наработке, а не только в периоды между ТО.

Выполнение работы

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

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

Продолжительность работы – 2 часа.

Задание. По заданным персональным данным рассчитать комплексные показатели надежности.

Пример. Определить комплексные показатели надежности двигателя по статистическим данным, приведенным в табл.2.

Таблица 2. Статистические данные о времени нахождения двигателя в эксплуатации, ТО и ремонте

№ ТО	Периодичность ТО, тыс. км	$\sum t_{э}$, час	$\sum t_{рс}$, час	$\sum t_{р}$, час	$\sum t_{то}$, час
ТО-1	16	380	371	9	11
ТО-2	16	380	373	7	11
ТО-3	16	380	368	12	11
ТО-4	16	380	372	8	11
ТО-5	16	380	369	11	11
Итого: 80		1900	1853	47	55

Используя данные таблицы 2, определяем:

- коэффициент готовности

$$K_{г} = \frac{1853}{1853+47} = 0,975;$$

- коэффициент технического использования

$$K_{ти} = \frac{1853}{1853+47+55} = 0,948.$$

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения:

- наименование и цель работы;
- определения надежности и ее основных свойств;
- 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?

Работа № 2

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель работы – изучить:

- показатели для оценки свойств надежности;
- определение показателей долговечности и безотказности транспортных средств.

Общие сведения

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.

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

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.

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.

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

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.

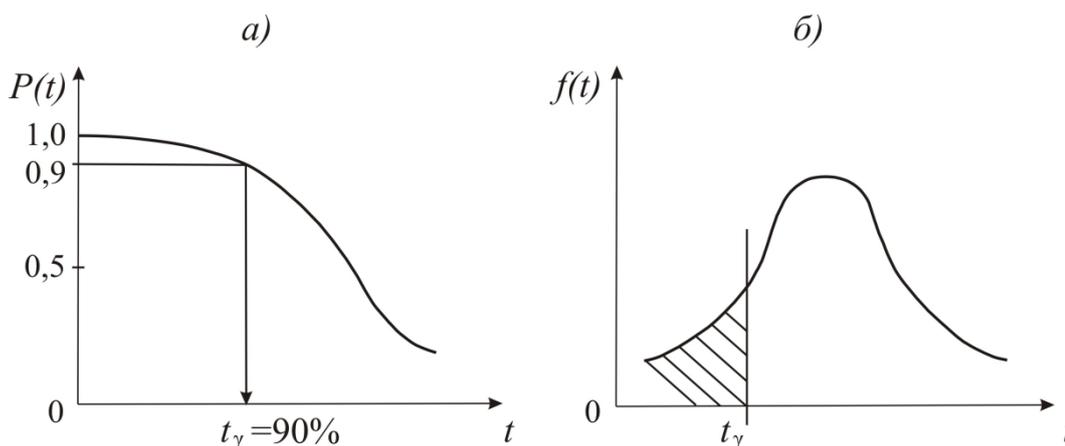


Рис. 1. Схема определения γ – процентного ресурса

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

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

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ

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.

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

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

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

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

$$\bar{\omega} = \frac{m(t_2) - m(t_1)}{t_2 - t_1}. \quad (8)$$

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. 2) и интегральную функцию распределения ресурса по наработке (рис. 3).

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.

