

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 «МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»

для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению **23.04.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»**

Владимир 2015 г.

Введение.

Для современных автотранспортных средств характерны такие направления развития, как повышение скорости и интенсивности их движения, грузоподъемности и вместимости, динамичности, мощности, топливной экономичности, безопасности движения и т.д. Усложнение автомобилей и усиление требований к ним привели к тому, что проблема повышения их эксплуатационной надежности приобрела огромное значение. Ненадежный автомобиль не сможет эффективно функционировать, так как каждый его отказ влечет за собой значительные материальные потери, а в отдельных случаях может иметь и катастрофические последствия.

Анализ характера и причин отказов базируется на глубоких знаниях физической природы их возникновения и развития, т.е. знаний инженерно-физических основ надежности. Процессы, приводящие к потере машиной работоспособного состояния, включают в себя изнашивание, усталостное разрушение конструкционных материалов, пластические деформации, коррозию, старение.

Современные научные исследования в области технической эксплуатации АТС направлены прежде всего на разработку методов и средств обеспечения необходимого уровня их надежности при выполнении транспортной работы с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов. Важным элементом в этих исследованиях является изучение закономерностей изменения показателей качества машин, которые непосредственно связаны с их техническим состоянием.

Дисциплина «Методы обеспечения надежности автотранспортных средств в эксплуатации» является одной из базовых дисциплин при обучении магистров по программе подготовки - 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

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

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

Лекция 1. Общие понятия о надежности автотранспортных средств.

1.1. Определение надежности

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 (ГОСТ 27.002-89).

В современной литературе даны и более простые формулировки понятия надежности. Под *надежностью 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.

1.2. Классификация объектов и их состояний

В теории надежности термин «**объект**» используется в качестве наиболее общего наименования изделия определенного целевого назначения. Объектами автомобиля могут быть агрегаты, системы, узлы, отдельные сборочные единицы, т.е. его конструктивные элементы. Объектом является и сам автомобиль.

В зависимости от того, предусмотрены или не предусмотрены нормативно – технической документацией для данного изделия операции технического обслуживания или ремонта, изделия подразделяются на обслуживаемые, необслуживаемые, ремонтируемые и неремонтируемые. В соответствии с возможностью восстановления утраченной в процессе эксплуатации работоспособного состояния изделия подразделяются на восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Восстанавливаемыми называют такие изделия, для которых восстановление работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Такие изделия после проведения необходимых ремонтных операций продолжают выполнять свои функции. Типичными примерами восстанавливаемых объектов являются двигатели внутреннего сгорания, коробки передач, сцепления и другие механизмы автомобиля.

Невосстанавливаемыми называют изделия, для которых при потере работоспособности проведение ремонтных работ не предусмотрено нормативно-технической документацией. Такие изделия подлежат замене после первого отказа. Примерами таких изде-

лий являются электронные приборы в системах управления современного автомобиля, подшипники качения, тормозные колодки и др.

Большинство объектов автостроения (автомобили, агрегаты, системы) относятся к восстанавливаемым. При этом, если при ремонте объекта, двигателя например, отказавшие элементы заменяются на новые (топливные форсунки, свечи зажигания и т.п.), то двигатель является восстанавливаемым объектом, а заменяемые отказавшие элементы - невосстанавливаемыми.

Эксплуатационные показатели машины по мере увеличения наработки изменяются от начальных до предельных значений, когда ее дальнейшая эксплуатация по техническим, экономическим, экологическим или другим причинам недопустима. Соответственно изменяется и техническое состояние объекта.

Различают следующие пять основных видов технического состояния автомобилей: исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное, предельное.

Исправное состояние – это нормальное и естественное состояние автомобиля, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической документации (НТД). Исправное состояние является наиболее продолжительным в жизненном цикле автомобиля и нормальным с позиции эксплуатации.

Состояние автомобиля, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований НТД, называется **неисправным состоянием** (неисправностью). Переход автомобиля из исправного состояния в неисправное происходит вследствие какого-либо повреждения, при этом его работоспособность сохраняется.

Работоспособный автомобиль в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям НТД, выполнение которых обеспечивает нормальное использование объекта по назначению.

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

Понятие “исправность” шире, чем понятие “работоспособность”. Исправный объект, как правило, работоспособен. Работоспособный объект может быть и “неисправным”, когда возможные повреждения не влияют на его функционирование (например, помято крыло, отслоилась краска, увеличились зазоры и т.п.).

Предельным называется состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Невозможность дальнейшего применения объекта может являться следствием неустранимого нарушения требований безопасности, неустранимого ухода заданных параметров (параметра) за установленные пределы, неустранимого снижения эффективности эксплуатации, необходимостью капитального ремонта.

1.3. 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, ремонтопригодностью 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.

Ремонтопригодность – 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.

1.4. Количественные показатели для оценки надёжности

Показатели надёжности количественно характеризуют, в какой степени конкретному изделию присущи определённые свойства, обуславливающие его надёжность

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

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 γ , выраженной в процентах. Гамма-процентный ресурс легко определяется, если известны кривая вероятности безотказной работы $P(t)$ или плотность распределения наработок до отказа $f(t)$

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 его отказа.

Лекция 2. Организация эксплуатационных испытаний автомобилей на надежность

Для автомобилей, как транспортных средств повышенной опасности, предъявляются ужесточенные требования к показателям надежности. В связи с этим испытания автомобилей на надежность имеют некоторую специфику.

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.

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.2.1.

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. 2.1. Структурная схема экспериментальных исследований по оценке эксплуатационной надежности

Статистическая обработка экспериментальных данных о надежности автотранспортных средств.

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

Если имеется несколько подозреваемых данных, то \bar{t}_{cp} и σ 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}_{cp} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v .

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

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

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 . На рис. 5.2 в качестве примера приведена гистограмма распределения наработок свечей зажигания до отказа, построенная по результатам эксплуатационных наблюдений.

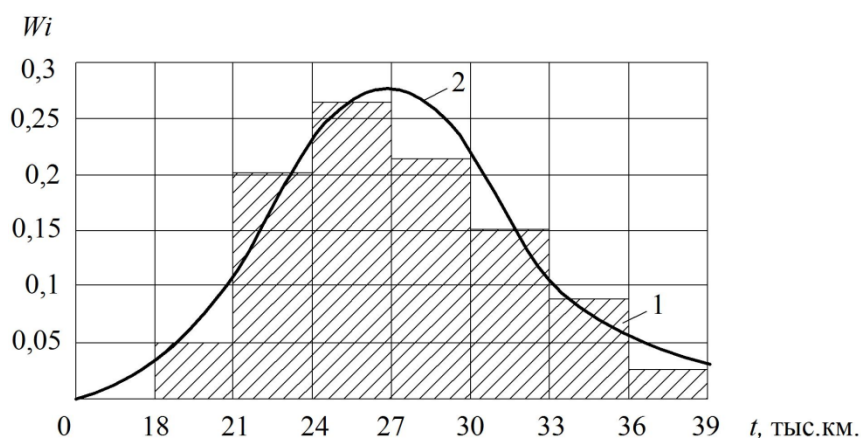


Рис.5.2. Гистограмма 1 и теоретическая кривая распределения 2 значений наработки свечей зажигания до отказа

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 приведенном на рис.6.1 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, которая осуществляется с помощью соответствующих «критериев согласия». Для проверки правдоподобия гипотезы о принадлежности резуль-

татов испытаний по надежности машин выбранному закону распределения чаще всего используется критерий χ^2 Пирсона, который записывается в виде альтернативного условия

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

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

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

Число степеней свободы определяется из выражения

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

где r – число параметров теоретического закона распределения.

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

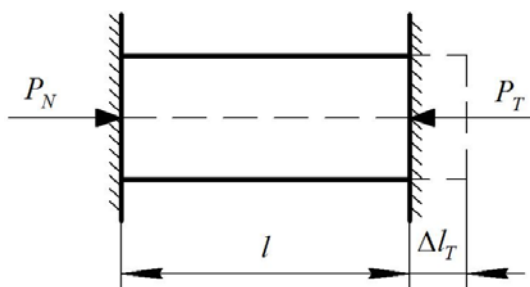
- по построенной гистограмме и коэффициенту вариации v подбирают закон распределения случайной величины;
- находят вероятности попадания случайной величины (теоретические частоты) в каждый интервал статистического ряда;
- определяют опытное значение критерия $\chi_{\text{опыт.}}^2$;
- определяют число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

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

Лекция3. Физико-химические процессы, вызывающие отказы и потерю автомобилем работоспособности

Механические процессы возникают в автомобиле в результате преобразования потребляемых источников энергии и воздействуют на ее конструктивные элементы машины в виде силовых нагрузок. При движении сопряженных деталей, находящихся под воздействием силовых механических нагрузок, в зонах их контакта возникает сопротивление перемещению – **трение**. Результатом взаимодействия сопряженных деталей при трении является их изнашивание, проявляющееся в виде отделения или деформации материала с поверхностей контактирующих деталей.

Тепловые процессы возникают в конструктивных элементах технических систем при больших температурных воздействиях. Это характерно, например, для деталей двигателя внутреннего сгорания, который является основным источником механической энергии транспортных средств. Механизм образования напряжения при тепловом нагружении детали представлен схемой рис.



В случае, когда конструктивный элемент свободен (не ограничен возможностью деформирования), при нагревании в результате тепловой деформации он удлинился бы на величину

$$\Delta l_T = k_T \Delta T l,$$

где k_T – коэффициент линейного расширения материала конструктивного элемента; ΔT – перепад температур при нагревании; l - первоначальная длина конструктивного элемента.

При ограничении деформирования сечение конструктивного элемента не имеет возможности перемещаться. Ограничение перемещения равносильно тому, что к элементу приложили сжимающее усилие P_T , которое сжало бы его на величину Δl_T . Однако, в связи с невозможностью перемещаться ни вправо, ни влево перемещение $\Delta l_T = 0$.

Возникающее в результате теплового воздействия напряжение σ_n определяется из выражении

$$\sigma_n = k_m E \Delta T,$$

где E – модуль продольной упругости материала элемента

Химические процессы наблюдаются при взаимодействии материалов конструктивных элементов машин с агрессивными компонентами внешней среды (влажностью, температурой окружающего воздуха, химически активными компонентами и др.). Такое взаимодействие вызывает коррозионное разрушение, характерное для большого количества металлических деталей машин.

Электрические процессы протекают, прежде всего, в машинах, оборудованных электрическими и электронными системами управления их работой. Функционирование автомобилей, например, невозможно без электрического тока, источником которого является аккумуляторная батарея, для постоянной зарядки которой и питания всех потребителей электрической энергией при движении, служит генератор.

