

А.Н. Чебоксаров

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ
И ДИАГНОСТИКА**

Курс лекций

Омск – 2012

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)»

А.Н. Чебоксаров

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ
И ДИАГНОСТИКА

Курс лекций

Омск
СибАДИ
2012

УДК 629.113.004
ББК 39.311-06-5
Ч 34

Рецензен канд. техн. наук, доц. И.М. Князев

Работа одобрена на заседании кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» ФГБОУ ВПО СибАДИ в качестве курса лекций для студентов всех форм обучения специальностей 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство», 190700 «Организация и безопасность движения», направления подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика: курс лекций / А.Н. Чебоксаров. – Омск: СибАДИ, 2012. – 76 с.

Рассмотрены основные понятия и показатели теории надежности. Изложены математические основы теории надежности и основы надежности сложных систем. Приведены основные теоретические положения технической диагностики машин.

Курс лекций предназначен для студентов очной, очной ускоренной, заочной и дистанционной форм обучения специальностей 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство», 190700 «Организация и безопасность движения», направления подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Табл. 4. Ил. 25. Библиогр.: 12 назв.

Оглавление

Введение	5
1. Основные понятия и показатели теории надежности	6
1.1. Надежность как наука.....	6
1.2. История развития теории надежности.....	7
1.3. Основные понятия надежности.....	8
1.4. Жизненный цикл объекта.....	11
1.5. Поддержание надежности объекта при эксплуатации.....	14
1.6. Основные показатели надежности.....	15
1.6.1. Показатели для оценки безотказности.....	16
1.6.2. Показатели для оценки долговечности.....	19
1.6.3. Показатели для оценки сохраняемости.....	20
1.6.4. Показатели для оценки ремонтпригодности.....	20
1.6.5. Комплексные показатели надежности.....	21
1.7. Получение информации о надежности машин.....	22
1.8. Нормирование показателей надежности.....	26
<i>Вопросы для самопроверки</i>	27
2. Математические основы надежности	29
2.1. Математический аппарат для обработки случайных величин.....	29
2.2. Некоторые законы распределения случайной величины.....	32
2.2.1. Нормальное распределение.....	32
2.2.2. Экспоненциальное распределение.....	34
2.2.3. Распределение Вейбулла.....	36
<i>Вопросы для самопроверки</i>	37
3. Основы надежности сложных систем	38
3.1. Особенности сложных систем.....	38
3.2. Структура сложных систем.....	40
3.3. Особенности расчета надежности сложных систем.....	41
3.3.1. Расчет надежности системы при последовательном соединении ее элементов.....	41

3.3.2. Расчет надежности системы при параллельном соединении ее элементов.....	42
3.4. Резервирование.....	43
<i>Вопросы для самопроверки</i>	44
4. Изнашивание	45
4.1. Виды трения.....	45
4.2. Виды изнашивания.....	46
4.3. Характеристики изнашивания.....	47
4.4. Методы определения износа.....	50
<i>Вопросы для самопроверки</i>	51
5. Коррозионные разрушения	52
5.1. Виды коррозии.....	52
5.2. Методы борьбы с коррозией.....	54
<i>Вопросы для самопроверки</i>	54
6. Техническая диагностика	55
6.1. Основные понятия технической диагностики.....	55
6.2. Задачи технической диагностики.....	57
6.3. Выбор диагностических параметров	59
6.4. Закономерности изменения параметров состояния в процессе эксплуатации машин.....	62
6.5. Методы и виды диагностирования.....	64
6.6. Средств диагностирования.....	65
6.7. Классификация датчиков.....	68
6.8. Компьютерная диагностика автомобиля.....	70
6.9. Стандарты в автомобильной диагностике.....	71
6.10. Общие требования к средствам технического диагностирования.....	73
<i>Вопросы для самопроверки</i>	74
Библиографический список	75

Введение

Целью преподавания дисциплины «Основы теории надежности и диагностика» является формирование у студентов системы научных знаний и профессиональных навыков по использованию основ теории надежности и диагностики применительно к решению задач технической эксплуатации автомобилей на всех этапах их жизненного цикла: проектирование, производство, контроль, хранение и эксплуатация.

Основными задачами дисциплины «Основы теории надежности и диагностика» являются:

- изучение основных определений структуры и содержания понятий надежности и диагностики;
- освоение способов сбора и обработки информации о надежности автомобилей в эксплуатации, методов оценки полученных результатов и их систематизации;
- изучение закономерностей изменения технического состояния изделий и возникновения отказов, а также факторов, влияющих на надежность и физические процессы отказов изделий;
- получение показателей надежности основных систем и узлов автомобилей в реальных условиях эксплуатации и определение оптимальных сроков службы подвижного состава;
- освоение методов диагностики и расчета диагностических параметров;
- изучение методов управления качеством продукции с использованием международных стандартов серии ИСО 9000.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

1.1. Надежность как наука

Надежность характеризует качество технического средства.