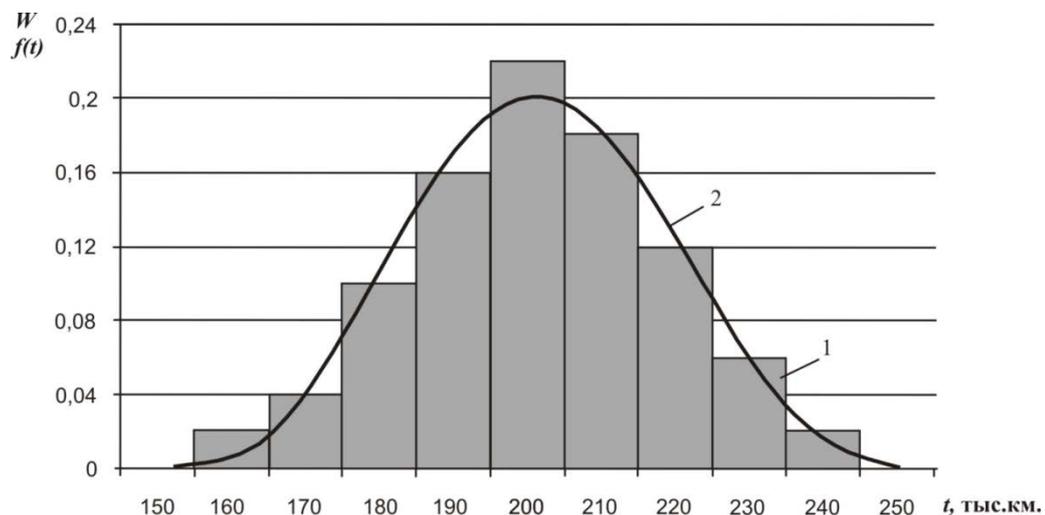


Рис. 2. Гистограмма 1 и дифференциальная функция распределения 2 ресурса двигателей

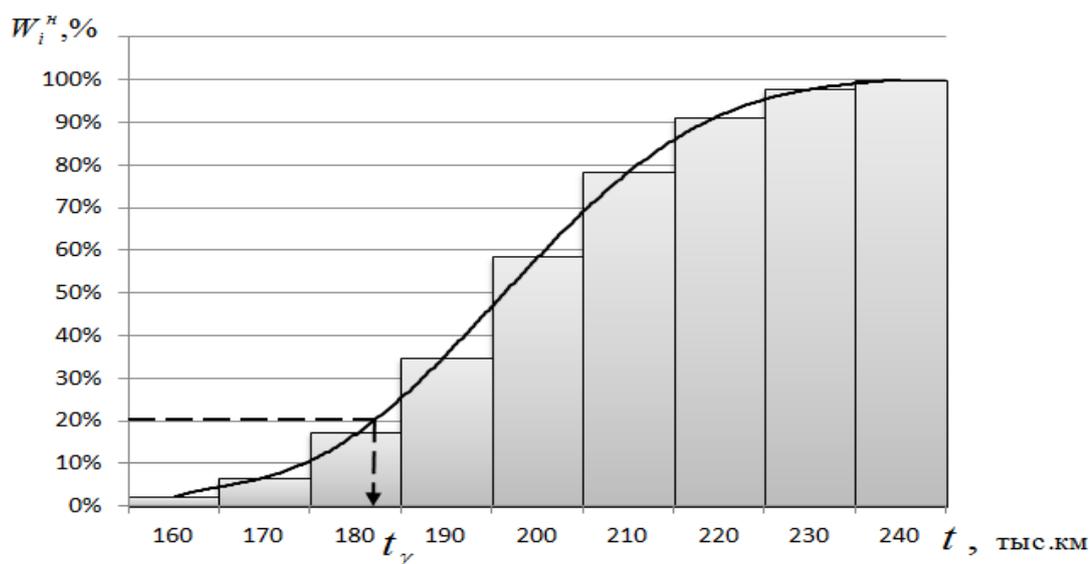


Рис. 3. Интегральная функция распределения ресурса двигателей по наработке

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,	18-21	21-24	24-27	27-30	30-33	33-36	36-39

тыс. км							
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. Какими свойствами характеризуется надежность изделий?
2. Что понимается под долговечностью машин? Какими показателями оценивается это свойство надежности?
3. Что понимается под безотказностью машин и какими показателями оценивается это свойство надежности?

Работа № 3

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

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 случайной 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.