Причины нарушения работоспособности машин

Эксплуатационные нагрузки, воздействуя на элементы конструкции машин, приводят к различным видам повреждений. В начальный период эксплуатации энергия сопротивления материала превышает эксплуатационное нагружение, действующее на конструктивный элемент, поэтому он находится в работоспособном состоянии. С увеличением наработки из-за необратимых изменений в механизмах эксплуатационные нагрузки возрастают. Одновременно происходит накопление внутренних повреждений в материале детали. И в определённый момент времени, когда энергия эксплуатационного нагружения превысит энергию сопротивления материала, элемент конструкции теряет работоспособность и не может выполнять свое функциональное назначение.

В зависимости от вида нагружения в деталях автомобиля возникают различные виды эксплуатационных повреждений (усталость металла, остаточные деформации, старение, коррозия, изнашивание). 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

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, сопровождающиеся тепловыми, окислительными и другими эффектами. Возникновение таких связей и последующий их разрыв приводят к разрушению микрообъемов поверхности и их удалению, т.е. к изнашиванию.

В процессе изнашивания исходный (технологический) рельеф поверхности детали преобразуется в эксплуатационный. При этом устанавливается та шероховатость поверх-

ности, которая соответствует данному процессу разрушения поверхностных слоев в период нормального изнашивания.

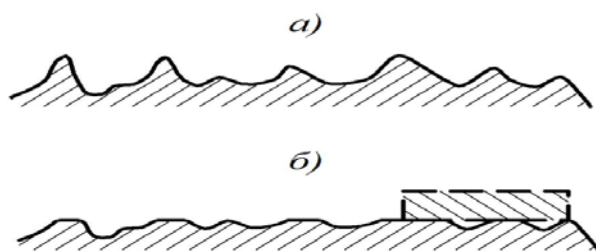


Схема преобразования технологического рельефа поверхности (а) в эксплуатационный (б).

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 микрообъемов 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:

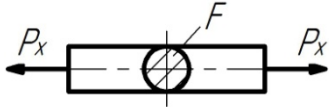
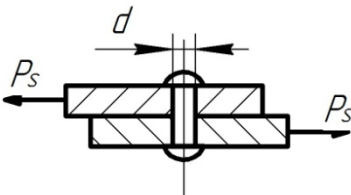
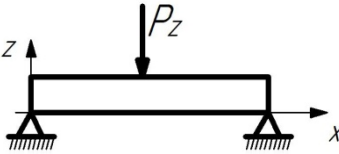
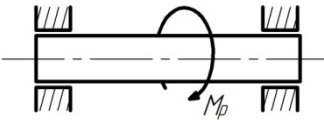
- нормальное напряжение прочности $\sigma_H = P / F$;
- касательное напряжение прочности $\tau_H = P_s / F_s$.

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

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

Большое число деталей машин работает в режиме повторных переменных напряжений. Примером могут служить детали двигателя внутреннего сгорания (валы, шатуны, шестерни, поршни и др.), рамы, рессоры, кузова и кабины автомобилей и многие другие конструктивные элементы. Практика эксплуатации машин показывает, что материалы этих деталей разрушаются, несмотря на то, что напряжения от действия на них нагрузок не превышают предел упругости $\sigma_{уп}$.

Исследования причин такого явления показали, что при многократном действии повторных нагрузок материал детали как бы «устает», его несущая способность исчерпывается, и он разрушается. Причиной этого является постепенное накопление пластической деформации, которое и приводит к разрушению.

Вид деформации	Схема нагружения	Параметр нагружения	Напряжение нагружения
Растяжение (сжатие)		Осевая сила P_x	$\sigma_H = \frac{P_x}{F}$
Сдвиг (срез)		Поперечная сила P_s	$\tau_H = \frac{P_s}{F_s}$
Изгиб		Изгибающий момент M_x	$\sigma_H = \frac{M_x}{W_x}$
Кручение		Крутящий момент M_p	$\sigma_H = \frac{M_p}{W_p}$

Под коррозией понимается разрушение металлов вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. В результате часть металла конструктивных элементов растворяется или переходит в ионное состояние с образованием окислов и солей. Способность металла сопротивляться коррозионному воздействию внешней среды называется *коррозионной стойкостью*.

По механизму взаимодействия материала со средой различают химическую и электрохимическую коррозию.

Химическая коррозия протекает в неэлектрических средах и заключается во взаимодействии металла с компонентами этих сред. Закономерности протекания химической коррозии те же, что и в процессе окисления металлов. На поверхности металла образуется пленка кислорода, адсорбированного или на чистой поверхности (химическая адсорбция), или молекулы кислорода закрепляются на поверхности предыдущего слоя (физическая адсорбция), или увеличивается толщина пленки окисла (реакция окисления).

Электрохимическая коррозия развивается при воздействии на металл электропроводной среды – раствора электролита.

Процесс электрохимической коррозии можно рассматривать как результат работы коррозионных гальванических элементов взаимодействия металла с электролитом (водой, водными растворами солей, кислот, расплавов солей).

Лекция 4. Виды и закономерности изнашивания деталей автомобилей в эксплуатации.

Классификация видов изнашивания

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.1).

Механическое изнашивание происходит только в результате механических воздействий на поверхность трения.

Абразивное изнашивание – наиболее распространенный вид изнашивания. Вызывается наличием на поверхности трения абразивных частиц, попавших с воздухом, топливом и маслом (вследствие недостаточной фильтрации), а также образовавшихся при разрушении микрообъемов трущихся поверхностей. Абразивный износ возможен и тогда, когда твердые составляющие одного из сопряженных тел оказывают режущее или царапающее воздействие на другое сопряженное тело. Этому виду изнашивания подвержены практически все детали транспортных и других машин.

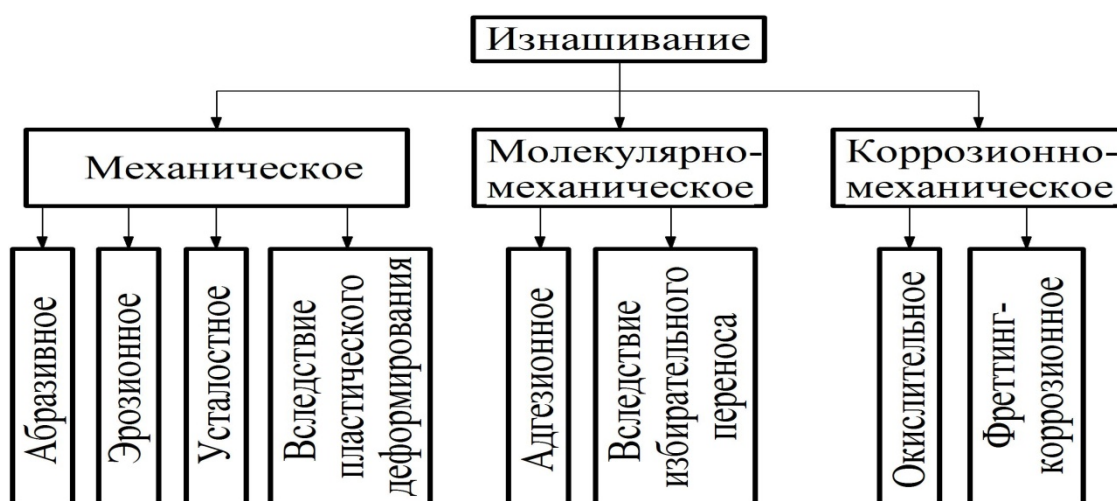


Рис.1. Виды изнашивания деталей

Эрозионное изнашивание – это изнашивание поверхности в результате механического воздействия на нее потока жидкости или газа, а также под влиянием электрических разрядов. В результате эрозионного изнашивания на поверхности трения возникают раковины, каверны, питтинги.

Усталостное изнашивание (контактная усталость) является следствием циклического воздействия на вершины микронеровностей трущихся поверхностей. Такой вид механического изнашивания характерен для большинства сопряжений машин и возникает как при трении качения, так и при трении скольжения. При чистом качении деталей друг относи-

тельно друга усталостное изнашивание проявляется в развитии очагов разрушения поверхностей в виде ямок (питтингов). При трении скольжения усталостное изнашивание происходит вследствие усталости микрообъемов материала контактирующих поверхностей.

При изнашивании вследствие **пластического деформирования** происходит изменение макрогеометрических размеров детали без потери массы под воздействием передаваемой нагрузки или под влиянием сил трения. Пластическое деформирование поверхностей происходит постепенно и сопровождается некоторым уплотнением поверхностных слоев.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при схватывании) возникает в результате одновременного механического и атомно-молекулярного взаимодействия материалов контактирующих поверхностей деталей.

Адгезионное изнашивание связано с возникновением в локальных зонах контакта поверхностей интенсивного молекулярного взаимодействия, силы которого превосходят прочность связей материала поверхностных слоев с основным материалом. При трении металлических пар происходит схватывание (схватывание II рода) по вершинам неровностей контактирующих поверхностей и их последующее разрушение. В результате происходит вырывание частиц материала, их перенос с одной поверхности на другую и абразивное воздействие вновь образовавшихся неровностей на сопряженную деталь.

Избирательный перенос – вид молекулярно-механического изнашивания, возникающий при взаимодействии трущихся поверхностей с образованием защитной, т.н. сервовитной пленки. Такая пленка образуется в зоне трения в результате электрохимических процессов, развивающихся в парах трения: медь-сталь, бронза-сталь, алюминий-чугун и др.

Коррозионно-механическое изнашивание возникает при трении материала, вступившего в химическое взаимодействие с агрессивной внешней средой. Такой средой может быть пленка влаги, в которой растворены кислород, двуокись углерода, двуокись серы, окислы азота, сероводород и другие газы, а также соли кислот и щелочей. В результате такого взаимодействия на поверхностях деталей образуются химические соединения, которые из-за их меньшей по сравнению с основным материалом прочности разрушаются и удаляются с продуктами износа.

При окислительном изнашивании кислород воздуха или содержащийся в смазке образует на поверхности металла окисную пленку, которая при трении разрушается. На обнажившихся чистых поверхностях металла вновь образуются и разрушаются пленки окислов и в него вступают новые, нижние слои металла. Продукты износа состоят из этих окислов

Изнашивание при фреттинг-коррозии – это коррозионно-механическое изнашивание контактирующих тел при их малых колебательных перемещениях при наличии в зоне контакта окисляющей среды. На соприкасающихся поверхностях вначале возникают окисные пленки, которые при относительных колебательных перемещениях разрушаются.