Качество – совокупность свойств, определяющих пригодность изделия к использованию по назначению и его потребительские свойства.

Надежность – комплексное свойство технического объекта, которое состоит в его способности выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики в установленных пределах. Понятие надежности включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность.

Предмет надежности – изучение причин, вызывающих отказы объектов, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка способов количественного измерения надежности, методов расчета и испытаний, разработка путей и средств повышения надежности.

Объектом исследования надежности как науки является то или иное техническое средство: отдельная деталь, узел машины, агрегат, машина в целом, изделие и др.

Различают общую теорию надежности и прикладные теории надежности. Общая теория надежности имеет три составляющие:

1. Математическая теория надежности. Определяет математические закономерности, которым подчиняются отказы и методы количественного измерения надежности, а также инженерные расчеты показателей надежности.

2. Статистическая теория надежности. Обработка статистической информации о надежности. Статистические характеристики надежности и закономерности отказов.

3. Физическая теория надежности. Исследование физико-химических процессов, физических причин отказов, влияния старения и прочности материалов на надежность.

Прикладные теории надежности разрабатываются в конкретной области техники применительно к объектам этой области. Например, существует теория надежности систем управления, теория надежности электронных устройств, теория надежности машин и др.

Надежность связана с эффективностью (например, с экономической эффективностью) техники. Недостаточная надежность технического средства имеет следствием:

- снижение производительности из-за простоев вследствие поломок;
- снижение качества результатов использования технического средства из-за ухудшения его технических характеристик вследствие неисправностей;
- затраты на ремонты технического средства;
- потеря регулярности получения результата (например, снижение регулярности перевозок для транспортных средств);
- снижение уровня безопасности использования технического средства.

1.2. История развития теории надежности

I этап. Начальный этап.

Он начинается с начала появления первых технических устройств (это конец XIX в. (приблизительно 1880 г.)) и заканчивается с появлением электроники и автоматики, авиации и ракетно-космической техники (середина XX в.).

Уже в начале века ученые стали задумываться, как сделать любую машину неломашей. Появилось такое понятие, как «запас» прочности. Но, увеличивая запас прочности, увеличивается и масса изделия, что не всегда приемлемо. Специалисты стали искать пути решения этой проблемы.

Основой для решения таких проблем стала теория вероятностей и математическая статистика. На базе указанных теорий уже в 30-е гг. было сформулировано понятие отказа, как превышение нагрузки над прочностью.

С началом развития авиации и применения в ней электроники и автоматики теория надежности начинает бурно развиваться.

II этап. Этап становления теории надежности (1950 – 1960).

В 1950 г. военно-воздушные силы США организовали первую группу для изучения проблем надежности радиоэлектронного оборудования. Группа установила, что основная причина выхода из строя радиоэлектронной аппаратуры заключалась в низкой надежности ее элементов. Стали в этом разбираться, изучать влияние различных

эксплуатационных факторов на исправную работу элементов. Собрали богатый статистический материал, который и явился основой теории надежности.

III этап. Этап классической теории надежности (1960 – 1970).

В 60-70 гг. появляется космическая техника, требующая повышенной надежности. С целью обеспечения надежности этих изделий начинают анализировать конструкцию изделий, технологию производства и условия эксплуатации.

На данном этапе было установлено, что причины поломок машин можно обнаружить и устранить. Начинает развиваться теория диагностики сложных систем. Появляются новые стандарты по надежности машин.

IV этап. Этап системных методов надежности (с 1970 г. по настоящее время).

На этом этапе были разработаны новые требования к надежности, заложившие основу современных систем и программ обеспечения надежности. Были разработаны типовые методики проведения мероприятий, связанных с обеспечением надежности.

Эти методики разделяются на два основных направления:

– *первое направление* относится к потенциальной надежности, которое учитывает конструктивные (выбор материала, запас прочности и т.д.) и технологические (ужесточение допусков, повышение чистоты поверхности и т.д.) методы обеспечения надежности;

– *второе направление* – эксплуатационное, которое направлено на обеспечение эксплуатационной надежности (стабилизация условий эксплуатации, совершенствование методов ТО и ремонта и т.д.).