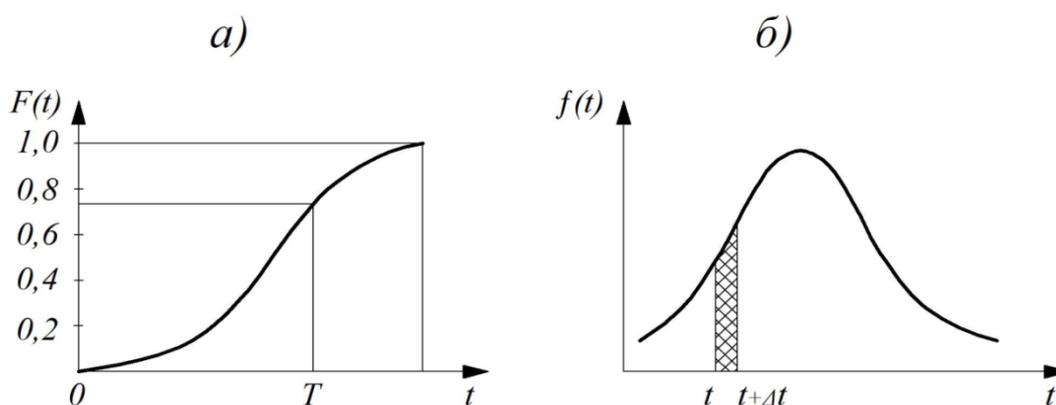


Рис.1. Графическая интерпретация интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения случайной величины

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 частот w_i представляются графически в виде гистограммы. По оси абсцисс гистограммы откладываются интервалы наработок и на их основании строят прямоугольники, высоты которых соответствуют частотам 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
Средины	11,5	14,5	17,5	21,5	23,5	26,5	29,5

интервалов \bar{t}_i , тыс. км							
Опытные частоты \bar{m}_i	3	8	15	29	17	6	2

2. Определяем числовые характеристики выборки:

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

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

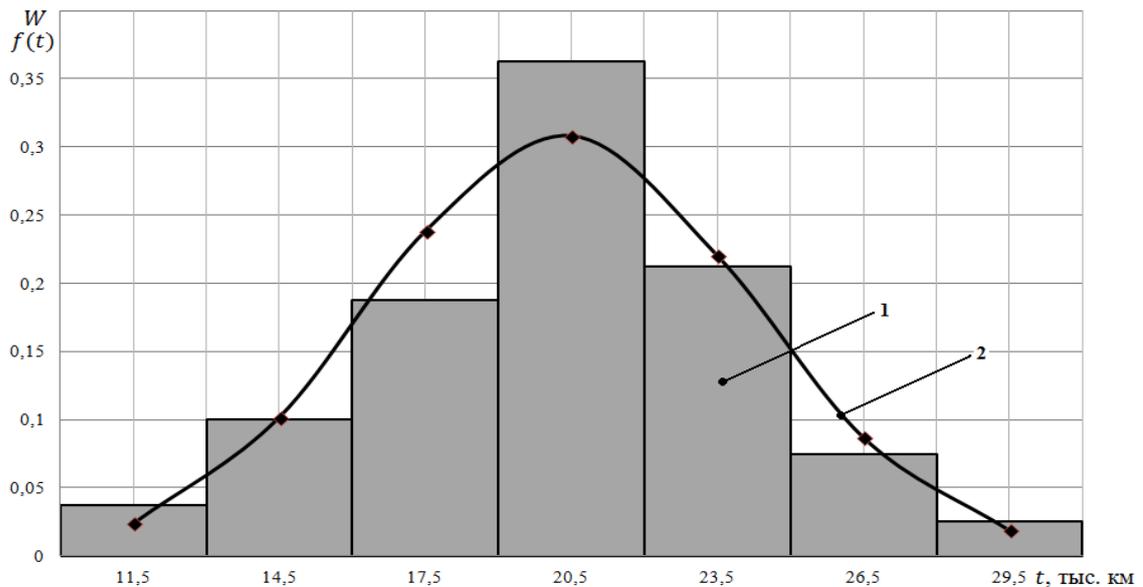


Рис. 2. Гистограмма 1 и теоретическая кривая распределения наработок до отказа шаровых пальцев рулевого управления автобусов ЛиАЗ – 5256

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 ν , характеризующего рассеивание случайной величины относительно среднего значения. *Нормальному закону распределения*, например, соответствует значение коэффициента вариации $\nu = 0,10 \dots 0,35$; *распределению Вейбулла* – $\nu = 0,4 \dots 0,8$; *экспоненциальному* – $\nu = 0,8 \dots 1,2$.

В приведенном примере вид полученной гистограммы и значение коэффициента вариации $\nu = 0,19$ 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).

