

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

Институт Машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра Автомобильного транспорта

Баженов Юрий Васильевич

**Конспект лекций**

по дисциплине **«Закономерности изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации»** для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению **23.04.03**

**«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»**

Владимир 2015 г.

## **Введение**

**Целью** освоения дисциплины «*Закономерности изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации*» является формирование у магистров знаний и компетенций: по теории надежности автотранспортных средств; физическим процессам изменения технического состояния автомобилей и его конструктивных элементов; закономерностям изнашивания, усталостного и коррозионного разрушения конструктивных элементов автомобилей; методам обработки и анализа информации по надежности и работоспособности автотранспортных средств; методам обеспечения надежности автомобилей в эксплуатации.

**Задачи** освоения дисциплины – формирование у магистров теоретических знаний, навыков и компетенций при решении современных проблем обеспечения работоспособности автотранспортных средств в эксплуатации за счет изучения:

- физических процессов, приводящих к потере агрегатами, узлами и системами АТС работоспособности;
- закономерностей изменения технического состояния АТС в эксплуатации;
- системы сбора и обработки информации по отказам и неисправностям, причинам их возникновения;
- законов распределения наработок до отказов конструктивных элементов автомобилей;
- методов и средств диагностирования технического состояния АТС;
- методов прогнозирования запаса исправной работы автомобилей.

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

Вопросы, решаемые наукой о надежности, имеют свои специфические особенности:

- во-первых, *закономерности* изменения начальных параметров машины, возникновение в ней отказов исследуются в зависимости от наработки (во времени);
- во-вторых, *прогнозирование* уровня работоспособности машины, сохранение ее выходных параметров осуществляется в зависимости от реальных условий эксплуатации и базируется на аналитических зависимостях изменения параметров технического состояния машин по наработке или во времени.

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, более качественно определять перспективные направления деятельности предприятий и организаций автомобильного транспорта, формировать и реализовывать научные направления в сфере эксплуатации АТС.

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».

## Лекция 1. Процессы изменения технического состояния машин.

При эксплуатации технических систем в них непрерывно протекают различные физико-химические процессы, которые приводят к изменению начальных свойств и состояния материалов, из которых они изготовлены. Эти изменения и являются основной причиной возникновения повреждений и отказов конструктивных элементов и ТС в целом. Для автотранспортных средств и их конструктивных элементов процентное распределение этих повреждений приведено в табл.

### Основные причины потери автомобилем работоспособности

№ пп	Наименование эксплуатационного повреждения	Процентное распределение
1	Изнашивание под воздействием сил трения	45 - 50
2	Пластическое деформирование	25 - 30
3	Усталостное разрушение	15 - 20
4	Коррозионное разрушение и старение	5 - 10

Основной причиной нарушения работоспособности машин являются изменения, возникающие в материалах деталей вследствие трения и изнашивания их поверхностей.

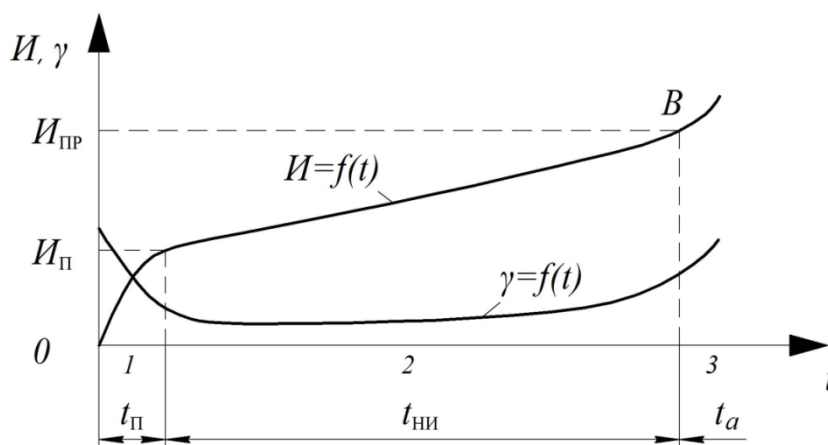
**Изнашивание** – процесс разрушения и отделения материала поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Физическая сущность изнашивания заключается в том, что при относительно перемещении двух поверхностей в области их контакта возникают механические и молекулярные связи. Возникновение таких связей и последующий их разрыв приводят к разрушению микрообъемов поверхности и их удалению, т.е. к изнашиванию.

В общем случае **изнашивание** может быть представлено в виде стадийного процесса, имеющего три характерных периода (рис. 1.1).

В первый период  $t_n$ , период *приработки* осуществляется микро- и макрогеометрическая приработка поверхностей трения деталей. Этот период характеризуется интенсивным разрушением микрообъемов поверхности изнашивания, повышенным тепловыделением, изменением шероховатости. Для большинства конструктивных элементов современных машин продолжительность периода приработки незначительна (для автомобилей, например, она составляет 3 – 3,5% их ресурса).

К завершению периода приработки скорость изнашивания монотонно убывает до значения  $\gamma = \text{const}$ , характерного для периода установившегося (*нормального*) изнашивания.

ния  $t_{ни}$ . Если нет причин, изменяющих параметры установившегося процесса изнашивания, то он протекает стационарно, и возможные отклонения от средней скорости процесса за счет его стадийности не влияют на общую линейную зависимость износа от наработки.



**Рис. 1.1.** Кривая изнашивания деталей машин:

$I_{п}$  -износ за период приработки;  $I_{пр}$  - предельный износ;  $I = f(t)$  - кривая изнашивания;  $\gamma = f(t)$ - скорость изнашивания;  $t_{п}$  - период приработки;  $t_{ни}$  – период нормального изнашивания;  $t_a$  – период аварийного изнашивания

Третий период характеризует наступление *аварийного* изнашивания  $t_a$ , когда резко возрастает интенсивность процесса. Его наступление связано, как правило, с изменением вида изнашивания в результате активизации факторов, влияющих на процесс и зависящих от степени износа. Возникают ударные нагрузки, биение, изменение теплового режима и условий смазки. Происходит рост микронеровностей, возникают условия для схватывания и молекулярно-механического изнашивания. Интенсивность отказов резко возрастает, а вероятность безотказной работы снижается до минимума. Эксплуатация машин в этот период становится нерентабельной из-за резкого роста затрат на поддержание их в технически исправном состоянии и даже опасной из-за недостаточной прочности деталей.

**Пластическая деформация** представляет собой необратимое изменение формы и размеров детали после снятия нагрузки. Такая деформация возникает с увеличением нагрузки на конструктивный элемент, когда в металле появляются сдвиги одних микрочастиц относительно других. Эти сдвиги необратимы и после снятия нагрузки деталь изменяет свою форму и размеры. Возникает некоторое формоизменение, которое носит название *пластического* или *остаточного деформирования*

При деформировании в материале детали возникают внутренние силы, противодействующие этому процессу. Способность материала детали выдерживать внешние силовые нагрузки без разрушения называют *прочностью*, а ее количественной мерой служит *напряжение прочности*. При этом различают:

- нормальное напряжение прочности  $\sigma_H = P / F$  ;
- касательное напряжение прочности  $\tau_H = P_s / F_s$  .

Нормальное напряжения противодействуют отрыву отдельных частей материала детали, а касательное - сдвигу этих частей относительно друг от друга.

В зависимости от схемы силового нагружения в конструктивных элементах машин возникают следующие виды деформаций: растяжение (сжатие), сдвиг (срез), изгиб и кручение

**Усталостное разрушение** происходит в результате постепенного изменения физико-механических свойств в металлических деталях машин из-за многократного воздействия знакопеременных нагрузок.

Процесс усталостного разрушения можно подразделить на 3 стадии:

- в начальной стадии из-за циклических нагрузок, не превышающих предела упругости, в металле накапливаются упругие искажения кристаллической решетки;
- с увеличением числа циклов нагружения упругие напряжения кристаллической решетки, достигая критических значений, вызывают в материале возникновение субмикроскопических усталостных трещин;
- субмикроскопические трещины с дальнейшим увеличением числа циклов достигают размеров вначале микро-, а затем и макротрещин, в результате чего при дальнейшем их развитии происходит окончательное разрушение детали.

Долговечность (ресурс, срок службы) деталей, работающих в условиях повторных переменных нагружений, определяется характеристиками выносливости.

*Под выносливостью* понимается способность металла выдерживать переменные напряжения длительное время без разрушения.

В качестве критериев, оценивающих это свойство металла, служат предел выносливости (усталости) и число циклов нагружения до наступления разрушения.

*Предел выносливости* – это максимальное напряжение, при котором металл образца не разрушается после бесконечного или заданного числа циклов нагружения.

Наглядной иллюстрацией зависимости между числом циклов нагружения до разрушения  $N$  и величиной напряжения  $\sigma$  является кривая выносливости (кривая Вёлера), которую получают с помощью испытаний серии гладких полированных образцов диаметром 10 мм (рис.1.2).