Закономерности 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. 2).

В первый период $t_{п}$, 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.

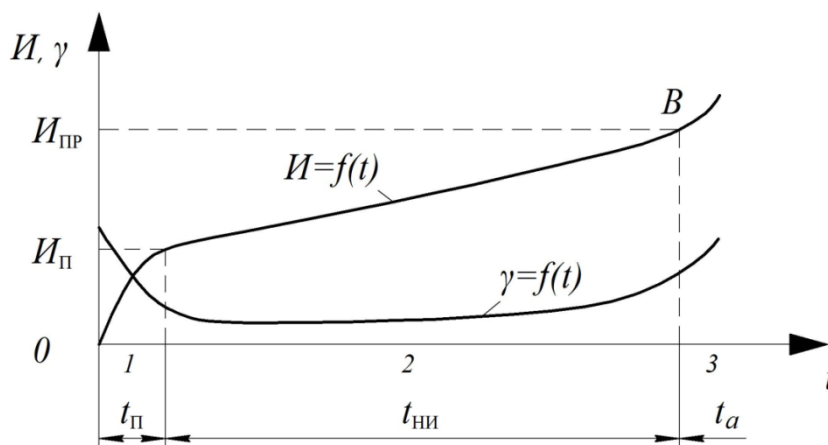


Рис. 2. Кривая изнашивания деталей машин:

$I_{п}$ - 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.

Количественные характеристики процесса изнашивания

Для оценки процесса изнашивания деталей машин используются следующие три показателя: износ, скорость изнашивания и интенсивность изнашивания.

Под износом понимается результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. В зависимости от конструктивных особенностей деталей износ может оценивать изменение под действием сил трения их геометрических размеров (линейный износ), массы (весовой износ) или объема (объемный износ), измеряемое в соответствующих единицах: метрах – м, граммах – г, кубических метрах – м³. Для транспортных машин величину износа оценивают в основном в мкм (1 мкм = 10⁻⁶ м).

Скорость изнашивания γ представляет собой отношение износа U , возникшего за определенный интервал времени t , к величине этого интервала (в часах)

$$\gamma = U/t$$

Интенсивность изнашивания J – это отношение износа U к обусловленному пути трения L , на котором он произошел. Если износ и путь трения измеряются в одинаковых единицах, то интенсивность изнашивания является безразмерной величиной

$$J = U/L$$

Изнашивание деталей происходит преимущественно в период установившегося режима эксплуатации машин (для автомобилей, например, этот период составляет 95% их ресурса). В этот период скорость изнашивания примерно постоянна, поэтому зависимость между величиной износа и наработкой является линейной

$$I = \gamma t,$$

где I – линейный износ, т.е. изменение размера детали, измеренное в направлении, перпендикулярном поверхности трения; γ – скорость изнашивания; t – наработка.

С учетом приработки эта зависимость выглядит следующим образом:

$$I = I_{\text{п}} + \gamma t,$$

где $I_{\text{п}}$ – величина износа за период приработки.

Предельные и допустимые износы

Предельное значение износа соответствует состоянию изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или экономически нецелесообразна. Такая величина износа характеризует выход изделия из области работоспособности. Это может относиться как к машине в целом, так и к ее агрегатам, узлам и деталям. Так, например, необходимость выполнения регулировочных работ обуславливается достижением предельных зазоров в сопряжениях; замена или ремонт детали диктуется износом хотя бы одной ее рабочей поверхности до предельного значения.

Предельное состояние машины или агрегата назначается, в основном, исходя из допустимых отклонений выходного параметра на основании данных эксплуатации и ремонта. Износ, например, таких деталей, как гильзы цилиндров, поршни, поршневые кольца, коленчатый вал и другие трущиеся детали двигателей неизбежно приводит к снижению эффективной мощности и повышению удельного расхода топлива.

Для современных машин часто целесообразно устанавливать нормативы на предельные состояния не только по выходным параметрам, но и по степени повреждения их отдельных элементов. Так на целый ряд деталей и агрегатов автомобиля предельные состояния устанавливают по износу, деформациям, величине возникающих трещин, изменениям геометрической формы и т.д.

Допустимый – это такой износ изделия, при котором оно не может выйти из строя в течение очередного межремонтного периода. Его значение может быть установлено при известной кривой изнашивания и установленного норматива предельного износа детали. Нарботка детали до предельного состояния $t_{пр}$ определяется по формуле

$$t_{пр} = I_{пр} / \gamma,$$

где $I_{пр}$ – предельное значение износа; γ – скорость изнашивания.

За время межремонтного периода $t_{мр}$ износ детали изменится на величину

$$I_{мр} = \gamma \cdot t_{мр}$$

Допустимое значение износа $I_{доп}$, начиная с которого необходимо восстанавливать или заменять деталь, при известной межремонтной наработке $t_{мр}$ будет равно

$$I_{доп} = I_{пр} - \gamma t_{мр}.$$

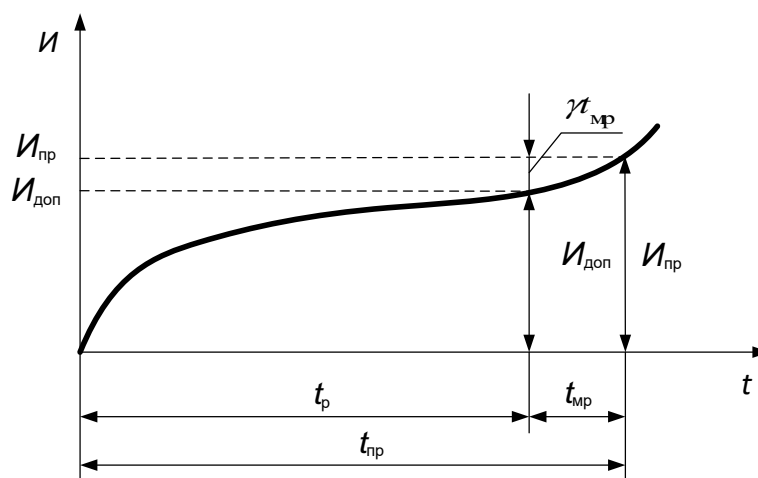


Рис. 3.9. Схема определения допустимого износа

Лекция 5. Обеспечение надежности машин при их проектировании и производстве

Конструктивные методы обеспечения надежности

Повышение надежности машин при конструировании направлено, главным образом, на увеличение их сопротивляемости внешним воздействиям и включает ряд мероприятий, выполнение которых способствует решению поставленной задачи.

Оптимизация компоновочного решения машины

С позиции надежности оптимальной следует считать такое компоновочное решение машины, при котором достигаются высокие показатели ее долговечности и безотказности при минимальных затратах на эксплуатацию. Для решения этой задачи рекомендуется соблюдение следующих основных принципов компоновки машины.

1. Выбор принципиально простых конструктивных схем с минимальным числом структурных единиц и конструктивных элементов машины. С ростом сложности и увеличением числа конструктивных элементов существенно снижаются показатели безотказной работы машины.

2. Ограничение в конструктивной схеме новых, не проверенных и не апробированных в эксплуатации конструктивных элементов и структурных единиц.

3. Замена конструктивных элементов с низкими показателями надежности, выявленными при эксплуатации аналогов разрабатываемой машины, более надежными.

4. Максимальное использование в разрабатываемой конструкции модульной компоновки машины

5. Обеспечение возможности постоянного или периодического определения технического состояния машины, ее узлов и механизмов в эксплуатации методами диагностирования.

Рациональный выбор материалов деталей пар трения

Достаточно сложной задачей при конструировании машин является подбор износостойких материалов для деталей узлов трения. Рациональный выбор материалов должен гарантировать, что при нормальных условиях работы не возникнут недопустимые виды изнашивания (например, молекулярное схватывание). При выборе таких материалов к ним наряду с высокой износостойкостью предъявляется ряд требований, к которым, прежде всего, относятся:

- легкая прирабатываемость;
- высокая износостойкость при нормальных условиях работы;
- низкий коэффициент трения;
- отсутствие молекулярного схватывания в условиях несовершенной смазки.

Оптимизация геометрической формы деталей узлов трения

Практика эксплуатации автомобилей показывает, что геометрическая форма деталей узлов трения, как правило, не является оптимальной и приобретает ее только после завершения определенного периода изнашивания. В этот период происходит преобразование технологического рельефа поверхностей сопряженных деталей в эксплуатационный, т.е. их микро- и макрогеометрическая приработка. В результате достигается опти-

мальная шероховатость и оптимальная геометрическая форма деталей узла трения, характерного для периода нормального изнашивания. При этом продолжительность периода приработки, которая определяется не только материалами деталей, но и в значительной степени точностью обработки сопряженных поверхностей, их геометрической формой, оказывает существенное влияние на ресурс узла трения.

В связи с этим минимизация периода приработки, непосредственно связанная с приданием поверхностям деталей кинематической пары формы, соответствующей форме периода нормального изнашивания уже в процессе их разработки, является одним из направлений повышения их надежности.

На рис.1 показана графическая интерпретация изменения ресурса узла трения после модернизации его геометрической формы. В результате, как следует из схемы, продолжительность периода приработки $t_{\text{пр}}$ уменьшилась до значения $t'_{\text{пр}}$, а ресурс $T_{\text{р}}$ существенно увеличился ($T'_{\text{р}}$).

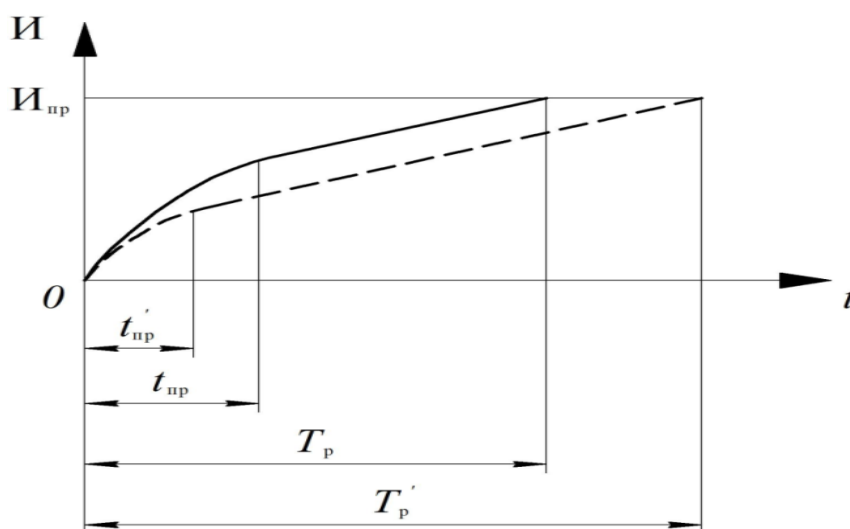


Рис. 1. Схема изменения процесса изнашивания в результате изменения геометрической формы

Изменением формы коленчатых валов, клапанов, поршней, блока цилиндров и других деталей существенно повышается ресурс двигателей. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) с их широкими функциональными возможностями позволяют существенно ускорить процесс оптимизации геометрических форм элементов самых различных агрегатов и узлов автомобиля.