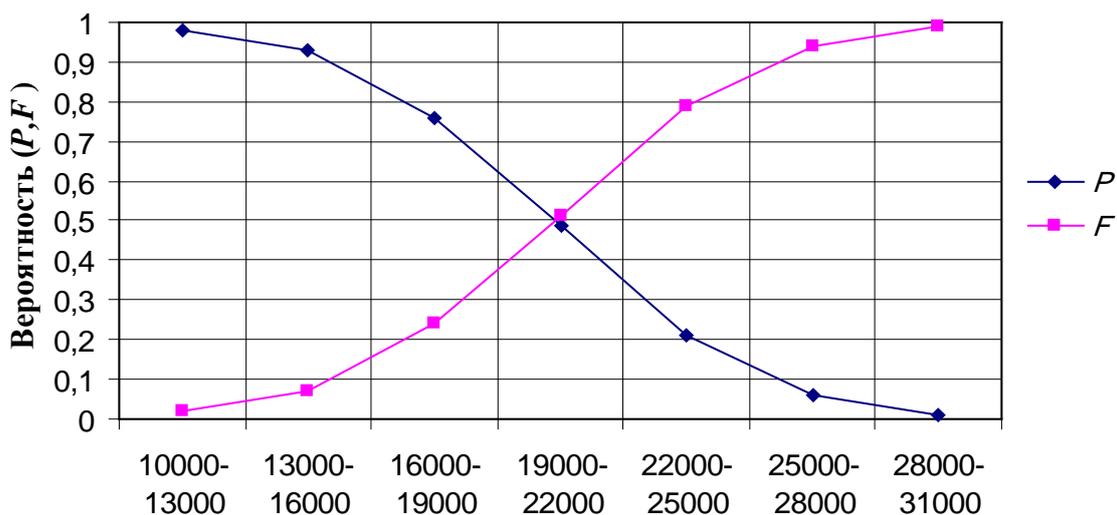


Рис. 3. Графики функций вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $F(t)$ шаровых пальцев рулевого управления автобусов

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?

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 (10) определяют опытное значение критерия $\chi^2_{\text{опытн}}$;
- определяют число степеней свободы ($S = k - r - 1$);
- для найденного S и принятого уровня значимости α находят табличное значение критерия $\chi^2_{\text{табл}}$;
- сравнивают вычисленное значение критерия $\chi^2_{\text{опыт}}$ с табличным $\chi^2_{\text{табл}}$.

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

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 4 часа.

Задание. По заданному вариационному ряду рассчитать показатели надежности, установить закон распределения наработок до отказа, проверить правильность выбранного закона с помощью критерия χ^2 Пирсона, построить графики функций распределения $P(t)$ и $F(t)$.

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за двигателями ЗМЗ-406 были выявлены наработки до отказа вкладышей

коренных шеек коленчатого вала (табл. 2). Требуется установить закон распределения, проверить гипотезу о принадлежности статистических данных выбранному закону, определить основные параметры распределения отказов по наработке.

Таблица 2. 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.

Расчеты выполнены с использованием программы Excel по вышеизложенной методике.

1. Находим 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;
- 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 выборки:

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

3. Строим гистограмму распределения частоты отказов вкладышей по наработке t (рис. 1).

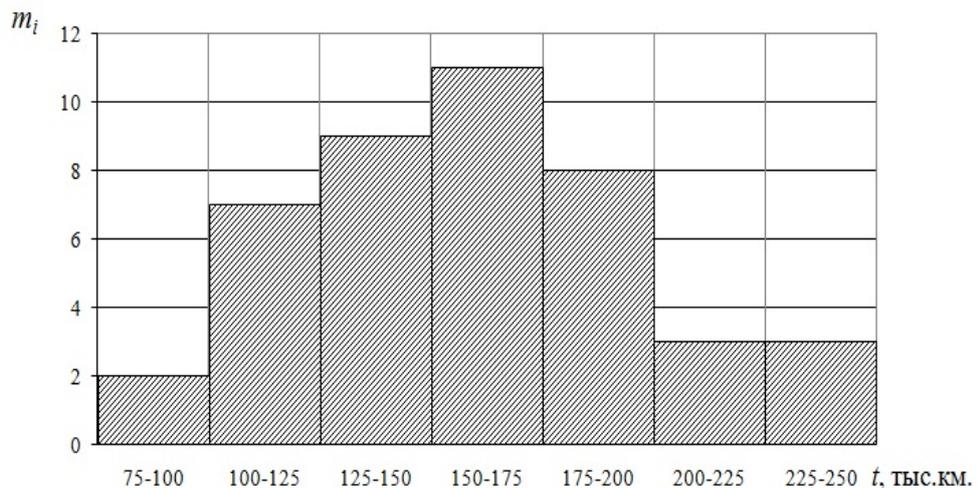


Рис.1. Гистограмма распределения отказов вкладышей коренных шеек коленчатого вала по наработке

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

4. Определяем вероятности попадания случайных величин наработок (теоретические частоты) в каждый интервал статистического ряда.