Из графика (кривая 1) видно, что с уменьшением напряжения  $\sigma$  количество циклов  $N$  до разрушения образца возрастает и при определенном значении напряжения образец может проработать без разрушения бесконечно большое количество циклов нагружения. Такое значение напряжения и принимают за физический *предел выносливости*  $\sigma_{-1}$ . Практика испытаний образцов из конструкционных сталей показывает, что если образец выдерживает не разрушаясь  $10^7$  циклов, то он не разрушится и в дальнейшем. Такое число циклов называют *базовым*  $N_0$ , т.е. достаточным при усталостных испытаниях.

Не все металлы имеют участок кривой выносливости, параллельной оси абсцисс. Для цветных металлов и их сплавов, например, кривая выносливости не имеет горизонтального участка и асимптотически приближается к оси  $N$  (кривая 2). В таких случаях определяют *ограниченный предел выносливости*, соответствующий заданному базовому

числу циклов. Для цветных металлов и сплавов базовое число циклов принимается  $N_0 = 10^8$ .

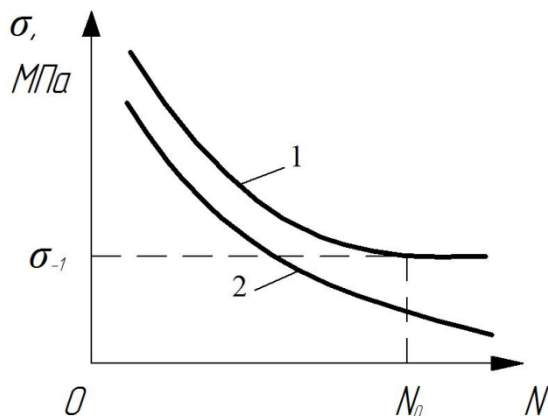


Рис.1.2. Кривая выносливости:  
– сталей, 2 – цветных металлов

В аналитической форме зависимость между числом циклов напряжения  $N_0$  до разрушения, напряжением цикла  $\sigma$  и пределом выносливости  $\sigma_{-1}$  выражается формулой:

$$N_0 = k(\Delta - \sigma_{-1})^{-m},$$

где  $k$  и  $m$  – параметры, значения которых зависят от механических свойств материала детали, ее конструкции и режима эксплуатационного нагружения.

**Коррозия металла** является одним из наиболее опасных видов разрушения конструктивных элементов машин. Ежегодно прямые потери от коррозии составляют 10% всего выплаваемого металла. При этом, несмотря на огромные средства, выделяемые для борьбы с коррозией, общие убытки от нее непрерывно растут.

В подавляющем большинстве случаев коррозионное разрушение деталей машин протекает по электрохимическому принципу. На поверхности конструктивного элемента образуется множество микрогальванических пар, взаимодействие которых и приводит к разрушению металла. На отдельных участках поверхности детали образуются катодные участки, на которых идет восстановление окислителей, находящихся в растворе электролита. На остальной поверхности детали чаще всего на неровностях, локализуются анодные участки, на которых происходит растворение металла.

Интенсивность электрохимической коррозии зависит, главным образом, от скорости диффузии окислительных компонентов к поверхности металла, химических и электрохимических реакций. Скорость этих реакций обуславливается энергией активации взаимодействия металла с коррозионной средой, разницей потенциалов на их границе

$$I = \frac{U_c - U_M}{R},$$

где  $I$  – сила электрического тока;  $U_c$ ,  $U_M$  – электродные потенциалы среды и поверхности металла;  $R$  – омическое сопротивление.

Разность потенциалов, например, на границе капли атмосферной влаги и поверхности металла достигает 6 В.

Из всех видов коррозии только при газовой не возникает электрический ток, так как в этой среде отсутствует разница потенциалов, т.е.

$$U_c - U_M = 0.$$

## *Старение материалов конструктивных элементов*

*Старением материалов* называются процессы изменения их физико-механических свойств во времени в условиях длительного хранения. Старение, как правило, обусловлено недостаточно стабильным равновесным состоянием материала и постепенным его переходом в стабильное (равновесное) состояние.

К старению металлов относятся все процессы изменения во времени их свойств, связанные с превращениями металлов в твердом состоянии. Условно эти процессы можно разделить на две группы:

- превращения, связанные только с изменением кристаллической структуры металла без изменения химического состава;
- превращения, сопровождающиеся образованием фаз с изменением химического состава металла.

В первом случае процессы старения связаны с распадом мартенситной структуры металлических сплавов. Эти процессы обусловлены неустойчивой структурой сплава, возникающей в результате технологической обработки деталей (термообработкой, пластическим деформированием и т.д.) и приводящей к появлению искажений кристаллической решетки. Такое состояние характеризуется повышенным по сравнению со стабильным состоянием уровнем внутренней (свободной) энергии. Поэтому сущность процесса старения заключается в самопроизвольном переходе из нестабильного состояния в стабильное с более низким уровнем внутренней энергии, связанной с атомными перемещениями в решетке металла. При этом атомы в решетке не обмениваются местами, а лишь смещаются относительно друг друга на расстояния, не превышающие межатомные.

Механизм процесса старения сплава с образованием фаз и изменением химического состава заключается в следующем. В первой стадии происходит направленная диффузия атомов компонентов сплава (присадки к основному металлу) и их скопление в определенных участках кристаллической решетки. Во второй стадии в этих участках формируются очень малые объемы с новой кристаллической решеткой основного металла и присадки. В третьей стадии происходит отрыв одной решетки от другой и образование дисперсных частиц новой фазы. В четвертой стадии происходит укрупнение дисперсных частиц и переход нестабильной модификации новой фазы в стабильную.

## Лекция 2. Основные понятия теории надежности и работоспособности машин

Каждая техническая система обладает каким-либо своим, особым качеством, отличающим ее от других систем. В соответствии с ГОСТ 15467-79 под **качеством** изделия понимается совокупность свойств, обуславливающих его пригодность для выполнения им своего функционального назначения.

В процессе эксплуатации под влиянием большого числа факторов происходит изменение этих свойств. Наука о надёжности изучает закономерности этих изменений и разрабатывает методы, обеспечивающие необходимый ресурс и безотказность работы машин при минимальных трудовых и материальных затратах.

Вопросы, решаемые наукой о надёжности, имеют свои специфические особенности, которые отличают ее от других отраслей знаний. Эти особенности заключаются в том, что:

- закономерности изменения начальных параметров машины, возникновение в ней отказов исследуются в зависимости от наработки или во времени;
- прогнозирование уровня работоспособности машины, сохранение ее выходных параметров осуществляется в зависимости от реальных условий эксплуатации.

Основная проблема надёжности как раз и связана с прогнозированием поведения машины в зависимости от предполагаемых условий ее эксплуатации. При этом весьма важно оценивать (прогнозировать) параметры надёжности уже на ранних стадиях создания машины (расчетах при проектировании и конструировании).

Важнейшим свойством любого изделия, позволяющим количественно оценить изменение показателей качества во времени, является надёжность.

**Надёжность** - это свойство любого изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

В современной литературе даны и более простые формулировки понятия надёжности. Под **надёжностью автомобиля**, например, принято понимать его свойство выполнять транспортную работу, сохраняя во времени или по пробегу эксплуатационные показатели в требуемых пределах.

Особенностью проблемы надёжности является её связь со всеми этапами проектирования, изготовления и эксплуатации объекта, начиная с момента, когда формируется и обосновывается идея его создания и заканчивая принятием решения о списании.

Надёжность машины закладывается **при ее проектировании и расчёте**. На этом этапе она зависит от обоснованности выбора структуры машины (агрегата, узла, механизма), сопротивляемости физическим процессам разрушения, используемых материалов, методов защиты от различных вредных воздействий, системы смазки, приспособленности к выполнению операций ТО и ремонта и других особенностей конструирования.

**При производстве** (изготовлении) машины показатели надёжности, заданные при конструировании обеспечиваются. На этом этапе она зависит от качества изготовления деталей, используемых технологий их упрочнения, методов контроля выпускаемой про-



дукции, возможности управления технологическими процессами производства, качества сборки, выполнения в полном объеме доводочных испытаний изделий по параметрам надежности и других элементов процесса изготовления.

**При эксплуатации** машины заложенная при проектировании и производстве надёжность реализуется. Такие ее свойства, как безотказность, долговечность и ремонтнопригодность проявляются только в процессе эксплуатации машины и зависят от принятой системы ТО и ремонта, условий и режимов работы, производственно-технической базы и других эксплуатационных факторов.

Таким образом, проблема надёжности является комплексной проблемой, так как непосредственным образом связана со всеми стадиями жизненного цикла машины – конструированием, изготовлением и эксплуатацией. Поэтому для решения задач, стоящих перед нею, привлекаются различные отрасли знаний.

### **2.1. Свойства надежности машин**

*Надёжность* является сложным (комплексным) свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения характеризуется сочетанием более простых свойств: безотказностью, долговечностью, ремонтнопригодностью и сохраняемостью.

**Безотказность** характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Это свойство определяет непрерывную работу объекта без каких-либо вмешательств, направленных на поддержания его работоспособности, т.е. технических обслуживаний и ремонтов.

**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 и учитывает, что его длительная работа невозможна без проведения необходимых профилактических мероприятий и ремонтных.