Обеспечение нормальных условий работы деталей

Для обеспечения нормальных условий работы деталей необходимо, прежде всего, определить рациональные размеры контактирующих поверхностей, их геометрическую форму, рассчитать действующие нагрузки и другие параметры сопряжений, обеспечивающие *наименьшие потери на трение*.

Для обеспечения минимальных потерь на трение при конструировании стремятся вместо подшипников скольжения, если позволяют условия, использовать подшипники ка-

чения. Это повышает надежность узла, снижает пусковые моменты, уменьшает расход цветных металлов, упрощает обслуживание. Вместе с тем следует учитывать, что подшипники качения выдерживают меньшие скорости и нагрузки, снижается их сопротивляемость вибрациям.

Существенное влияние на интенсивность и характер изнашивания оказывает температурные условия рабочих процессов. В связи с этим обеспечение *оптимальных тепловых режимов* работы различных сопряжений, узлов и агрегатов автомобилей играет существенную роль в повышении их долговечности. Оптимизация теплового режима работы с целью минимизации интенсивности изнашивания особенно важна для такого нагруженного агрегата, как двигатель.

Регулирование температуры нагрева деталей двигателя осуществляется за счет охлаждения жидкостей (или воздуха) и картерного масла, а также за счет различных конструктивных решений. К ним, прежде всего, следует отнести: создание теплоизолирующих прорезей (в головках блока и поршнях), заполнение пустотелых впускных клапанов металлическим натрием, использование управляемых электроникой термостатов, охлаждение днищ поршней струей масла из специальных форсунок в блоке цилиндров.

К мероприятиям по обеспечению нормальных условий работы относятся конструкторские разработки по *оптимизации смазки трущихся поверхностей*. В конструкциях современных машин стремятся обеспечить жидкостное или, по крайней мере, граничное трение сопряженных деталей, снижающих интенсивность их изнашивания. У современных двигателей все основные сопряжения смазываются под давлением. Этот прогрессивный вид смазки все шире используется и в других механизмах автомобиля, например, в трансмиссии.

Обеспечение оптимальных условий изнашивания в зоне трения предусматривает *создание высококачественных устройств для очистки масел, топлива и воздуха*. Эффективность фильтров очистки зависит, в основном, от качества и количества используемой в них специальной (пропитанной и термически обработанной) фильтрующей бумаги и оценивается тонкостью очистки, т.е. размером задерживаемых микрочастиц загрязнения.

Особо высокие требования предъявляются в настоящее время к масляным фильтрам, которые наряду с высокой степенью очистки (до 10 - 20 мкм) должны обеспечивать гарантированное прохождение масла через фильтрующий элемент, устойчивость против давления, надежную работу обратного и перепускного клапанов. Применение таких фильтров позволяет повысить ресурс двигателя на 20 – 25 %.

Повышение уровня ремонтпригодности

Ремонтпригодность, как уже отмечалось, является одним из основных свойств надежности машин. Поэтому совершенствование конструкций машин в направлении повышения уровня их ремонтпригодности представляется весьма перспективным направлением повышения их надежности. От того, насколько автомобиль приспособлен к проведению ремонтных и профилактических работ, в значительной степени зависят затраты на его эксплуатацию

Резервирование элементов и систем

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

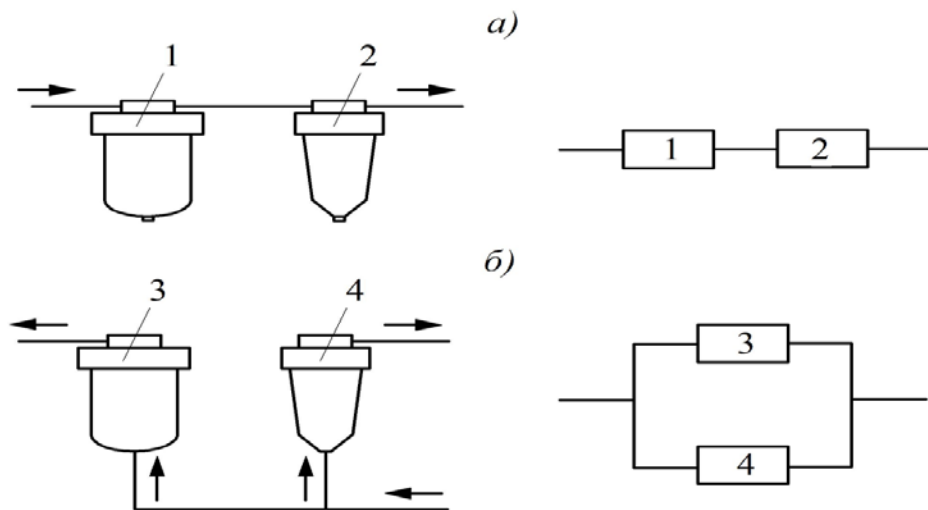


Рис. 2. Схемы соединения фильтров:
а - в системе питания; б - в системе смазки

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

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

Соединение масляных фильтров грубой 3 и тонкой 4 очистки системы смазки двигателя конструктивно выполнено по другой схеме (рис. 2, б). Фильтры работают независимо один от другого, и отказ одного из них не отражается на работе другого. Такое включение фильтров считается параллельным. Вероятность безотказной работы фильтров при такой системе соединения определяется по формуле

$$P(t) = 1 - (1 - P_3)(1 - P_4),$$

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

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

В соответствии с ГОСТ 27.002 – 89 **резервирование** – это способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций. Если избыточность достигается использованием дополнительных элементов структуры объекта, то такое резервирование называют структурным.

Лекция 5. Способы получения информации о надежности машин.

Источниками информации о надежности машин являются расчеты при их проектировании, различные виды стендовых и дорожных испытаний, статистические данные об отказах конструктивных элементов, характере и причинах их возникновения, наработках до предельного состояния и других показателях эксплуатационной надежности.

На начальной стадии создания машины (проектирование) основным источником об уровне ожидаемой надежности являются результаты конструкторских расчетов и статистические данные об его аналогах. В настоящее время разработано достаточно много методик расчетов конструктивных элементов и их соединений на прочность, долговечность, износостойкость материалов, выносливость при различных режимах их нагружения. Так, например, проводятся прогнозные расчеты надежности валов и осей, зубчатых и червячных механизмов, подшипников скольжения и качения, разъемных и неразъемных соединений, уплотнительных элементов и др.

5.1. Оценка надежности машин с использованием структурных схем

При прогнозном расчете и анализе показателей надежности узлов, агрегатов и машин в целом широко используется *метод структурных схем*. Сущность метода заключается в том, что выполняющие определенные функции конструктивные элементы технической системы или отдельного узла в результате их последовательного или параллельного соединения представляются в виде расчетной конструктивной схемы.

Последовательным называют схему соединения конструктивных элементов, при которой необходимым и достаточным условием нарушения работоспособности является отказ хотя бы одного из них (рис.5.1,а). Нарботка до отказа системы при таком соединении равна наработке до отказа того элемента, у которого она окажется минимальной:

$$t_c = \min (t_i), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где n – количество элементов системы.

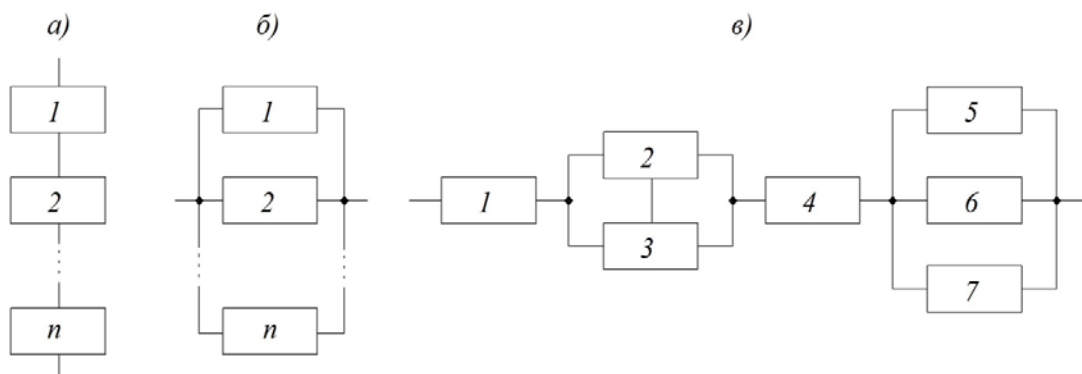


Рис. 5.1. Схемы соединения конструктивных элементов:

а – последовательное; б – параллельное; в – смешанное

Вероятность безотказной работы системы, состоящей из n последовательно соединенных элементов, в соответствии с теоремой умножения независимых событий равна

$$P(t) = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i,$$

где P_1, P_2, \dots, P_n – вероятности безотказной работы элементов, входящих в систему, за наработку t .

Параллельным называют схему соединения, работоспособность которой нарушается при отказе всех входящих в нее конструктивных элементов (рис.5.1,б). Нарботка до отказа такой системы равна максимальной наработке входящих в нее элементов

$$t_c = \max(t_i), i = 1, 2, \dots, n.$$

Вероятность безотказной работы системы при параллельном соединении элементов составляет

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i).$$

В реальных технических системах схема соединения конструктивных элементов чаще всего представлена в виде совокупности последовательных и параллельных подсистем (рис.5.1,в). Такая схема соединения носит название *смешанной*. При расчете надежности при такой схеме соединения сначала определяются вероятности безотказной работы ее подсистем, а затем – вероятность безотказной работы всей технической системы. Например, для схемы соединения, показанной на рис. 5.1,в, вероятность безотказной работы составит

$$P(t) = P_1(t)\{1 - P_2(t)\}[1 - P_3(t)]\} P_4(t)\{1 - [1 - P_5(t)] [1 - P_6(t)] [1 - P_7(t)]\}.$$

5.2. Цель и виды испытаний машин

Испытания на надежность являются обязательным и неотъемлемым элементом разработки и изготовления машин. Высокого качества невозможно достичь без проведения всесторонних испытаний агрегатов, узлов, отдельных деталей, а также создаваемой машины в целом. Испытания являются источником достоверных сведений о качестве любой технической системы на всех этапах ее жизненного цикла, начиная с разработки проекта и заканчивая утилизацией

В зависимости от целей и стадий их проведения они подразделяются на доводочные, исследовательские, приемочные, квалификационные, контрольные и др.