Для нормального закона распределения с целью удобства вычислений проводим нормирование случайной величины наработки t , которая заключается в переходе к новой случайной величине, $z = \frac{t - \bar{t}_{cp}}{\sigma(t)}$ и вычисляем

границы новых интервалов:

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

Расчеты сводим с таблицу 3, полагая при этом, что левый конец первого интервала равен $-\infty$, а правый конец последнего интервала ∞ .

Таблица 3. 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	-	- 66	$-\infty$	-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	-	1,46	∞

5. Рассчитываем теоретические частоты $m_i = Np_i$, 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.

Результаты расчета сведены в табл. 4.

Таблица 4. Теоретические частоты попадания наработок в интервалы

Интервал	Границы интервала		$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$p_i = \Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i)$	$m_i = Np_i$
	z_i	z_{i+1}				
1-й	$-\infty$	-1,63	-0,5000	-0,4484	0,0516	2,43
2-й	-1,63	-1,01	-0,4484	-0,3438	0,1046	4,92
3-й	-1,01	-0,40	-0,3438	-0,1554	0,1884	8,85
4-й	-0,40	0,22	-0,1554	0,0871	0,2425	11,40

5-й	0,22	0,84	0,0871	0,2995	0,2124	9,98
6-й	0,84	1,46	0,2995	0,4279	0,1284	6,03
7-й	1,46	∞	0,4279	0,5000	0,0721	3,38

6. Рассчитываем критерий согласия χ^2 Пирсона (расчеты сведены в табл. 5).

Таблица 5. Результаты расчета критерия 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	2,43	-0,43	0,1849	0,0761
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	3,38	1,62	2,6244	0,7764
Σ	47				$\chi^2_{\text{опыт.}} = 2,317$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $S = k - r - 1 = 6 - 1 - 1 = 4$ табличное значение $\chi^2_{\text{табл.}} = 9,49$. Так как $\chi^2_{\text{опыт.}} < \chi^2_{\text{табл.}}$, гипотеза о принадлежности выборочных данных нормальному закону распределения принимается.

6. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказов $F(t)$ по интервалам наработок приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчетов значений функций распределения $P(t)$ и $F(t)$ по интервалам наработок

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

7. По найденным интервальным значениям $P(t_i)$, $F(t_i)$ строим графики функций их распределения (рис. 2).

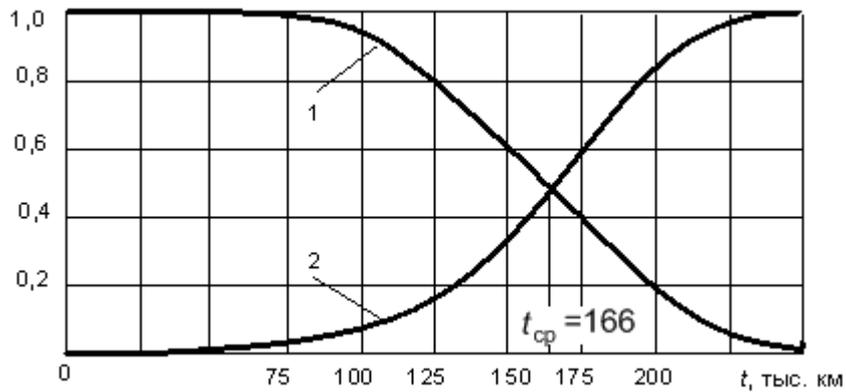


Рис. 2. График функции вероятности безотказной работы (1) и вероятности отказов (2) вкладышей шеек коленчатого вала

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;
- подбор закона распределения;
- расчет критерия χ^2 Пирсона;
- графики распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$ и отказов $F(t)$.

Контрольные вопросы

1. Порядок построения гистограммы распределения наработок до отказа.
2. Что лежит в основе выбора закона распределения наработок до отказа?
3. Как осуществляется проверка принадлежности опытных данных выбранному закону распределения?