**Ремонтнопригодность** – 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. Сохраняемостью определяются целесообразные сроки хранения и консервации автомобилей, а также допустимые расстояния транспортирования, после которых они остаются пригодными для дальнейшей эксплуатации без ремонта.

### **2.2. Количественные показатели для оценки надёжности**

#### *Показатели безотказности*

Для количественной оценки безотказности технических систем используются следующие показатели:

- вероятность безотказной работы;
- средняя наработка на отказ;

- средняя наработка до отказа;
- интенсивность отказов;
- параметр потока отказов.

**Вероятность безотказной работы** – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ изделия не возникнет. Значение вероятности безотказной работы  $P(t)$ , как и всякой вероятности, находится в пределах

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

Физический смысл  $P(t)$  заключается в следующем. Если  $P(t)$  какого-либо изделия (автомобиля, например) на наработке  $t = 0 - 50$  тыс.км равна 0,95, это означает, что из большого их количества в среднем около 5% потеряют свою работоспособность на этой наработке. Остальные же 95% не будут иметь ни одного отказа.

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  $t$ :

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

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

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

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.

**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.

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

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

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

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

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

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

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

### **Показатели долговечности**

Для оценки долговечности технических систем 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.

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

### **Показатели ремонтпригодности**

Для оценки ремонтпригодности изделий служат следующие основные показатели:

- вероятность восстановления;
- среднее время восстановления;
- средняя трудоемкость восстановления.

**Вероятность восстановления** – это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта  $t_B$  не превысит заданное нормативной документацией значение  $t_H$ , т.е.  $P(t_B) \leq P(t_H)$ .

**Среднее время восстановления** это математическое ожидание времени восстановления работоспособности изделия, вызванное отказом

$$\bar{t}_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i,$$

где  $t_i$  – время восстановления  $i$ -го отказа;  $m$  – число отказов изделия за определенную наработку

**Средняя трудоемкость восстановления** представляет собой математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

### *Комплексные показатели надежности*

Кроме рассмотренных выше показателей, характеризующих одно из свойств надежности и называемых единичными, применяются и комплексные показатели, оценивающие несколько свойств надежности одновременно. К ним относятся коэффициенты готовности и технического использования.

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

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\sum t_{pc}}{\sum t_{pc} + \sum t_p + \sum t_{\text{ТО}}},$$

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

### Лекция 3. Виды и закономерности изнашивания и усталостного разрушения деталей автомобилей в эксплуатации

В зависимости от факторов, определяющих тот или иной процесс разрушения поверхности детали при трении, все виды изнашивания разделены на три основные группы: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое (рис. 3.1)

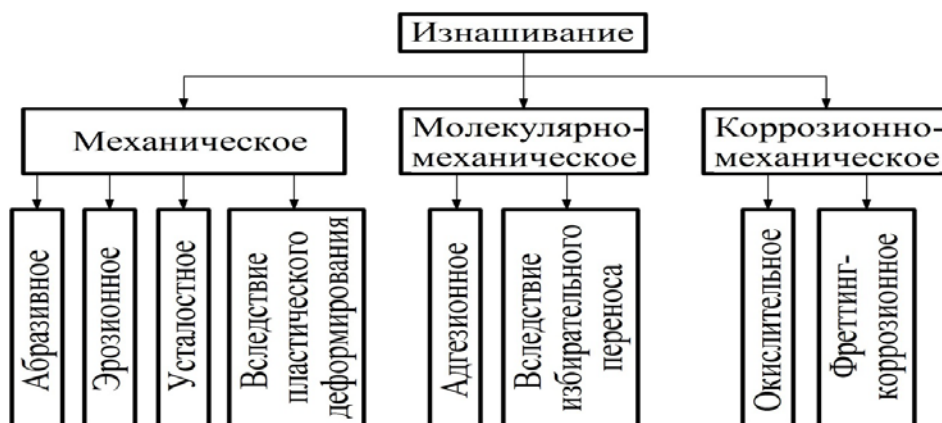


Рис. 3.1. Виды изнашивания деталей

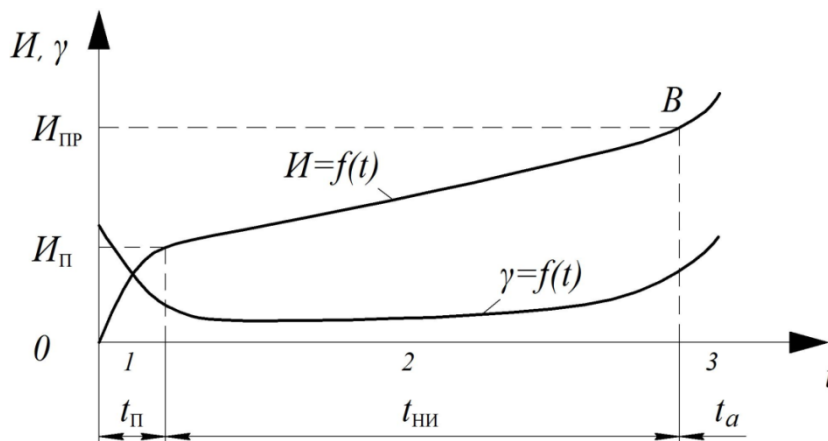
В процессе эксплуатации машин количественные характеристики изнашивания деталей и сопряжений изменяются во времени. В общем случае **изнашивание** может быть представлено в виде стадийного процесса, имеющего три характерных периода (рис. 3.2).

В первый период  $t_n$ , период *приработки* осуществляется микро- и макрогеометрическая приработка поверхностей трения деталей. Этот период характеризуется интенсивным разрушением микрообъемов поверхности изнашивания, повышенным тепловыделением, изменением шероховатости. Для большинства конструктивных элементов современных машин продолжительность периода приработки незначительна (для автомобилей, например, она составляет 3 – 3,5% их ресурса).

К завершению периода приработки скорость изнашивания монотонно убывает до значения  $\gamma = \text{const}$ , характерного для периода установившегося (*нормального*) изнашивания  $t_{ни}$ . Если нет причин, изменяющих параметры установившегося процесса изнашивания, то он протекает стационарно, и возможные отклонения от средней скорости процесса за счет его стадийности не влияют на общую линейную зависимость износа от наработки.

Третий период характеризует наступление *аварийного* изнашивания  $t_a$ , когда резко возрастает интенсивность процесса. Его наступление связано, как правило, с изменением вида изнашивания в результате активизации факторов, влияющих на процесс и зависящих от степени износа. Возникают ударные нагрузки, биение, изменение теплового режима и условий смазки. Происходит рост микронеровностей, возникают условия для схватывания

и молекулярно-механического изнашивания. Интенсивность отказов резко возрастает, а вероятность безотказной работы снижается до минимума. Эксплуатация машин в этот период становится нерентабельной из-за резкого роста затрат на поддержание их в технически исправном состоянии и даже опасной из-за недостаточной прочности деталей.

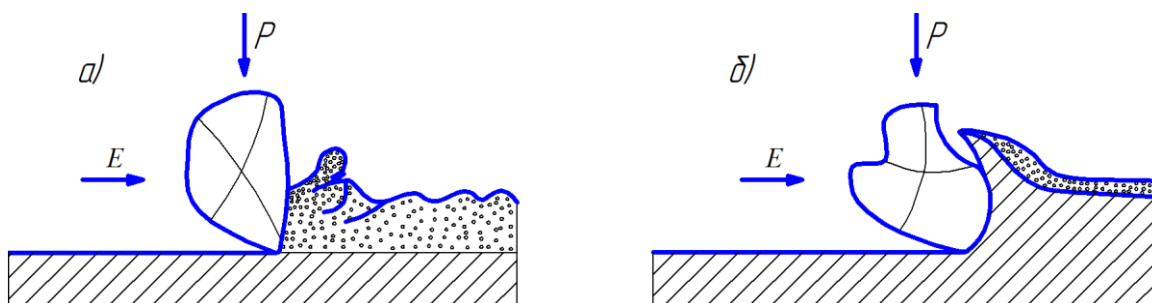


**Рис. 3.2.** Кривая изнашивания деталей машин:

$I_{\text{П}}$  -износ за период приработки;  $I_{\text{ПР}}$  - предельный износ;  $I = f(t)$  - кривая изнашивания;  $\gamma = f(t)$ - скорость изнашивания;  $t_{\text{П}}$  - период приработки;  $t_{\text{НН}}$  – период нормального изнашивания;  $t_{\text{а}}$  – период аварийного изнашивания

При анализе процессов абразивного изнашивания наблюдаются две четко выраженные формы его проявления: механохимическая (коррозионно-механическая) и механическая (рис.3.3). Проявление этих форм зависит от соотношения твердости абразивных частиц и рабочих поверхностей деталей.

Если твердость абразивной частицы  $H_{\text{а}}$  и твердость основного материала детали  $H_{\text{м}}$  соизмеримы, наблюдается механохимическая форма изнашивания. Результатом такого изнашивания является разрушение абразивными частицами окисной пленки поверхностного слоя детали (рис.3.3, а). При соотношении твердостей  $H_{\text{а}}/H_{\text{м}} > 1,7$  возникает механическая форма повреждаемости (микрорезание), т.е. повреждение абразивными частицами основного материала детали (рис.3.3, б).