Доводочные испытания выполняют для оценки влияния на надежность различных изменений, вносимых при доводке конструкции изделия. Проводят их до тех пор, пока надежность образца не достигнет необходимого, заданного при проектировании уровня. На рис. 5.2 схематично показаны результаты доводки узла, состоящего из четырех деталей. После проведения необходимых конструкторско-технологических мероприятий γ - процентные ресурсы всех деталей доведены до заданного γ - процентного ресурса проектируемого узла.

Исследовательские испытания проводят для углубленного изучения свойств изделий и факторов, влияющих на уровень надежности. К задачам таких испытаний относятся: определение законов распределения наработок до отказов; изучение закономерностей развития процессов изнашивания и разрушения; сравнение показателей долговечности или безотказности изделий, изготовленных с применением различных технологий; исследование допустимых напряжений для конкретных сопряжений и др.

Доводочные и исследовательские испытания являются основой технического прогресса в машиностроении, так как они во многом определяют эффективность новой машины и ее потребительские свойства.

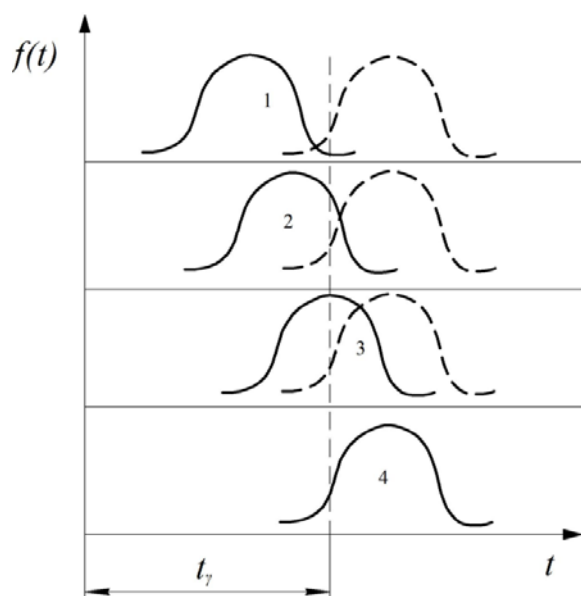


Рис. 5.2. Распределение ресурсов деталей узла:

— — до доводочных испытаний; - - - - после доводки;
 t_γ — заданный γ -процентный ресурс узла

Приемочные испытания проводят с целью определения допустимости серийного производства изделий по показателям надежности, т.е. они являются барьером для задержки изделий, уровень надежности которых не в полной мере соответствует требованиям производства.

Квалификационные (установочные) испытания проводятся для проверки эффективности мероприятий по устранению дефектов, выявленных в процессе приемочных испытаний. Оценивается соответствие образцов установочной серии техническим условиям и другой нормативно - технической документации.

Контрольные испытания проводятся с целью оценки соответствия машин техническим условиям, стандартам и требованиям конструкторской документации. Проверяется стабильность качества изготовления, сборки, регулировок и пр. Проверяется надежность (безотказность) изделий в пределах определенной наработки (не менее гарантийной), а также эффективность конструкторских и технологических мероприятий, проведенных на производстве для устранения ранее выявленных при контроле недостатков.

Наряду с испытаниями, проводимыми для подготовки машин к серийному производству (доводочные, приемочные, исследовательские и др.) обязательным этапом яв-

ляются их испытания в процессе эксплуатации. Именно эксплуатация является главной проверкой, как надежности, так и функциональных свойств любых изделий машиностроения, выявляющей все недостатки, в том числе не проявившиеся в процессе производства и ранее выполненных испытаниях.

5.3. Эксплуатационные испытания автомобилей на надежность

Для автомобилей, как транспортных средств повышенной опасности, предъявляются ужесточенные требования к показателям надежности. В связи с этим испытания автомобилей на надежность имеют некоторую специфику.

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.

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.5.3.

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. 5.3. Структурная схема экспериментальных исследований по оценке эксплуатационной надежности

5.4. 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.

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. 5.2 видно, что продолжительность ресурсных полигонных испытаний в 2 – 3, а при их форсировании – в 10 и более раз меньше эксплуатационных до полной реализации ресурса.

Лекция 6. Числовые характеристики и законы распределения случайной величины наработок до отказа.

6.1. Числовые характеристики случайных величин

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

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

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

6.2. Законы распределения случайных величин

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 функции распределения случайной величины (законы распределения) $F(x)$ и $P(x)$. Для автотранспортной техники в качестве случайной величины чаще всего используют значение наработки t (до 1 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.

Графическая интерпретация интегральной функции распределения случайной величины наработки представлена на рис. 6.1, а.

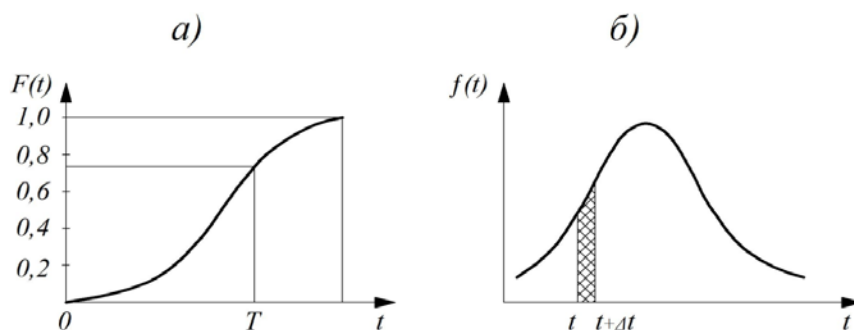


Рис.6.1. Графическая интерпретация интегральной (а) и дифференциальной (б) функций распределения случайной величины

При обработке информации о надежности автомобилей наиболее широкое распространение получили следующие законы распределения: *экспоненциальный, нормальный, 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 λ – параметр закона распределения; e – основание натурального логарифма ($e = 2,7183$); t – случайная величина наработки.

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

В общем случае экспоненциальным распределением описываются события, которые возникают с постоянной интенсивностью ($\lambda = \text{const}$) и независимо друг от друга (наработки деталей с внезапным характером отказов, трудоемкости их устранения, интервалы времени между поступлениями автомобилей в зону ремонта и др.). Графическая интерпретация экспоненциального распределения представлена на рис. 6.2.

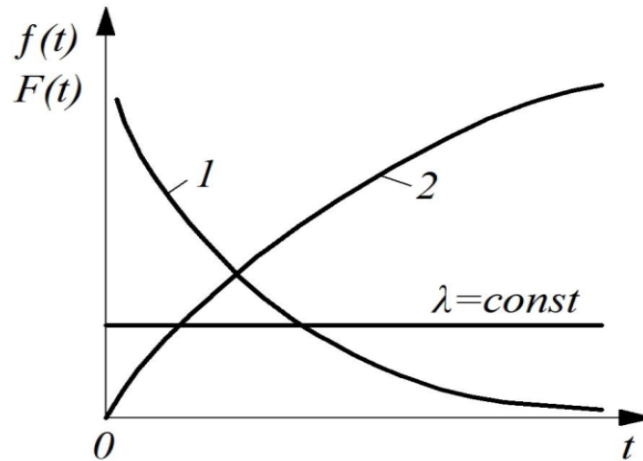


Рис.6.2. Дифференциальная (1) и интегральная (2) функции экспоненциального распределения

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

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

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

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

Среднее квадратическое отклонение для экспоненциального закона распределения:

$$\sigma = t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}.$$

Коэффициент вариации:

$$\nu = \frac{\sigma}{t_{\text{ср}}} = 1.$$

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:

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

где $t_{\text{ср}}$ и σ – параметры нормального распределения (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение).

Нормальный закон является двухпараметрическим распределением с параметрами $t_{\text{ср}}$, характеризующим положение распределения на оси абсцисс, и σ , оценивающим рассеивание случайной величины относительно среднего значения.

На рис. 6.3 представлена графическая интерпретация кривых нормального распределения с одинаковыми значениями $t_{\text{ср}}$ и различными величинами σ . Интегральная функция нормального распределения описывается выражением:

$$F(t) = f(t)dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-t_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}} dt.$$

При решении практических задач надежности для определения значений $f(t)$ и $F(t)$ прибегают к центрированию и нормированию нормального распределения.

Под центрированием понимается перенос центра группирования случайной величины $t_{\text{ср}}$ в начало координат. Тогда $t_{\text{ср}} = 0$, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 1$. Если ввести новую переменную $z = \frac{t-t_{\text{ср}}}{\sigma}$, то такая операция называется нормированием. В результате центрирования и нормирования получим новое дифференциальное распределение случайной величины z :

$$f_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}.$$

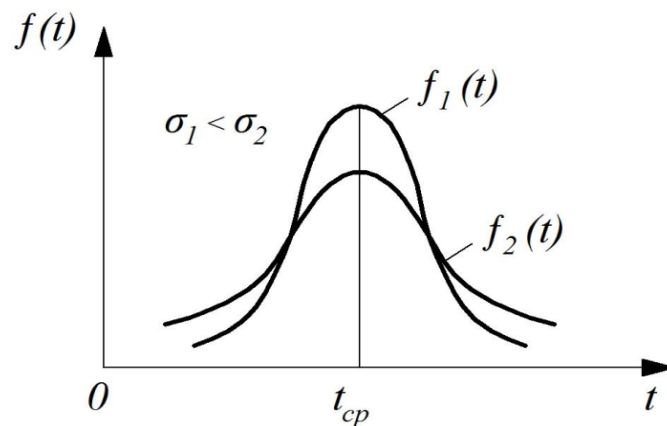


Рис. 6.3. Графическая интерпретация нормального распределения

Функция $f_0(z)$ является однопараметрической и ее значения приведены в таблицах нормального распределения. Интегральная функция распределения случайной величины в результате центрирования и нормирования примет вид:

$$F_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Функция $F_0(z)$, как и всякая функция распределения, обладает следующими свойствами:

$$F(-\infty) = 0; F(+\infty) = 1; F(z) - \text{неубывающая функция.}$$

Кроме того, в связи с симметричностью этого распределения с параметрами $t_{\text{cp}} = 0$ и $\sigma = 1$ относительно начала координат следует, что:

$$F(-z) = 1 - F(z).$$

После того, как найдены значения $f_0(z)$ и $F_0(z)$ необходимо выполнить обратный переход к исходным функциям $f(t)$ и $F(t)$, который осуществляется по формулам:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{t - t_{\text{cp}}}{\sigma}\right).$$

$$F(t) = F_0\left(\frac{t - t_{\text{cp}}}{\sigma}\right).$$

Для упрощения расчетов функции $F(t)$ при статистической обработке информации используется функция Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Функция $\Phi(z)$ также как и функция $f_0(z)$ протабулирована. Табличное значение функции Лапласа показывает вероятность попадания значений случайной величины в интервал $(0; t)$.