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.

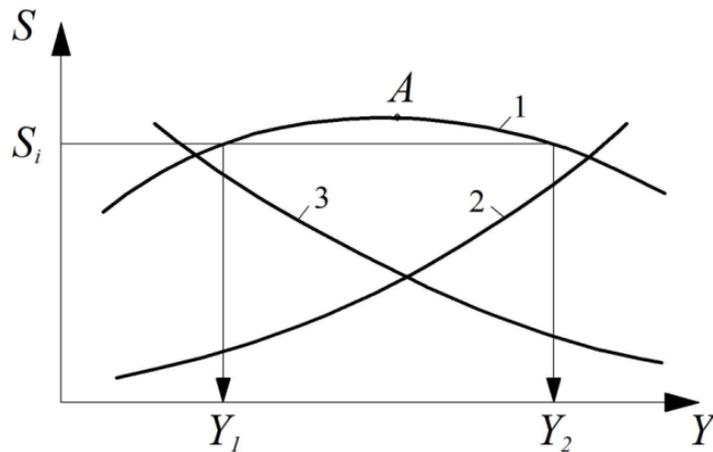


Рис. 1. Закономерности изменения диагностических параметров: 1 – не обладающий однозначной зависимостью (имеется экстремум в точке A); 2 и 3 – обладающие однозначной зависимостью

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

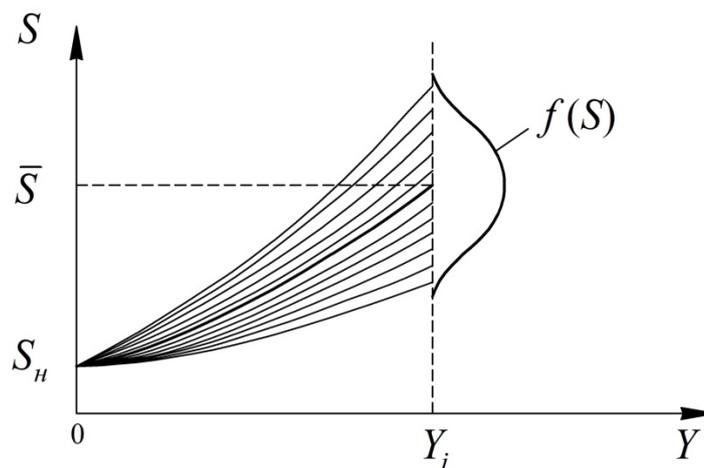


Рис. 2. Рассеивание результатов измерения диагностического параметра

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. $\varphi_1 > \varphi_2$.

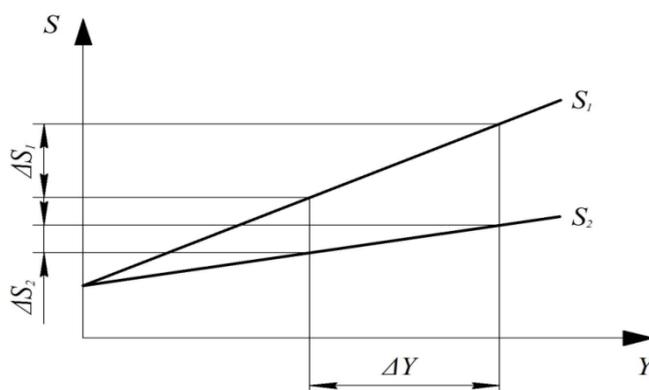


Рис. 3. Схема определения чувствительности диагностических параметров

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).