**Рис.3.2.**Формы абразивного изнашивания:

а – механохимическая (коррозионно-механическая); б – механическая

Абразивное изнашивание является одним из наиболее интенсивных процессов разрушения рабочих поверхностей при трении. Для уменьшения отрицательного влияния такого вида изнашивания на долговечность машин при их конструировании предусматриваются эффективные средства герметизации сопряжений, высококачественные фильтры для очистки воздуха, масел и топлива.

Современное представление о природе изнашивания базируется на хорошо изученном факте дискретности контакта шероховатых тел, в соответствии с которым фактическая площадь контакта металлических поверхностей при умеренных давлениях составляет не более 0,1 – 1,0 % номинальной площади. Фактическая площадь контакта рабочих поверхностей зависит от параметров их профилей, физико-механических характеристик материалов деталей сопряжения (твердости, предела текучести, модуля упругости), а также нормальной нагрузки на поверхности трения. Ее величина может быть определена как сумма площадей соприкосновения микронеровностей

$$F_k = \sum_{i=1}^n F_i,$$

где  $F_i$  – площадь  $i$ -го пятна контакта;  $n$  – число точек контакта.

Чем выше твердость поверхностей деталей, тем меньше фактическая площадь контакта. При взаимодействии металлических деталей с соизмеримой твердостью происходит постепенное сближение поверхностей, сопровождаемое появлением новых пятен контактирования. В случае контакта деталей, твердость которых различается существенно, сближение происходит главным образом за счет смятия микронеровностей менее твердых поверхностей и внедрения в нее выступов шероховатостей более твердых поверхностей.

**Механизм усталостного разрушения детали** заключается в следующем. В идеальной атомной решетке материалов, в которых отсутствуют внешние или внутренние остаточные напряжения, атомы находятся в равновесном состоянии. В реальных же материалах конструктивных элементов машин кристаллическая решетка всегда имеет так называемые местные дислокации (атомная решетка искажена) из-за наличия пустот, включений и т.д.

При приложении внешних нагрузок происходит перемещение этих дислокаций путем скольжения. Именно в местах скольжения дислокаций перед препятствиями (посторонними внедрениями) зарождаются *микроскопические трещины*, вызываемые разрывом связей в кристаллической структуре металла. Локальные напряжения в области скольжения дислокаций в этот период эксплуатации конструктивных элементов превышают предел текучести материала  $\sigma_T$ .

Таким образом, процесс усталостного разрушения можно подразделить на 3 стадии:

- в начальной стадии из-за циклических нагрузок, не превышающих предела упругости, в металле накапливаются упругие искажения кристаллической решетки;

- с увеличением числа циклов нагружения упругие напряжения кристаллической решетки, достигая критических значений, вызывают в материале возникновение субмикроскопических усталостных трещин;
- субмикроскопические трещины с дальнейшим увеличением числа циклов достигают размеров вначале микро-, а затем и макротрещин, в результате чего при дальнейшем их развитии происходит окончательное разрушение детали.

Трещины начинают развиваться во втором, достаточно продолжительном периоде эксплуатации. По результатам ряда исследований интервал между моментом образования усталостной трещины и моментом разрушения металла составляет до 90% от общего срока службы детали.

Долговечность (ресурс, срок службы) деталей, работающих в условиях повторных переменных нагружений, определяется характеристиками выносливости.

*Под выносливостью* понимается способность металла выдерживать переменные напряжения длительное время без разрушения.

В качестве критериев, оценивающих это свойство металла, служат предел выносливости (усталости) и число циклов нагружения до наступления разрушения.

*Предел выносливости* – это максимальное напряжение, при котором металл образца не разрушается после бесконечного или заданного числа циклов нагружения.

Наглядной иллюстрацией зависимости между числом циклов нагружения до разрушения  $N$  и величиной напряжения  $\sigma$  является кривая выносливости (кривая Вёлера), которую получают с помощью испытаний серии гладких полированных образцов диаметром 10 мм (рис.3.3).

Из графика (кривая 1) видно, что с уменьшением напряжения  $\sigma$  количество циклов  $N$  до разрушения образца возрастает и при определенном значении напряжения образец может проработать без разрушения бесконечно большое количество циклов нагружения. Такое значение напряжения и принимают за физический *предел выносливости*  $\sigma_{-1}$ . Практика испытаний образцов из конструкционных сталей показывает, что если образец выдерживает не разрушаясь  $10^7$  циклов, то он не разрушится и в дальнейшем. Такое число циклов называют *базовым*  $N_0$ , т.е. достаточным при усталостных испытаниях.



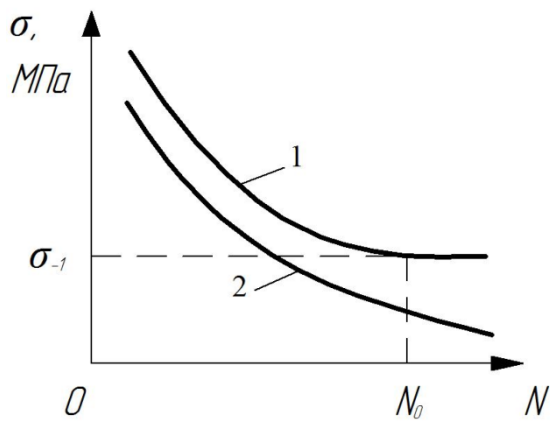


Рис.3.3. Кривая выносливости:  
1 – сталей, 2 – цветных металлов

Не все металлы имеют участок кривой выносливости, параллельной оси абсцисс. Для цветных металлов и их сплавов, например, кривая выносливости не имеет горизонтального участка и асимптотически приближается к оси  $N$  (кривая 2). В таких случаях определяют *ограниченный предел выносливости*, соответствующий заданному базовому числу циклов. Для цветных металлов и сплавов базовое число циклов принимается  $N_0 = 10^8$ .

В аналитической форме зависимость между числом циклов напряжения  $N_0$  до разрушения, напряжением цикла  $\sigma$  и пределом выносливости  $\sigma_{-1}$  выражается формулой:

$$N_0 = k(\Delta - \sigma_{-1})^{-m},$$

где  $k$  и  $m$  – параметры, значения которых зависят от механических свойств материала детали, ее конструкции и режима эксплуатационного нагружения.

#### **Лекция 4. Методика проведения эксплуатационных испытаний автомобилей на надежность**

Для автомобилей, как транспортных средств повышенной опасности, предъявляются жесточенные требования к показателям надежности. В связи с этим испытания автомобилей на надежность имеют некоторую специфику. Их можно подразделить на два основных вида: *дорожные и стендовые*.

Наиболее объективную и исчерпывающую информацию о надежности автомобилей и его отдельных элементов дают эксплуатационные испытания, которые проводят в типичных условиях эксплуатации с выполнением присущей им транспортной работы. В зависимости от организации таких испытаний и условий их проведения различают опытную, подконтрольную и рядовую эксплуатацию.

В условиях *опытной эксплуатации* испытания проводятся специально подготовленным персоналом, который осуществляет регулярный контроль и учет наработок автомобиля, объемов выполняемых работ, регистрацию возникающих отказов и неисправностей, определение и уточнение расхода запасных частей, оценку эксплуатационной и ремонтной технологичности.

*Подконтрольная эксплуатация* предусматривает проведение испытаний в строгом соответствии с требованиями и правилами нормативно-технической документации и контролем технического состояния узлов и агрегатов каждого подконтрольного автомобиля. Для повышения достоверности получаемых результатов эксплуатационные предприятия привлекают к проведению испытаний соответствующих специалистов.

*При рядовой эксплуатации* возможны некоторые отклонения от требований технической эксплуатации и для получения информации о надежности автомобилей специалисты-испытатели не привлекаются.

Наибольшее распространение и методическое обеспечение получили испытания в условиях подконтрольной эксплуатации автомобилей. Проводят такие испытания на специально организованных экспериментально-производственных предприятиях, называемых опорными. В подконтрольной эксплуатации используется единая методика сбора, представления и обработки информации, что позволяет получать достоверные оценки показателей надежности машин.

Основными задачами эксплуатационных испытаний являются:

- выявление характера и причин возникновения отказов в зависимости от наработки;
- определение коэффициентов готовности и использования;
- обоснование критериев предельного состояния деталей, узлов, агрегатов и, соответственно, их ресурсов;
- установление номенклатуры и норм расхода запасных частей;
- выявление деталей, лимитирующих надежность агрегатов;
- определение затрат на ТО и ремонты;
- изучение приспособленности автомобилей к проведению ТО и ремонта;

- разработка нормативов поддержания автомобилей в работоспособном состоянии.

В процессе таких испытаний неукоснительно выполняется инструкция по эксплуатации автомобилей, регистрируются все простои и поломки. Все неисправности, отказы фиксируются с указанием их пробега до восстановления или замены с момента ввода автомобиля в эксплуатацию до отправки в капитальный ремонт или на списание.