Теоретическая вероятность попадания случайной величины t в интервал $(t_1; t_2)$ при нормальном распределении с использованием стандартной функции Лапласа определяется по формуле:

$$P(t_1 < t < t_2) = \Phi\left(\frac{t_2 - t_{\text{cp}}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_1 - t_{\text{cp}}}{\sigma}\right).$$

Вероятности отказа и безотказной работы с использованием функции Лапласа определяются из выражений:

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

Нормальный закон распределения хорошо описывает процессы, на которые влияют большое число независимых факторов, ни один из которых не оказывает на них преобладающего влияния. Ему подчиняются износные отказы, ресурсы агрегатов и отдельных деталей, люфты и зазоры в сочленениях, трудоемкости обслуживания и др.

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.

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

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

При $b < 1$ – это убывающая функция; при $b \approx 1$ – совпадает с экспонентой; при $b \approx 3,0$ – совпадает с нормальным распределением (рис.6.4).

Оценка математического ожидания и среднего квадратического отклонения случайной величины, распределенной по этому закону, может определяться различными методами (последовательного приближения на ЭВМ, максимального правдоподобия и др.). Для практических целей используется приближенный метод, в соответствии с которым параметры распределения определяются по формулам:

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

где k_B и q_B – коэффициенты, определяемые из выражений:

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

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

Коэффициент вариации случайной величины t определяется по формуле:

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

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

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

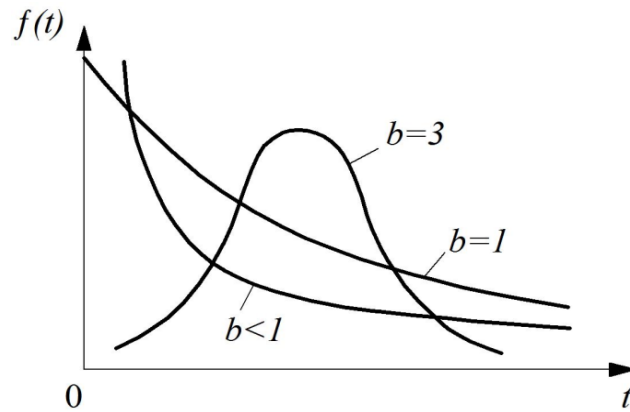


Рис.6.4. Кривые дифференциальной функции $f(t)$ распределения Вейбулла в зависимости от параметра формы b

Для удобства вычислений при определении параметра формы b , а также коэффициентов k_B и q_B в зависимости от коэффициента вариации v в работах по математической статистике имеются специальные таблицы.

Если t представляет собой наработку до отказа, то вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность возникновения отказа $F(t)$ до этой наработки находятся по формулам:

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

Интенсивность отказов определяется выражением:

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

Лекция 7. Обеспечения надежности АТС в эксплуатации методами ТО и ремонта.

Техническое обслуживание автомобилей

Техническое обслуживание представляет собой комплекс работ, направленных на поддержание объекта в работоспособном состоянии в процессе его эксплуатации и обеспечение его надежной работы. Это достигается, во-первых, предупреждением возникновения отказов за счет предупредительного контроля и доведения параметров технического состояния автомобиля до номинальных или близких к ним значений; во-вторых, предупреждением отказов в результате уменьшения интенсивности изменения параметров технического состояния, снижением темпа изнашивания сопряженных деталей.

Зависимость технического состояния автомобилей от большого числа факторов обуславливает необходимость обоснования рациональных режимов их технического обслуживания, под которыми понимаются периодичности ТО, объемы работ и трудоемкости их выполнения.

Периодичность ТО на автотранспортных предприятиях в зависимости от конкретных условий может определяться:

- по допустимому уровню безотказности;
- по закономерности изменения параметра технического состояния и его допустимому значению;
- по минимуму суммарных удельных затрат на ТО и ремонт (технико-экономический метод);
- по диагностической информации о техническом состоянии объекта.

Периодичность ТО по **допустимому уровню безотказности** определяется из условия, что вероятность безотказной работы изделия не может быть ниже заданной величины R_d , называемой риском:

$$P_0(t_i \geq t_0) \geq R_0 = \gamma,$$

где P_0 – допустимая вероятность безотказной работы; t_i – наработка на отказ; t_0 – периодичность ТО; γ – заданная вероятность безотказной работы.

Периодичность ТО в соответствии с этим методом принимают обычно равной значению гамма-процентного ресурса, то есть $t_0 = t_\gamma$ (рис. 8.2). Такая периодичность обеспечивает высокий уровень безотказной работы автомобиля на наработке между очередными профилактическими обслуживаниями.

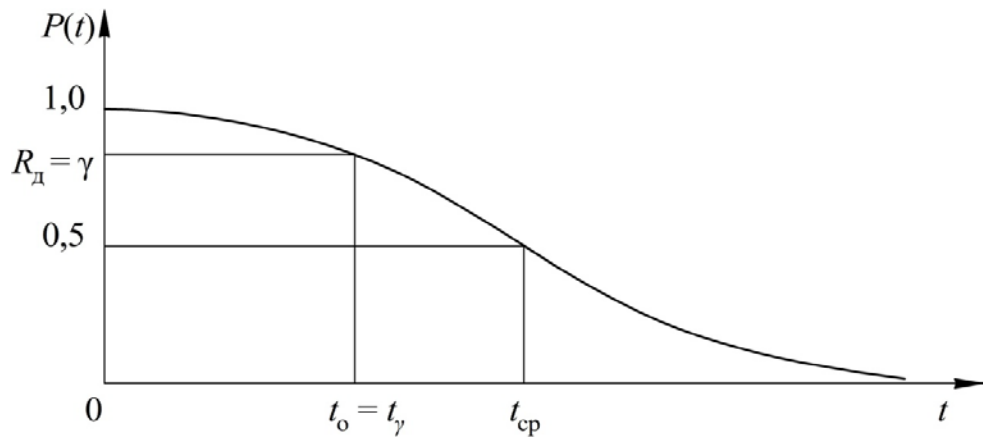


Рис. 8.2. Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Метод определения периодичности ТО по **закономерности изменения параметра технического состояния и его допустимому значению** является статически – аналитическим.

Изменение любого параметра технического состояния у группы автомобилей в зависимости от множества факторов, оказывающих влияние на интенсивность этого процесса α , происходит в широких пределах (рис. 8.3, кривые 1 – 7).

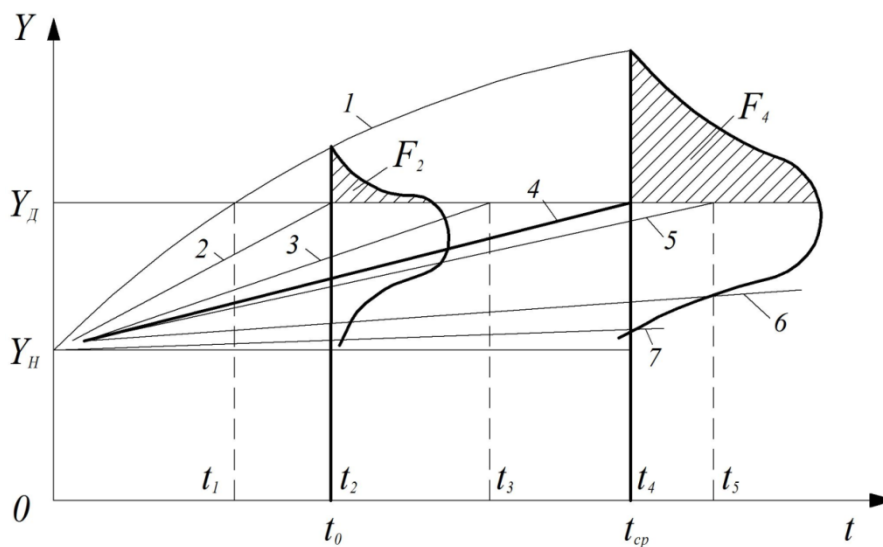


Рис. 8.3. Схема определения периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния

По статистическим реализациям параметра Y можно определить среднее значение наработки изделий t_{cp} до достижения ими допустимого значения Y_D . На схеме этому значению наработки соответствует реализация 4 и средняя интенсивность изменения параметра α_{cp} .

Если принять периодичность ТО, равной средней наработке, то часть автомобилей, интенсивность изменения параметра которых выше α_{cp} , с высокой степенью веро-

ятности откажут на наработках, существенно ниже $t_{ср}$ (реализации 1, 2, 3). Для автомобиля 1, например, вероятность отказа составит: $F = F_4 = 0,5$.

При проведении технического обслуживания с меньшей периодичностью (например, t_1) обеспечивается высокая безотказность автомобилей, однако значительно недоиспользуются их потенциальные ресурсы.

Поэтому периодичность технического обслуживания в соответствии с этим методом выбирают такую, при которой вероятность отказа между плановыми ТО не превысит заданной величины R_d , например F_2 .

Более широкое распространение в системе управления техническим обслуживанием восстанавливаемых объектов получил **технико-экономический метод** определения периодичности ТО. Оптимальная периодичность в соответствии с этим методом принимается по критерию минимальных удельных затрат на ТО и ремонт (рис.8.5).

В аналитической форме метод можно представить в виде целевой функции, экстремальное значение которой соответствует оптимальному решению

$$C_{y\partial} = C_{mo}/t_0 + C_p/t_p \Rightarrow \min$$

где C_{mo} - затраты на операции ТО; C_p - затраты на ремонтные воздействия; t_0 - периодичность обслуживания; t_p - наработка между выполнением ремонтных воздействий.