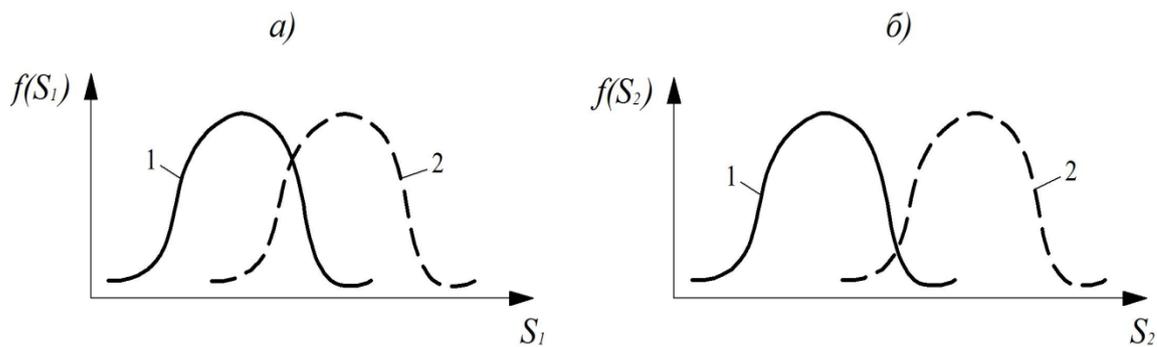


Рис.4. Распределение значений малоинформативного S_1 и высокоинформативного S_2 диагностических параметров: 1, 2 – исправное и неисправное состояния объектов

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:

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

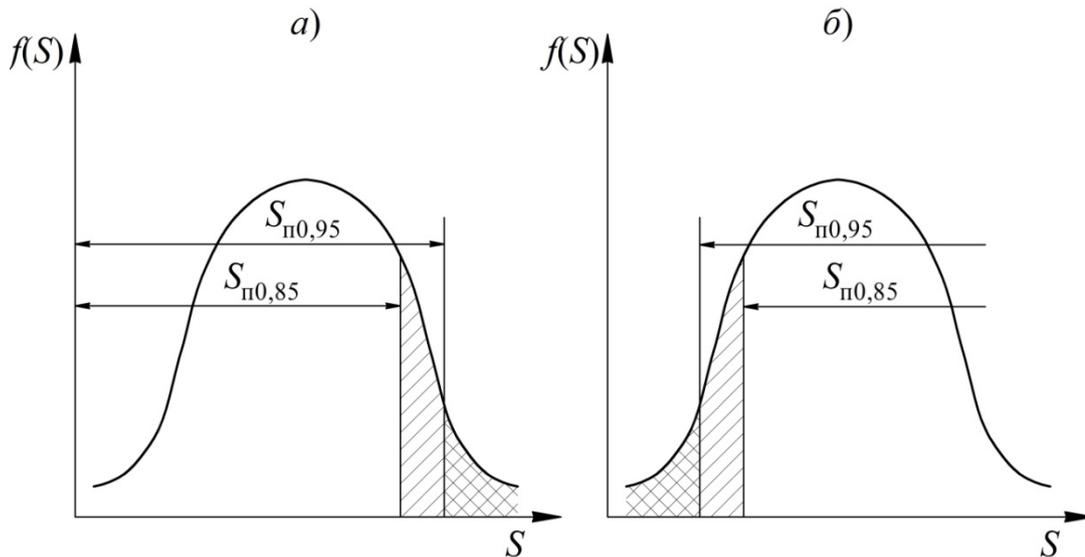


Рис. 5. Схема определения предельных нормативов диагностических параметров

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

состоянии, 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.

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.

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

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

Таблица 1. Результаты измерений люфтов в рулевом механизме

№ п/п	$\alpha_{рм}$	№ п/п	$\alpha_{рм}$	№ п/п	$\alpha_{рм}$
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 α_{pm} , аппроксимирующий ее теоретический закон (рис.6) и определяем числовые характеристики полученного распределения:

- среднее арифметическое результатов измерений:

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

- среднее квадратичное отклонение:

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

- коэффициент вариации:

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

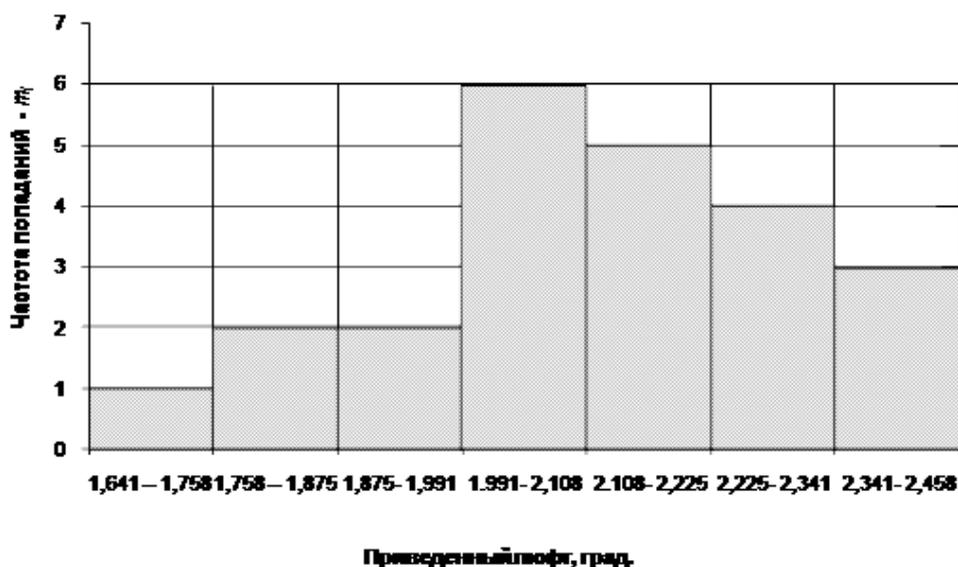


Рис. 6. Гистограмма распределения значений люфта α_{pm} , град.

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)

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

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 $Y_{пр}$.

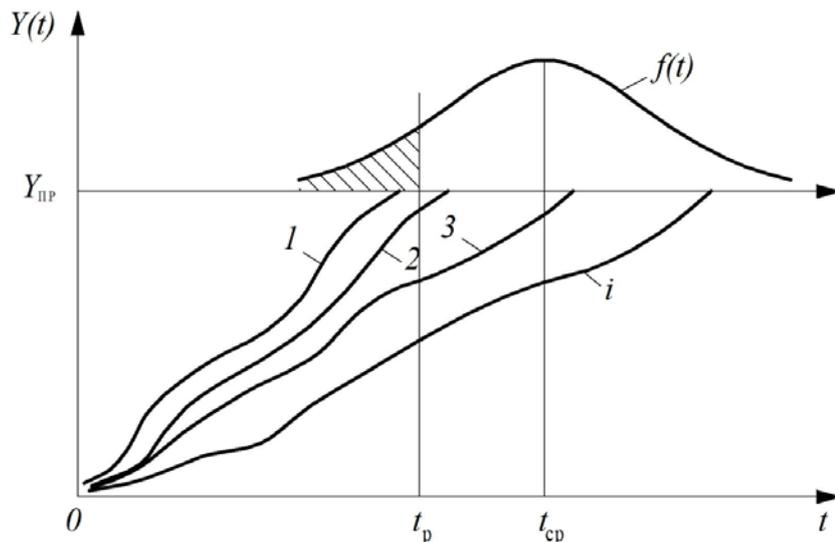


Рис. 1. Графическая интерпретация реализации автомобилем ресурса

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

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

где S_n – 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.2.

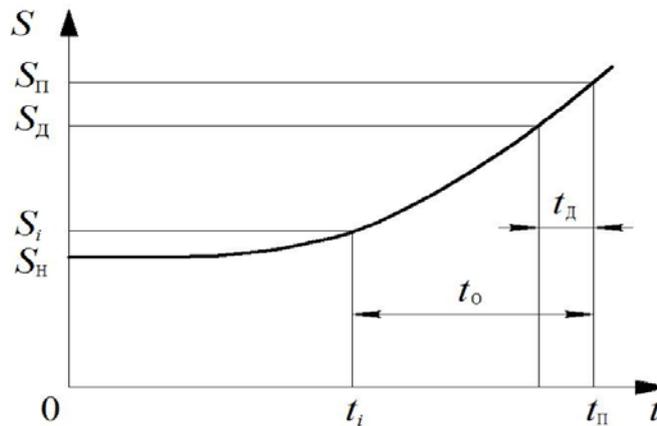


Рис. 2. Схема определения остаточного ресурса по реализации диагностического параметра: S_i, S_n, S_p – текущее, номинальное и предельное значение диагностического параметра; t_i, t_o, t_p – текущий, остаточный и полный ресурс соответственно

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:

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

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 заводоизготовителей. 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, 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 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 $9,6 \text{ кгс/см}^2$. 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 $1,5 \text{ кгс/см}^2$ 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

Работа № 1. НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	3
Работа № 2. ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	8
Работа № 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	17
Работа № 4. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ВЫБРАННОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ..	24
Работа № 5. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.	30
Работа № 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.	38