Однако, несмотря на все преимущества, эксплуатационные испытания обладают серьезным недостатком – большой длительностью. Если, например, ресурс автомобиля рассчитан на 400 – 450 тыс. км, и этот ресурс реализуется в течение 7 – 8 лет, то выход из строя даже агрегатов, имеющих пониженный ресурс, следует ожидать не ранее, чем через 3,5 – 4 года.

В связи с этим часто используется метод эксплуатационных испытаний автомобилей, имеющих различную наработку. Например, можно отобрать в группу автомобили, имеющие к началу испытаний разную наработку с начала эксплуатации (30...40, 50...60, 70 ...80 тыс. км и т.д.). При этом несложно обеспечить необходимую выборку обследований и практически в течение одного года получить информацию о показателях надежности по большой наработке.

Специфический вид эксплуатационных испытаний – регистрация данных о техническом состоянии автомобилей в процессе ТО и ремонта. Такой вид испытаний позволяет получить исчерпывающую информацию о надежности автомобилей как в гарантийный, так и послегарантийный периоды их эксплуатации.

Конкретные задачи проведения эксплуатационных испытаний должны быть обусловлены теми целями, которые перед ними ставятся. Для оценки, например, эксплуатационной надежности каких либо конструктивных элементов автомобиля необходимо решить ряд задач в последовательности, приведенной на рис.4.1.

Как видно из схемы важной составляющей экспериментальных исследований по оценке надежности является этап выбора условий проведения испытаний. Для полного и всестороннего учета многообразия факторов местом проведения экспериментальных исследований следует выбирать реальные условия эксплуатации. Лишь учитывая все многообразие этих факторов, характеризующих климатические и дорожные условия, интенсивность эксплуатации, методы организации обслуживания и ремонта, квалификацию персонала и др., можно получить достоверную оценку эксплуатационной надежности автомобилей.

Желательно также, чтобы испытания проводились на типовом автотранспортном предприятии с налаженной планово-предупредительной системой ТО и ремонта и отлаженной системой учета индивидуальной работы подвижного состава.

Результаты испытаний по эксплуатационной надежности заносятся в специальную ведомость, в которой фиксируется следующая информация: модель АТС, пробег с начала эксплуатации, сведения о выявленных отказах и неисправностях конструктивных элементов с указанием наработки, выполненные технические воздействия, направленные на восстановление работоспособности систем. Обработка статистической информации может осуществляться с помощью специальных программ: Microsoft Excel, STATISTICA и др. Полученные в результате обработки данные анализируются с целью определения

элементов, лимитирующих надежность исследуемого узла или агрегата, средние наработки до отказа, основные причины возникновения отказов и неисправностей и т.д.



**Рис. 4.1.** Структурная схема экспериментальных исследований по оценке эксплуатационной надежности

### Полигонные испытания

Получение информации о надежности автомобильной техники, являющейся основой оценки их качества, требует все более увеличивающихся испытательных пробегов, затрат труда и что самое главное, длительного времени. В современных условиях для непрерывного совершенствования конструкций, быстрой смены моделей на более надежные требуются все более сжатые сроки.

Необходимость ускорения испытаний привела к развитию *полигонных испытаний* автомобилей и его агрегатов с целью оценки их возможного ресурса и ускоренного выявления слабых мест. Проблема ускорения и форсирования испытаний на полигонах решается путем воздействия на элементы автомобиля увеличенных нагрузок и сокращения их времени.

Обобщение результатов испытаний показывает, что в большинстве случаев базовые детали автомобилей повреждаются не из-за недостаточной статистической прочности,

а в результате накопления усталости в материале от переменных повторяющихся нагрузок. Зародившиеся первоначально усталостные микротрещины в материале под действием многих тысяч циклов переменных нагрузок развиваются в макротрещины и приводят к разрушению. Выявить показатели безотказности и долговечности тех или иных узлов, агрегатов или автомобиля в целом позволяют испытания на специальных дорогах полигона.

*«Шашечная» испытательная дорога* – дорога с неровной твердой поверхностью (булыжная или брусчатая, с неровностями в виде брусьев, уложенных поперек полотна) предназначена, в основном, для ускорения проверки долговечности деталей подвески, рамы и других деталей ходовой части, а также кузова. Испытания автотранспортных средств на таких дорогах сокращает их продолжительность по сравнению эксплуатационными примерно в 20 раз.

*Испытательная дорога с косыми волнами* предназначена для ускоренного испытания на долговечность узлов и деталей рулевого управления. Интенсивность воздействия на детали рулевого привода зависит от угла между направлением движения автомобиля и образующей профиля неровности. Для увеличения нагрузки на детали высоту неровностей (не более 7 см) располагают под углом  $45^\circ$  к оси дороги. При таком расположении неровностей достигаются нагрузки на детали рулевого управления в 3 – 5 раз большие, чем при движении по поперечно расположенным неровностям той же высоты.

*Скоростная испытательная дорога* с асфальтобетонным покрытием, с плавными поворотами и продольными профильными уклонами, характерными для скоростных автомагистралей, предназначена для ресурсных испытаний автомобилей и автопоездов. Движение по ним на максимальных и близких к ним скоростях позволяет в короткий срок оценить надежность таких агрегатов, как двигатель, подшипники трансмиссии и ступиц колес, шин, уплотнителей вращающихся деталей и т.д.

*Дорога с покрытием из крупного булыжника* предназначена для ускоренной проверки прочности конструкции автомобиля, выявления слабых агрегатов, узлов и деталей, что достигается созданием непрерывных динамических нагрузок различной частоты, действующих на колеса в разных плоскостях.

*Ухабистая испытательная дорога* используется для форсированных испытаний на прочность рам, несущих корпусов, кабин, балок мостов.

Характерными деформациями, определяющими долговечность несущих систем автомобиля, считаются изгибы в продольной и поперечной плоскостях и скручивание. Эти деформации выделены и циклически повторяются по определенной программе при движении автомобиля через последовательно расположенные серии прямых, косых и клиновидных холмов.

Полигонные испытания по сравнению с эксплуатационными сокращаются по пробегу в несколько раз (для деталей подвески в 3 – 5 раз, кабин – 6 – 8 раз, рам – 2 – 3 раза и т.д.). Из табл. 4.1 видно, что продолжительность ресурсных полигонных испытаний в 2 – 3, а при их форсировании – в 10 и более раз меньше эксплуатационных до полной реализации ресурса.

**Таблица 4.1. Продолжительность ресурсных полигонных испытаний**

Тип автомобиля	Срок службы до капитально-го ремонта (списания), годы	Продолжительность полигонных ресурсных испытаний, годы	
		нормальных	форсированных*
Легковой	5 – 6	1 – 1,5	0,4 – 0,5
Автобус	8 – 10	2 - 3,5	1,0 – 1,5
Грузовой	10	2 – 3	1,0 – 1,5
Многоцелевой	6	2 – 3	1,5 – 2,0

*\*Форсирование при полигонных испытаниях осуществляется за счет переменных механических нагрузжений, коррозионных воздействий, абразивного воздействия в зонах трения и др.*

## Лекция 5. Числовые характеристики и законы распределения случайной величины наработок до отказа

### Числовые характеристики случайных величин

Для оценки случайной однородной величины используются два вида характеристик: полные и числовые. Полные характеристики – это так называемые *законы распределения*. Для дискретных величин в качестве таковых используют *функцию и ряд распределения* (графически - многоугольник распределения), для непрерывных величин – *функцию и плотность распределения* (графически – кривую распределения).

Любой закон распределения представляет собой некоторую функцию, которая полностью описывает случайную величину. Однако в целом ряде инженерных задач нет необходимости характеризовать случайную величину полностью (исчерпывающим образом). Зачастую вполне достаточно определить отдельные параметры, характеризующие наиболее существенные черты распределения случайной величины. Такие характеристики, назначение которых – выразить в сжатой форме наиболее существенные особенности распределения, называются числовыми характеристиками случайной величины.

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:

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

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

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

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

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

## Законы распределения случайной величины

Результаты испытаний дают возможность найти математическое описание полученных закономерностей, т.е. получить обобщенные зависимости, по которым определяются показатели надежности.

В общем случае в качестве таких обобщенных зависимостей используются интегральные  $F(x)$  и  $P(x)$ , а также 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  $t$ .

Интегральная функция распределения  $F(t)$  показывает вероятность того, что случайная величина наработки  $T$  от начала эксплуатации до появления отказа окажется меньше некоторого заданного значения  $t$ , т.е.

$$F(t) = \text{Вер} (T < t).$$

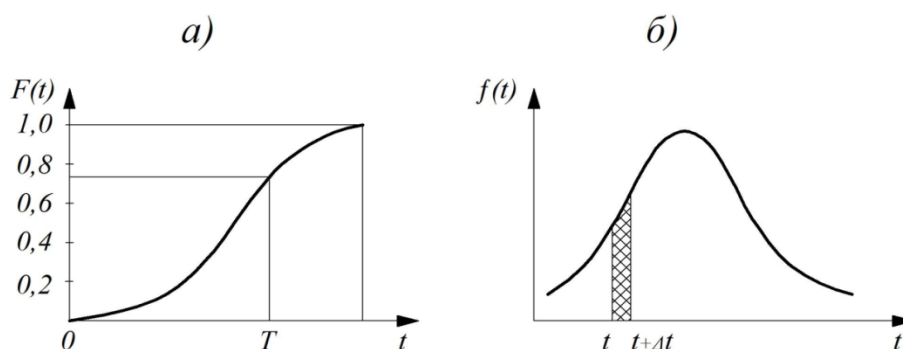
Иными словами эта функция показывает вероятность того, что изделие откажет в заданном интервале наработки.