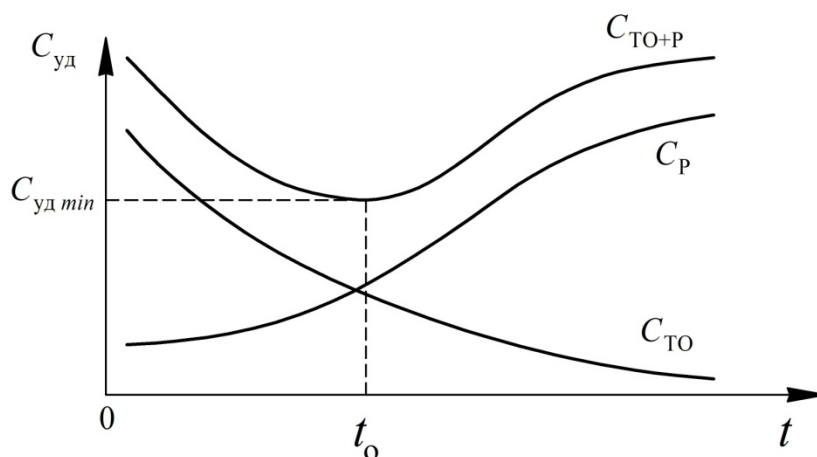


Рис. 8.5. Зависимость затрат на ТО и ремонт от периодичности ТО

Метод определения периодичности ТО автомобилей **по диагностической информации** базируется на индивидуальной оценке их технического состояния. Широкое внедрение в технологический процесс диагностирования обеспечивает систему ТО и ремонта информацией о фактическом состоянии автомобилей и позволяет более полно использовать их потенциальные возможности.

Ремонт автомобилей и их агрегатов

Ремонт представляет собой комплекс операций по восстановлению исправного или работоспособного состояния изделий и восстановлению ресурсов машин и их составных частей.

Необходимость проведения ремонта машин может быть вызвана следующими причинами: выработкой ресурса, потерей работоспособности, возникновением повреждений в процессе эксплуатации, ухудшением качества работы, снижением надежности и

безопасности. В зависимости от этого ремонт предусматривает замену конструктивных элементов, выработавших свой ресурс, или восстановление работоспособного состояния машины вследствие возникновения отказа.

Замену элементов, выработавших свой ресурс, можно выполнять по плану, через определенный срок службы или наработки, а работоспособное состояние восстанавливается после возникновения отказа, т.е. в случайный момент времени. В соответствии с этим различают плановый и неплановый ремонты.

Плановый ремонт – ремонт, постановка на который осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Неплановый ремонт – ремонт, постановка на который осуществляется без предварительного назначения для устранения последствий отказов или дорожно-транспортных происшествий.

ГОСТ 24212-80 предусматривает две стратегии ремонта машин: по наработке и по техническому состоянию.

Ремонт по наработке выполняется через определенный пробег с начала эксплуатации, а объем разборочных и других видов работ назначают единым для всего парка однотипных автомобилей, независимо от их технического состояния. Опыт работы авторемонтных предприятий показывает, что из-за большой вариации наработок конструктивных элементов до отказа ремонт по назначенной наработке приводит к значительному недоиспользованию их ресурса и увеличению затрат на восстановление утраченной работоспособности.

Избежать этого позволяет стратегия ремонта по **техническому состоянию**, которая предусматривает выполнение технологических операций, в том числе и разборки, по результатам диагностирования поступающих в ремонт изделий.

В соответствии с характером и назначением работ ремонт подразделяется на текущий (ТР), средний и капитальный (КР).

Текущий ремонт предназначен для устранения отказов и неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации или выявленных при выполнении технического обслуживания. Восстановление утраченной работоспособности при ТР осуществляется проведением разборочно-сборочных, регулировочных, слесарных, механических, сварочных и других работ с заменой: у автомобиля – отдельных узлов и агрегатов, требующих текущего или капитального ремонта; у агрегата – отдельных деталей (кроме базовых), достигших предельного состояния.

Текущий ремонт относится к неплановым ремонтам. Необходимость в его проведении определяется по заявкам водителей при возвращении автомобиля с линии, при проведении контрольно-диагностических работ ЕО, в процессе проведения профилактических технических обслуживаний. Текущий ремонт должен обеспечивать безотказную работу отремонтированных агрегатов, узлов и деталей на пробеге, не меньшем, чем установленная периодичность ТО-2.

Для сокращения времени простоя автомобилей ТР выполняется преимущественно агрегатным методом, при котором производится замена неисправных или требующих капитального ремонта агрегатов и узлов на новые или отремонтированные (из оборотного фонда).

Средний ремонт предусмотрен для автомобилей, работающих в тяжелых дорожно-климатических условиях. Цель среднего ремонта автомобилей заключается в частичном восстановлении их ресурса и работоспособности с заменой составных частей, достигших предельного состояния. При проведении среднего ремонта выполняются такие работы, как оценка технического состояния всех агрегатов и механизмов, замена двигателя, достигшего предельного состояния, ремонт неисправных агрегатов с заменой или ремонтом деталей, другие работы по восстановлению исправного состояния автомобилей. Такой вид ремонта проводится, как правило, после выработки автомобилем 60% ресурса.

Капитальный ремонт предназначен для регламентированного восстановления изделий, потерявших работоспособность, до нормативного уровня. В современных моделях автотранспортных средств долговечность рамы и кабины повышена до значений, близких сроку службы автомобиля, поэтому для них предусмотрен только капитальный ремонт агрегатов.

Агрегаты автомобилей направляются в капитальный ремонт, когда базовые и основные детали достигли предельного состояния, и их работоспособность не может быть восстановлена проведением текущего или среднего ремонта. Базовые и основные детали обеспечивают выполнение функциональных свойств агрегатов и определяют их эксплуатационную надежность. Поэтому их восстановление при капитальном ремонте должно обеспечивать уровень качества, близкий или равный качеству новых изделий.

При капитальном ремонте обеспечивается также восстановление до уровня новых изделий или близкого к нему: зазоров и натягов, взаимного расположения деталей, микро- и макрогеометрии рабочих поверхностей, структуры и твердости металла.

Капитальный и средний ремонты по принципам организации и целям выполнения относятся к плановым. Следует, однако, отметить, что плановая система ремонтов эффективна лишь тогда, когда она обеспечивает достаточно близкое соответствие планируемых сроков выполнения ремонтных работ и выработкой объектами из ресурсов.

Лекция 8. Техническая диагностика автомобилей

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.

Техническая диагностика как научное направление ставит перед собой задачу изучения всего комплекса вопросов, связанных с оценкой технического состояния машины, т.е. состояния, которое характеризуется в определенный момент времени при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

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. 1 приведена общая схема контроля работоспособности объекта диагностирования с прогнозированием технического состояния и поиском неисправностей.



Рис. 1. Схема технического диагностирования автомобилей:
 R_d – заданная вероятность безотказной работы

В процессе диагностирования в общем случае принимают участие объект диагностирования, технические средства диагностирования и человек-оператор, которые в совокупности образуют **систему диагностирования**.

Системы диагностирования делятся на *функциональные*, когда диагностирование проводят в процессе работы объекта, и *тестовые*, когда при измерении диагностических параметров работу объекта воспроизводят искусственно. Диагностические системы могут быть *общими*, когда объектом является изделие в целом, а назначением – оценка его состояния на уровне «годно - негодно» и *локальными*, предназначенными для углубленного диагностирования составных частей объекта (агрегатов, механизмов, систем).

В зависимости от используемых технических средств системы диагностирования могут быть *автоматизированными* и *ручными*. Автоматизации, прежде всего, подлежат операции получения информации о техническом состоянии, ее обработки и выдачи диагностического заключения (диагноза).

Любая система диагностирования предполагает установление закономерностей изменения параметров технического состояния объекта, обоснование комплекса диагностических параметров и их нормативных значений, выявление связей этих параметров с параметрами технического состояния, определение оптимальной процедуры (алгоритма) диагностирования.

Диагностирование конкретного объекта (автомобиля, агрегата, механизма) осуществляют в соответствии с алгоритмом, устанавливающим рациональную последовательность контрольных, регулировочных и других операций по устранению выявленных неисправностей. Он определяет вывод объекта на тестовый режим, постановку первичного диагноза, переход к следующему элементу, регулировочные и ремонтные операции, повторные и заключительные проверки. Алгоритм строят с учетом особенностей объекта и средств диагностирования и оптимизируют (сравнивая с другими вариантами) по экономическому критерию.

Окончательную детализацию процедуры диагностирования дает *технологическая карта*, которая включает в себя порядковые номера операций и их трудоемкость, применяемое оборудование, исполнителей, коэффициенты повторяемости.

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 простейших случаях при отсутствии диагностического оборудования используются **субъективные** (органолептические) методы оценки технического состояния автомобилей с помощью органов чувств человека (зрения, слуха, обоняния, осязания) и простейших методов измерений (стетоскопов, манометров, линейек). В качестве диагностических параметров при этом служат утечки жидкостей и газов, очаги коррозии, стуки, шумы, вибрации и т.д. Техническое состояние целого ряда конструктивных элементов двигателя, например, (сальника коленчатого вала, прокладки головки блока цилиндров, успокоителя цепи, башмака натяжителя цепи и др.) оценивается визуальным осмотром без применения каких-либо средств инструментального контроля.

При оценке технического состояния современных автомобилей, оснащенных сложными агрегатами и системами, используются **объективные** методы диагностирования с помощью контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструмента. Техническое состояние элементов автомобиля производится сравнением полученных значений диагностических параметров с их допустимыми нормативами.

Наиболее полную и достоверную информацию о техническом состоянии объекта дает рациональное сочетание объективных и субъективных методов диагностирования

В зависимости от вида диагностических параметров в настоящее время используют три основные группы методов объективной диагностики автомобилей и их агрегатов (рис.2).

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).



Рис.2. Классификация методов диагностирования автомобилей

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:

- внешние, которые подсоединяются или работают с контролируруемыми изделиями только во время проведения контроля и не являются элементами изделия;
- встроенные (бортовые), которые являются конструктивными элементами объекта и осуществляют контроль непрерывно или периодически по определенной программе;
- устанавливаемые на диагностируемый объект средства перед плановым или заявочным диагностированием (УСТД).

Внешние средства диагностирования могут быть стационарными (стенды тормозные, для проверки и регулировки углов установки колес и др.) и переносными (тестеры, газоанализаторы, дымомеры, компрессометры и др.).

Встроенные средства диагностирования включают в себя входящие в конструкцию автомобиля датчики и приборы для измерения, микропроцессоры, устройства отображения диагностической информации. Простейшие средства встроенного диагностирования располагаются на панели (щитке) приборов перед водителем. Более сложные средства встроенного диагностирования позволяют водителю контролировать состояние тормозных систем, расход топлива, токсичность отработанных газов и др.

Лекция 9. Диагностические параметры, оценивающие техническое состояние АТС

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.9.1).