1.3. Основные понятия надежности

Надежность использует понятие объекта. Объект характеризуется качеством. Надежность является составляющим показателем качества объекта. Чем выше надежность объекта, тем выше его качество.

В процессе эксплуатации объект может находиться в одном из следующих состояний (рис. 1.1):

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

2) **Неисправное состояние** – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

3) **Работоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

4) **Неработоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Различают неисправности, не приводящие к отказам (нарушение лакокрасочного покрытия, износ протектора колеса), и неисправности, ведущие к возникновению отказа (трещина металлоконструкции рамы, изгиб лопасти вентилятора системы охлаждения двигателя).

Частным случаем неработоспособного состояния является предельное состояние.

Предельное состояние – состояние, при котором дальнейшая эксплуатация объекта недопустима или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение эксплуатации объекта, то есть объект должен быть выведен из эксплуатации, направлен в ремонт или списан. Критерии предельного состояния устанавливают в нормативно-технической документации.

Повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

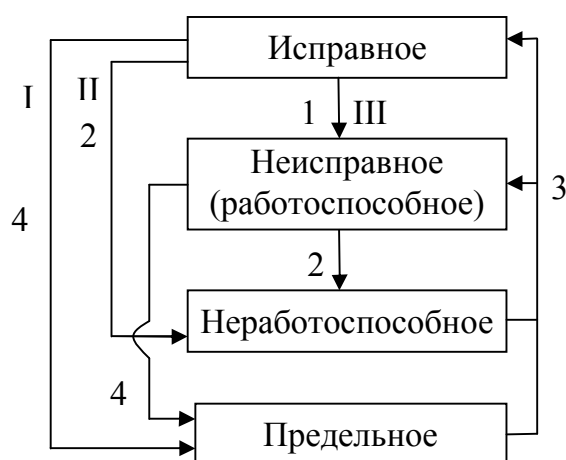


Рис. 1.1. Схема основных технических состояний: 1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – ремонт; 4 – переход в предельное состояние из-за наличия критического дефекта; I – критический дефект; II – значительный дефект; III – малозначительный дефект

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Восстановление (ремонт) – возвращение объекту работоспособного состояния.

Критерии повреждений и отказов устанавливаются в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Классификация отказов приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Классификация отказов

Признак	Вид отказа
I. Значимость	1) Критический 2) Существенный 3) Несущественный
II. Зависимость	1) Зависимый 2) Независимый
III. Характер возникновения	1) Внезапный 2) Постепенный
IV. Характер обнаружения	1) Явный 2) Скрытый
V. Причина возникновения	1) Конструктивный 2) Производственный 3) Эксплуатационный 4) Деградационный

Зависимый отказ – отказ, обусловленный другими отказами.

Внезапный отказ – характеризуется резким изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Примером внезапного отказа является нарушение работоспособности системы зажигания или системы питания двигателя.

Постепенный отказ – характеризуется постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Характерным примером постепенного отказа является нарушение работоспособности тормозов в результате износа фрикционных элементов.

Явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.

Скрытый отказ – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.

В зависимости от способа устранения отказа все объекты разделяют на **ремонтируемые (восстанавливаемые)** и **неремонтируемые (невосстанавливаемые)**.

К ремонтируемым относят объекты, которые при возникновении отказа ремонтируют и после восстановления работоспособности снова вводят в эксплуатацию.

Неремонтируемые объекты (элементы) после возникновения отказа заменяют. К таким элементам относятся большинство асбестовых и резинотехнических изделий (тормозные накладки, накладки дисков сцепления, прокладки, манжеты), некоторые электротехнические изделия (лампы, предохранители, свечи зажигания), быстроизнашивающиеся и обеспечивающие безопасность эксплуатации детали (вкладыши и пальцы шарниров рулевых тяг, втулки шкворневых соединений). К числу неремонтируемых элементов машин относят также подшипники качения, оси, пальцы, крепежные детали. Восстановление перечисленных элементов экономически нецелесообразно, так как затраты на ремонт достаточно велики, а обеспечиваемая при этом долговечность значительно ниже, чем у новых деталей.

1.4. Жизненный цикл объекта

Объект характеризуется жизненным циклом. Жизненный цикл объекта состоит из ряда стадий: проектирование объекта, изготовление объекта, эксплуатация объекта. Каждая из этих стадий жизненного цикла влияет на надежность изделия.

На стадии проектирования объекта закладываются основы его надежности. На надежность объекта влияют:

- выбор материалов (прочность материалов, износостойкость материалов);
- запасы прочности деталей и конструкции в целом;
- удобство сборки и разборки (определяет трудоемкость последующих ремонтов);

- механическая и тепловая напряженность конструктивных элементов;
- резервирование важнейших или наименее надежных элементов и другие меры.