Интегральная функция  $F(t)$  является неубывающей функцией, т.е.  $F(t + \Delta t) \geq F(t)$  и изменяется в пределах от 0 до 1. Графическая интерпретация интегральной функции распределения случайной величины наработки представлена на рис. 5.1, а.

Теоретические значения интегральных функций  $F(t)$  и  $P(t)$  определяются из выражений:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt; \quad P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - F(t),$$

где  $f(t)$  – дифференциальная функция распределения.



**Рис.5.1.** Графическая интерпретация интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения случайной величины



Дифференциальная функция  $f(t) = dF(t) dt$  характеризует плотность, с которой распределяются значения случайной величины в данной точке и поэтому называется плотностью распределения случайной величины. Ее графическая интерпретация показана на рис.5.1, б.

Физический смысл  $f(t)$  применительно к теории надежности – это вероятность возникновения отказа на достаточной малой наработке. Вероятность того, что наработка до отказа  $T$  попадет в интервал  $(t, t + \Delta t)$ , составит:

$$\text{Вер}(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} f(t) dt$$

Таким образом, функции или законы распределения устанавливают связи между возможными значениями случайных величин и соответствующими им вероятностями.

Если известна одна из функций  $F(t)$  или  $f(t)$ , можно определить любую числовую характеристику надежности. Например, средняя наработка до отказа находится из выражения:

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

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

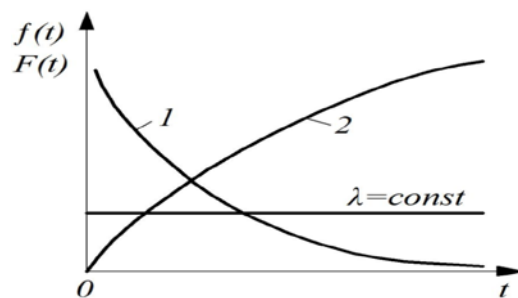
### **Экспоненциальный закон распределения**

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

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

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

Графическая интерпретация экспоненциального распределения представлена на рис. 5.3.



**Рис.5.2.** Дифференциальная (1) и интегральная (2) функции экспоненциального распределения

### Нормальный закон распределения

Нормальное распределение – наиболее часто используемое распределение при статистической оценке показателей надежности. Непрерывная случайная величина  $t$  называется нормально распределенной, если плотность ее вероятности имеет следующий вид:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}},$$

где  $t_{cp}$  и  $\sigma$  – параметры нормального распределения (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение).

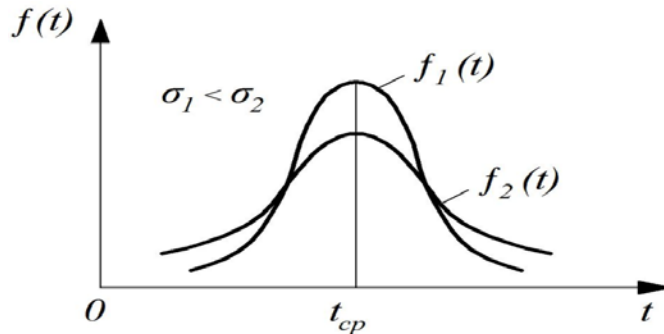


Рис. 5.3. Графическая интерпретация нормального распределения

### Распределение Вейбулла

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

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

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

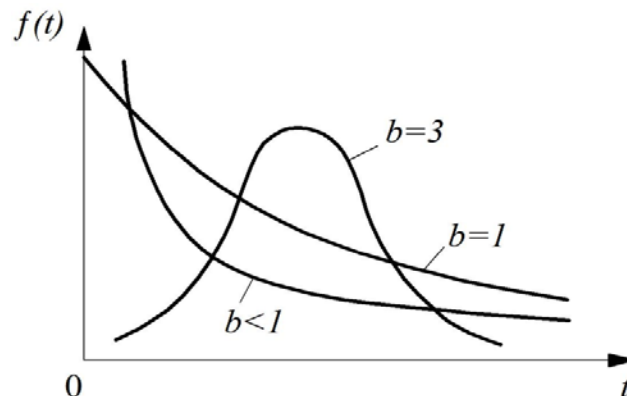


Рис.5.4. Кривые дифференциальной функции  $f(t)$  распределения Вейбулла в зависимости от параметра формы  $b$

## Лекция 6. Статистическая обработка информации о надежности автомобилей.

### Порядок обработки опытных 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 описной ниже последовательности.

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

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

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

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

где  $N$  – объем выборки испытаний.

Находится ширина интервала вариационного ряда  $h$

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

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

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

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

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

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  $3\sigma$ ). 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  $\bar{t} \pm 3\sigma(t)$ .

Если имеется несколько подозреваемых данных, то  $\bar{t}_{\text{ср}}$  и  $\sigma$  определяют без них, а затем проводят проверку каждого по приведенной схеме. В случае, когда проверяемые

данные находятся внутри доверительного интервала, предположение об их аномальности ошибочно, их следует вернуть в выборку и учитывать при дальнейшем анализе.

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

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

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

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  $w_i$ .

Пример. По результатам эксплуатационных наблюдений за долговечностью свечей зажигания у 80 двигателей установлены их наработки до отказа в тыс. км (табл. 6.1). Требуется определить числовые характеристики полученных результатов и построить гистограмму распределения.

Таблица 6.1. Значения наработок свечей зажигания до отказа, тыс. км

21,8; 24,6; 29,2; 32,2; 34,0; 25,7; 27,1; 30,1; 18,6; 28,8; 27,3; 31,2;
26,8; 22,0; 26,2; 33,2; 34,6; 19,4; 13,4; 20,2; 23,1; 32,6; 19,7; 23,9;
22,1; 31,7; 25,5; 26,9; 29,9; 25,7; 30,9; 24,8; 28,6; 21,2; 25,9; 23,8;
23,2; 26,9; 27,9; 31,8; 22,6; 24,1; 21,4; 25,7; 28,8; 23,7; 31,7; 26,6;
26,3; 29,4; 24,7; 21,7; 26,8; 34,9; 40,3; 23,6; 26,5; 27,2; 37,6; 32,9;
35,8; 26,1; 27,6; 22,7; 33,1; 25,5; 32,4; 29,0; 21,9; 24,3; 32,8; 29,1;
26,3; 31,8; 28,9; 35,2; 27,6; 28,3; 22,4; 27,4

По данным табл. 6.1 находим размах выборки

$$R = t_{\text{max}} - t_{\text{min}} = 40,3 - 13,4 = 26,9 \text{ тыс.км.}$$

Определяем число интервалов

$$k = 1 + 3,32 \lg N = 1 + 3,32 \lg 80 \approx 9.$$

Находим ширину интервала

$$h = R/k = 26,9/9 \approx 3 \text{ тыс.км.}$$

Определяем границы интервалов, их средние значения и частоты попаданий опытных данных в интервалы наработок. Полученные результаты сведем в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Параметры интервалов наработок свечей зажигания

Параметр	Интервал								
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й
Границы интервалов, тыс. км	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30	30-33	33-36	36-39
Средины интервалов $\bar{t}_i$ , тыс. км	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	37,5
Опытные частоты $\bar{m}_i$	1	-	4	16	21	17	12	7	2

Значение наработки в первом интервале с наработкой до отказа  $t = 13,4$  тыс.км и опытной частотой  $\bar{m} = 1$  существенно отличается от остальных экспериментальных дан-

ных. Поэтому необходимо проверить ее принадлежность к выборке по критерию  $3\sigma$ , для чего последовательно определяем:

- среднее арифметическое наработки без подозреваемого результата

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i \bar{m}_i = \frac{1}{79} (19,5 \cdot 4 + 22,5 \cdot 16 + 25,5 \cdot 21 + 28,5 \cdot 17 + 31,5 \cdot 12 + 34,5 \cdot 7 + 37,5 \cdot 2) = 27,25 \text{ тыс.км};$$

- среднее квадратическое отклонение наработки

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2 \bar{m}_i}{N - 1}} = \sqrt{\frac{1484,06}{78}} = 4,37 \text{ тыс.км.}$$

- границы допустимого разброса наработок до отказа относительно среднего значения

$$27,25 \pm 3 \cdot 4,37 = [14,14; 40,36].$$

Следовательно, наработка, соответствующая первому интервалу, является аномальной, так как выходит за границы допустимой области рассеивания и должна быть исключена из дальнейшего анализа информации о надежности.