Эти связи могут быть единичными (рис. 9.1, а), если с изменением конкретного структурного параметра изменяется один диагностический; множественными (рис. 9.1, б), если изменение одного структурного параметра ведет к изменению нескольких диагностических; неопределенными (рис.9.1, в), когда один диагностический параметр может изменяться при изменении нескольких структурных; комбинированными (рис.9.1, г), когда возможны комбинации вышеперечисленных связей.

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.

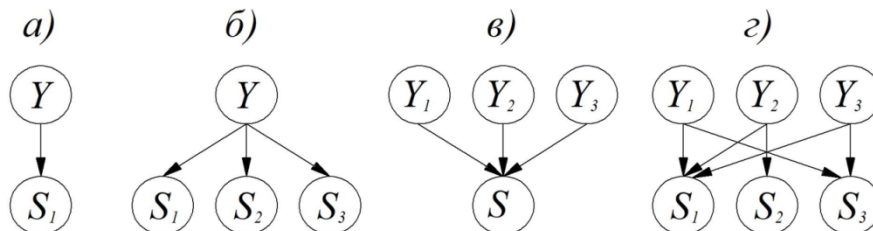


Рис. 9.1. Взаимосвязи диагностических и структурных параметров

В качестве диагностических параметров при оценке технического состояния автомобилей, как уже отмечалось, используются выходные параметры рабочих и сопутствующих процессов, а также геометрические параметры. Однако по разным причинам далеко не все выходные параметры используются при диагностировании технического состояния автомобилей и их агрегатов.

Из всего комплекса диагностических параметров выбираются лишь те, которые удовлетворяют требованиям однозначности, стабильности, чувствительности, информативности и технологичности.

Под однозначностью понимают соответствие каждому значению диагностического параметра S только одного состояния диагностируемого объекта (рис.9.2). Это означает, что в диапазоне изменения структурного параметра Y от начального значения до предельного функция диагностического параметра $S = f(Y)$ не имеет экстремума.

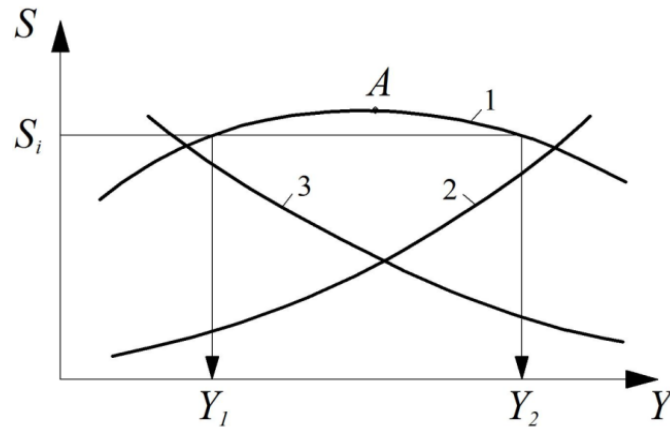


Рис. 9.2. Закономерности изменения диагностических параметров: 1 – не обладающий однозначной зависимостью (имеется экстремум в точке A); 2 и 3 – обладающие однозначной зависимостью

Стабильность диагностического параметра определяется отклонениями его величины от среднего значения при неизменном значении структурного параметра Y_i (рис.9.3).

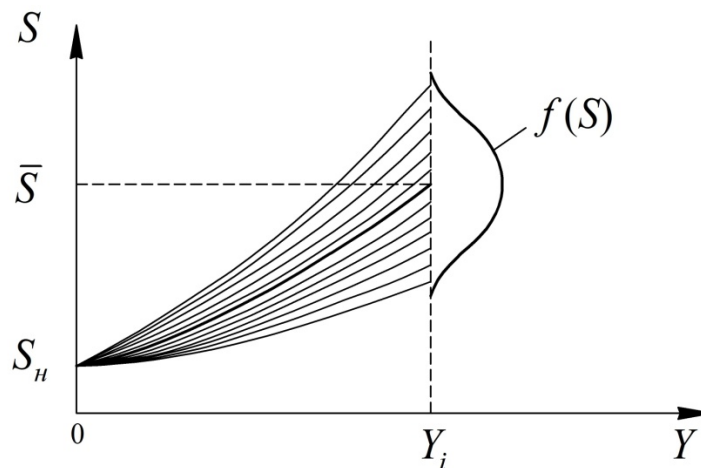


Рис. 9.3. Рассеивание результатов измерения диагностического параметра

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}

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

где n – число измерений диагностического параметра.

Чувствительность φ диагностического параметра характеризуется изменением его значения с изменением структурного параметра (рис. 9.4). 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. $\varphi_1 > \varphi_2$.

По результатам испытаний чувствительность диагностического параметра оценивается коэффициентом чувствительности

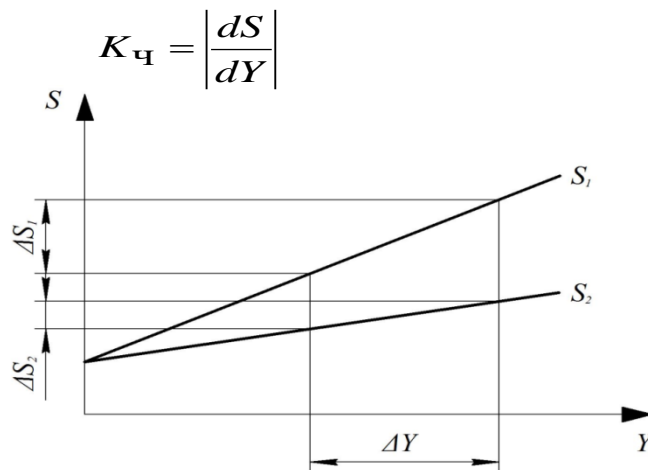


Рис. 9.4. Схема определения чувствительности диагностических параметров

Информативность диагностического параметра является его важнейшим свойством при оценке технического состояния сложных систем. Она определяется снижением исходной энтропии (т.е. неопределенности технического состояния объекта) после измерения данного диагностического параметра

$$I = H_n - H_i,$$

где H_n , H_i – неопределенность (энтропия) состояния объекта до и после измерения i -го диагностического параметра.

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 отли-

читать исправный объект от неисправного (рис.9.5, 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.9.5, б).

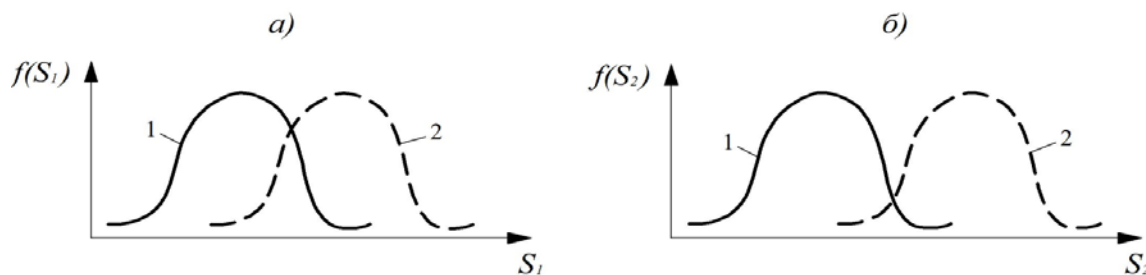


Рис.9.5. Распределение значений малоинформативного S_1 и высокоинформативного S_2 диагностических параметров: 1, 2 – исправное и неисправное состояния объектов

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.

Процедура выбора диагностических параметров предусматривает следующие этапы:

- анализ статистических данных по эксплуатационным отказам и неисправностям с целью выявления наименее надежных составных частей и наиболее часто повторяющихся неисправностей;
- разработку структурно-следственной модели диагностируемого объекта;
- разработку методики поиска неисправностей и алгоритма диагностирования.

Статистические данные по эксплуатационной надежности агрегатов, узлов и систем автомобилей (характерные отказы и неисправности, наработки до их возникновения, интегральные и дифференциальные функции распределения наработок и др.) получают по результатам проведения эксплуатационных испытаний.

Кроме закономерностей изменения технического состояния механизмов и узлов объекта диагностирования необходимо обобщенное описание его наиболее важных свойств: перечень наиболее часто отказывающихся элементов, соответствующие этим элементам структурные и диагностические параметры и связи между ними. Наиболее простое логическое описание объекта диагностирования выражается его структурно-следственной схемой, разрабатываемой по принципу многоуровневой цепочки, которая определяет следующие уровни поиска неисправностей:

- 1 – основные узлы и механизмы диагностируемого объекта;
- 2 – сопряжения и конструктивные элементы, в процессе эксплуатации которых возникают неисправности;

3 – структурные параметры, характеризующие техническое состояние узлов и конструктивных элементов;

4 – характерные неисправности объекта;

5 – симптомы проявления неисправностей;

6 – перечень возможных для использования диагностических параметров.

Структурно-следственная схема разрабатывается на основе инженерного изучения объекта диагностирования и результатов исследования эксплуатационной надежности его конструктивных элементов. Выявленный при этом перечень возникающих в процессе эксплуатации объекта неисправностей и симптомов их проявления позволяют определить предварительный комплекс диагностических параметров для оценки его технического состояния. Окончательный выбор диагностических параметров осуществляется на основе анализа их соответствия вышеизложенным требованиям (однозначности, стабильности, чувствительности, информативности и технологичности).

Список использованной литературы

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. ГОСТ 27578–87. Техническая диагностика. Диагностирование изделий. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.
5. Денисов А.С. Практикум по технической эксплуатации автомобилей : учеб пособие / А.С.Денисов, А.С.Гребенников. – М. : ИЦ «Академия», 2012. – 272 с.
6. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем : учебник для вузов / В.А.Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
7. Колесник П.А. Материаловедение на автомобильном транспорте : учебник для вузов / П.А. Колесник, В.С.Кланица. – М. : ИЦ «Академия», 2012. – 320 с.
8. Проников А.С. Надежность машин / А.С.Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 532 с.
9. Сапронов Ю.Г. Экспертиза и диагностика объектов и систем сервиса: учеб. пособие / Ю.Г.Сапронов. – М.: ИЦ «Академия», 2008.–224 с.
10. Справочник. Надежность в машиностроении./ Под общ. ред. В.В. Шашкина и Г.П. Карзова. – СПб.: Политехника , 1992. – 719 с.
11. Юркевич В.В. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В.В.Юркевич, А.Г.Схиртладзе. – М.: ИЦ «Академия», 2011. – 304 с.
12. Яхьяев Н.Я. Основы теории надёжности и диагностика: учебник / Н.Я.Яхьяев, А.В.Кораблин. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 256 с.