Определяем значение коэффициента вариации:

$$v = \sigma / \bar{t}_{\text{ср}} = 4,37 / 27,25 = 0,16.$$

Определяем опытные частоты  $w_i$  и результаты расчета сводим в табл. 6.3. В таблице количество интервалов  $k$  уменьшилось с девяти до семи, так как из дальнейшего анализа исключен аномальный результат.

Таблица 6.3. Результаты расчета частостей  $w_i$  по интервалам наработки

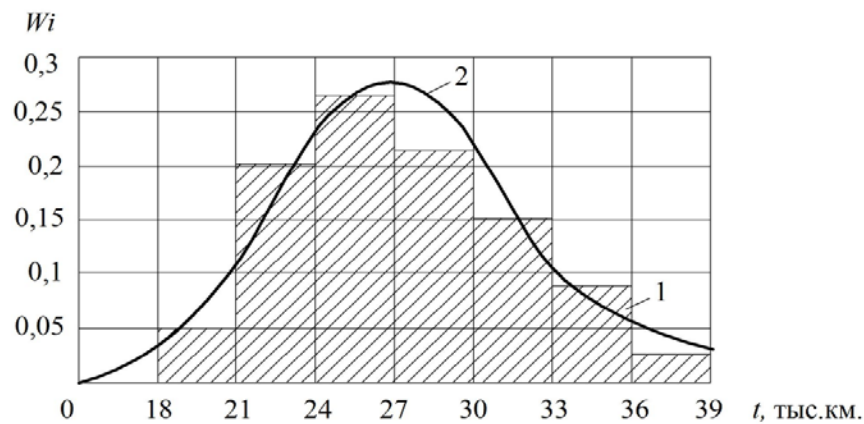
Интервал	Границы интервалов, тыс. км	Середина интервала, тыс. км	Частота $\bar{m}_i$	Частость $w_i$
1-й	18 – 21	19,5	4	0,0506
2-й	21 – 24	22,5	16	0,2025
3-й	24 – 27	25,5	21	0,2658
4-й	27 – 30	28,5	17	0,2152
5-й	30 – 33	31,5	12	0,1519
6-й	33 – 36	34,5	7	0,0887
7-й	36 - 39	37,5	2	0,0253

Определяем значение коэффициента вариации:

$$v = \sigma / \bar{t}_{\text{ср}} = 4,37 / 27,25 = 0,16.$$

Определяем опытные частоты  $w_i$  и результаты расчета сводим в табл. 6.4. В таблице количество интервалов  $k$  уменьшилось с девяти до семи, так как из дальнейшего анализа исключен аномальный результат.

По найденным значениям частот  $w_i$  строим гистограмму распределения (рис.6.1).



**Рис.6.1.** Гистограмма 1 и теоретическая кривая распределения 2 значений наработки свечей зажигания до отказа

В связи с ограниченностью объема выборки обследований в полученном распределении в той или иной мере присутствуют элементы случайности. Только при очень большом числе статистических данных, что практически осуществить очень сложно, эти элементы случайности сглаживаются. Поэтому при обработке статистических данных возникает задача подбора теоретической кривой распределения к полученной гистограмме. Такая теоретическая кривая, описывающая распределение случайной величины математической зависимостью, носит название дифференциальной функции закона распределения или плотностью вероятностей  $f(t)$ . Эта функция не только дает наглядное представление о кривой распределения, но и позволяет определить любую его числовую характеристику.

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 рассматриваемом примере дифференциальная функция распределения (кривая 2) получена с помощью программы Microsoft Excel.

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

Следует, однако, отметить, что между подобранной теоретической кривой и статистическим распределением всегда имеются некоторые расхождения. Поэтому возникает задача проверки гипотезы о том, что исследуемая случайная величина подчиняется выбранному закону распределения, заданному интегральной функцией распределения  $F(t)$  или плотностью распределения  $f(t)$ .

## Лекция 7. Обработка информации о надежности по результатам незавершенных испытаний. Проверка гипотезы о принадлежности результатов исследований выбранному закону распределения

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 незавершенными испытаниями, причинами которых могут быть: одновременность 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 незавершенных испытаниях обработка информации о надежности осуществляется на основе прогнозирования отказов с учётом наработок оставшихся работоспособных элементов к моменту приостановки испытаний. Для автомобильной техники методика такой обработки изложена в РТМ 37.001.006. Обработка результатов испытаний в этом случае отличается от обработки результатов завершенных испытаний особенностями построения статистического ряда распределения. Эти особенности заключаются в следующем.

Так же, как и при завершенных испытаниях определяются число интервалов наработки и их границы. Составляется таблица распределения наработок отказавших и не отказавших из-за приостановки испытаний изделий по интервалам группировки. Вероятность отказа к концу интервала с учётом не отказавших изделий определяется по формуле

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

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.

Прогнозируемое количество отказов  $m_i$  определяется из выражения

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

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

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

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.

Пример. При проведении эксплуатационных испытаний на долговечность тормозных накладок передних колёс 40 автомобилей средней грузоподъёмности были получены и сгруппированы по интервалам наработки до предельного состояния (табл. 6.1). Из выборки 10 автомобилей были сняты с испытаний по разным причинам, не относящимся к отказам тормозных накладок. Требуется определить показатели надёжности тормозных накладок с учётом снятых с испытаний автомобилей.

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

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

Таким же образом рассчитываем  $k_i, m_i, F(t_i)$  для остальных интервалов наработки и результаты сведём в таблицу 7.1. После того как определено прогнозируемое количество отказов  $m_i$  по интервалам наработки, дальнейшая обработка информации проводится так же, как и при завершённых испытаниях.

Таблица 7.1. Результаты обработки информации при незавершённых испытаниях

Интервал, тыс. км	$n_i$	$\sum n_i$	$g_i$	$\sum g_i$	$k_i$	$m_i$	$F(t_i)$
20 – 30	1	1	-	-	1	1	0,024
30 – 40	4	5	1	1	1,026	5,104	0,124
40 – 50	11	16	2	3	1,088	17,072	0,416
50 – 60	9	25	3	6	1,259	28,403	0,693
60 – 70	3	28	3	9	1,799	33,800	0,824
70 – 80	2	30	1	10	2,400	38,600	0,941



## **Проверка гипотез о принадлежности результатов исследований выбранному закону распределения**

Следует отметить, что между подобранной теоретической кривой и статистическим распределением всегда имеются некоторые расхождения. Поэтому возникает задача проверки гипотезы о том, что исследуемая случайная величина подчиняется выбранному закону распределения, которая осуществляется с помощью соответствующих «критериев согласия».

Для проверки правдоподобия гипотезы о принадлежности результатов испытаний по надежности машин выбранному закону распределения чаще всего используется критерий  $\chi^2$  Пирсона и критерий Колмогорова.

### **Критерии $\chi^2$ Пирсона**

Этот критерий нашел широкое применение из-за легкости его использования для проверки согласия любого распределения. Проверка правдоподобия гипотезы о принадлежности результатов испытаний к выбранному закону распределения записывается в виде альтернативного условия

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

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

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

Число степеней свободы определяется из выражения

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

где  $r$  – число параметров теоретического закона распределения.

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

Проверку гипотезы о принадлежности статистического распределения выбранному закону с помощью критерия  $\chi^2$  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;
- определяют опытное значение критерия  $\chi_{\text{опыт.}}^2$ ;

- определяют число степеней свободы ( $S = k - r - 1$ );
- для найденного  $S$  и принятого уровня значимости  $\alpha$  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.

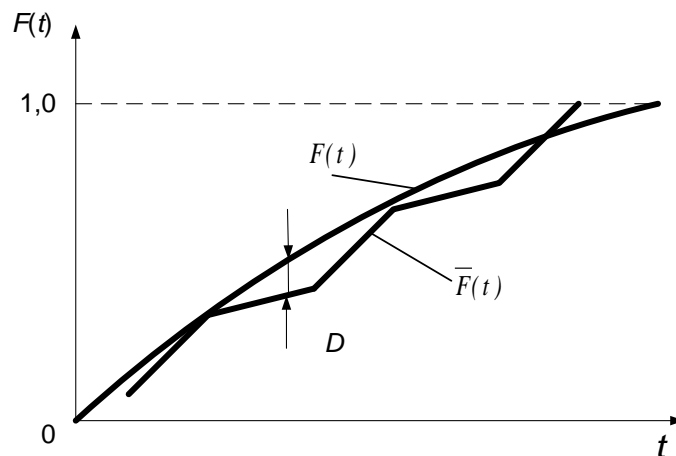
### Критерий Колмогорова

В соответствии с этим критерием определяется максимальное значение модуля разности  $D$  между статистической  $\bar{F}(t)$  и соответствующей ей теоретической  $F(t)$  функциями распределения (рис. 7.1).

$$D = \max |\bar{F}(t) - F(t)|.$$

Использование критерия Колмогорова осуществляется по следующей схеме:

- строится статистическая функция распределения  $\bar{F}(t)$ ;
- по виду гистограммы и значению коэффициента вариации  $v$  подбирается закон распределения;
- строится теоретическая интегральная функция распределения  $F(t)$ ;
- определяется величина  $\lambda = D\sqrt{N}$  и по табл. 7.2 находится вероятность  $P(\lambda)$ .



**Рис. 7.1.** Статистическая  $\bar{F}(t)$  и теоретическая  $F(t)$  функции распределения

*Таблица 7.2. Значения вероятностей  $P(\lambda)$*

$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$
0,0	1,00	0,7	0,711	1,4	0,040
0,1	1,00	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,00	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,00	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,964	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Вероятность  $P(\lambda)$  – это вероятность того, что за счет случайных причин максимальное расхождение между  $\bar{F}(t)$  и  $F(t)$  будет не меньше, чем фактически найденное при их сравнении. Если вероятность  $P(\lambda)$  мала (меньше 0,05 – 0,1), то гипотезу о принадлежности опытных данных к выбранному закону следует отвергнуть как неправдоподобную; при  $P(\lambda) \geq 0,6$  ее можно считать совместимой с опытными данными

## Лекция 8. Методы и средства диагностирования автомобилей

### *Основные понятия и определения*

Широкий диапазон условий и режимов эксплуатации, а также вариация начальных показателей качества машины приводят к значительной вариации ее наработок до возникновения отказов и неисправностей. Поэтому проведение профилактических воздействий при постановке автомобилей в ТО в установленном нормативно-технической документацией объеме приводит, с одной стороны к неполной реализации индивидуальных свойств автомобиля, повышению затрат на профилактические работы, с другой, далеко не в полной мере способствует улучшению его технического состояния. В связи с этим при проведении ТО и ремонта машин весьма важно иметь индивидуальную информацию об их техническом состоянии, скрытых и назревающих отказах, остаточном ресурсе, причинах нарушения работоспособности и т.п. Средством получения такой информации является техническая диагностика.

**Технической диагностикой** (ГОСТ 20911 – 89) называется отрасль знаний, изучающая признаки неисправностей машин, методы, средства и алгоритмы определения их технического состояния без разборки. Из этого определения следует, что техническая диагностика является важным элементом в системе ТО и ремонта автомобилей. Она обосновывает методы и средства периодической проверки надежности и технической готовности агрегатов автомобиля без их разборки, оценивает соответствие параметров технического состояния требуемым значениям, определяет перечень и объемы работ ТО и ремонта с целью обеспечения надежной и безопасной работы.

**Диагностированием** называют процесс определения технического состояния объекта без его разборки путем измерения параметров, характеризующих его состояние, и сопоставления их с нормативными значениями.

Диагностирование не является самостоятельным технологическим процессом, оно является элементом системы ТО и ремонта, обеспечивающим индивидуальной информацией о техническом состоянии объекта. Наличие такой информации позволяет оптимизировать режимы регламентного контроля, оперативно выявлять потребность объекта в ремонте и ТО, проверять качество их выполнения, т.е. комплексно управлять техническим состоянием.

Диагностирование является качественно более совершенной формой контрольных работ и отличается от последних следующими признаками:

- объективностью и достоверностью оценки технического состояния сложных объектов без их разборки с помощью контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструментов;
- возможностью определения технического состояния по выходным параметрам (мощности, топливной экономичности, тормозных качеств и др.);
- появлением условий для прогнозирования технического состояния объекта, его остаточного ресурса.

Результат диагностирования, т.е. заключение о техническом состоянии объекта, называется **диагнозом**. При диагностировании машин возможны различные варианты формирования диагноза. В случае положительного результата диагностирования, т.е. когда объект находится в работоспособном состоянии желательно иметь информацию о запасе его исправной работы (остаточном ресурсе). При отрицательном результате (объект неработоспособен) - заключение о конкретных отказах и неисправностях.

На рис. 8.1 приведена общая схема контроля работоспособности объекта диагностирования с прогнозированием технического состояния и поиском неисправностей.



Рис. 8.1. Схема технического диагностирования автомобилей:  
 $R_d$  – заданная вероятность безотказной работы

## 8.2. Методы и средства диагностирования

Работа автомобиля обусловлена взаимодействием различных по функциональному назначению и принципу действия агрегатов, механизмов и систем. Поэтому при контроле их технического состояния используются самые различные методы и средства диагностирования.

Различают два вида технического диагностирования автомобилей – общее и углубленное (поэлементное).

**Общее диагностирование** – диагностирование объекта по параметрам, характеризующим его техническое состояние по критерию «исправен – неисправен» без выявления конкретных неисправностей. Общее диагностирование используется, в основном, для оценки работоспособности агрегатов, механизмов и систем автомобилей, обеспечивающих безопасность движения (тормозные и рулевые управления, приборы освещения и сигнализации).

**Углубленное диагностирование** – диагностирование технического состояния агрегатов и узлов автомобилей с выявлением места, причины и характера возникших отказов и неисправностей.

Методы диагностирования характеризуются способами измерения и физической сущностью параметров, выбранных для оценки технического состояния автомобилей и их агрегатов, необходимой глубиной постановки диагноза.

В зависимости от вида диагностических параметров в настоящее время используют три основные группы методов объективной диагностики автомобилей и их агрегатов (рис.8.2).



**Рис.8.2.** Классификация методов диагностирования автомобилей

Методы первой группы базируются на определении выходных *параметров рабочих процессов* диагностируемого объекта и параметров эффективности его функционирования по мощностным и топливно-экономическим показателям, тормозному пути или тормозным силам на колесах, механическим потерям в трансмиссии и т.д. Эти параметры определяют основные свойства объекта и дают обобщенную информацию о состоянии автомобиля и его агрегатов. Оценку технического состояния проводят на диагностических стендах или непосредственно на работающем автомобиле.

Методы оценки технического состояния по непосредственному измерению значений *геометрических параметров* определяют элементарные связи между деталями узлов и механизмов. Эти методы дают ограниченную, но конкретную информацию о состоянии

объекта и используются в тех случаях, когда параметры доступны для их непосредственного измерения (зазоры, люфты, свободный ход педалей управления и др.).

При оценке технического состояния по параметрам сопутствующих процессов широко известны следующие методы:

- *по герметичности* рабочих объемов агрегатов и узлов (цилиндропоршневая группа двигателя, пневматический привод тормозных систем, плотность прилегания клапанов, давление в шинах и др.);
- *по интенсивности тепловыделения* (тепловые методы), основанные на выделении тепла и изменении температуры в результате сгорания топлива и работы сил трения деталей двигателя, агрегатов ходовой части, подшипников и других соприкосновений;
- *по физико-химическому составу отработавших эксплуатационных материалов* (проб отработавших масел в двигателе, коробке передач, главной передаче и выхлопных газов, оказывающих отрицательное влияние на окружающую среду).

**Средствами технического диагностирования (СТД)** автомобилей служат специальные приборы и стенды, предназначенные для измерения текущих значений диагностических параметров. Они включают в себя устройства для создания тестовых режимов, датчики, измерительные приборы, устройства отображения результатов измерений, устройства для автоматизации процессов диагностирования. В зависимости от характера взаимодействия с объектом диагностирования СТД подразделяются на:

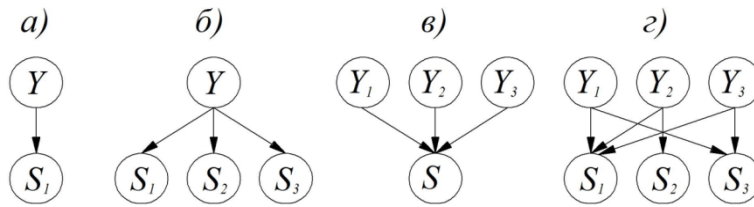
### **8.3. Диагностические параметры**

Техническое состояние машин (агрегатов, узлов, механизмов) определяется, как уже отмечалось, значениями структурных параметров, которые в процессе эксплуатации претерпевают различные изменения. К структурным параметрам, относятся зазоры в соприкосновениях, 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.

**Диагностические параметры** – это косвенные величины, связанные со структурными параметрами, доступные измерению и несущие достаточную информацию о техническом состоянии объекта. Между структурными  $Y$  и диагностическими  $S$  параметрами в зависимости от сложности объекта существуют различные взаимосвязи (рис.8.3).

Эти связи могут быть единичными (рис. 8.3, *а*), если с изменением конкретного структурного параметра изменяется один диагностический; множественными (рис.8.3, *б*), если изменение одного структурного параметра ведет к изменению нескольких диагностических; неопределенными (рис.8.3, *в*), когда один диагностический параметр может изменяться при изменении нескольких структурных; комбинированными (рис.8.3, *г*), когда возможны комбинации вышеперечисленных связей.



**Рис. 8.3.** Взаимосвязи диагностических и структурных параметров

По объему и характеру получаемой информации диагностические параметры подразделяются на общие, частные и взаимозависимые. *Общие параметры* определяют техническое состояние диагностируемого объекта в целом, без локализации конкретных неисправностей. *Частные параметры* указывают на конкретную неисправность и используются при углубленном диагностировании объекта. *Взаимозависимые параметры* оценивают техническое состояние объекта только по совокупности нескольких измеренных параметров.



**Лекция 9. Прогнозирование остаточного ресурса (запаса исправной работы) по диагностической информации о техническом состоянии АТС**