На стадии изготовления надежность определяется выбором технологии производства, соблюдением технологических допусков, качеством обработки сопрягаемых поверхностей, качеством используемых материалов, тщательностью сборки и регулировки.

На стадии проектирования и изготовления определяются конструктивно-технологические факторы, влияющие на надежность объекта. Действие этих факторов выявляется на стадии эксплуатации объекта. Кроме того, на данной стадии жизненного цикла объекта на его надежность влияют и эксплуатационные факторы.

Эксплуатация оказывает решающее влияние на надежность объектов, особенно сложных. Надежность объекта при эксплуатации обеспечивается путем:

- соблюдения условий и режимов эксплуатации (смазка, нагрузочные режимы, температурные режимы и др.);
- проведения периодических технических обслуживаний с целью выявления и устранения возникающих неполадок и поддержания объекта в работоспособном состоянии;
- систематической диагностики состояния объекта, выявления и предупреждения отказов, снижения вредных последствий отказов;
- проведения профилактических восстановительных ремонтов.

Основной причиной снижения надежности в процессе эксплуатации являются износ и старение компонентов объекта. Износ приводит к изменению размеров, нарушению работоспособности (из-за ухудшения условий смазки, например), поломкам, снижению прочности и т.д. Старение приводит к изменению физико-механических свойств материалов, влекущему поломки или отказы.

Условия эксплуатации назначаются такими, чтобы максимально снизить износ и старение: например, износ возрастает в условиях дефицита или низкого качества смазки. Старение возрастает при выходе температурных режимов за допустимые (например, уплотнительные прокладки, клапаны и т.д.).

Надежность объекта на стадии эксплуатации можно иллюстрировать графиком типичной зависимости интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации, представленном на рис. 1.2.

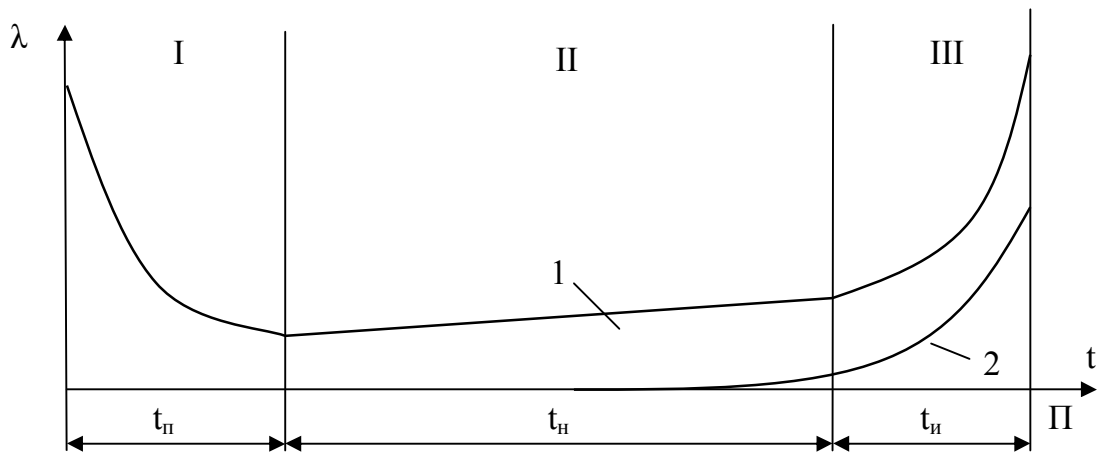


Рис. 1.2. Зависимость интенсивности отказов от наработки: 1 – интенсивность отказов $\lambda(t)$; 2 – кривая старения; I – период приработки; II – период нормальной работы; III – период износа; ПС – предельное состояние

В период приработки t_n надежность, в первую очередь, определяется конструктивно-технологическими факторами, что ведет к повышенной интенсивности отказов. По мере выявления и устранения этих факторов надежность объекта приводится к номинальному уровню, который сохраняется в продолжительном периоде t_n нормальной эксплуатации.

В течение эксплуатации в объекте накапливаются проявления износа и усталости, интенсивность которых возрастает с увеличением срока эксплуатации объекта (возрастающая кривая 2 на рис. 1.2). Наступает период t_n интенсивного износа объекта, который заканчивается его приходом в предельное состояние и снятием с эксплуатации.

Ежегодные затраты на эксплуатацию характеризуются графиками (рис. 1.3).

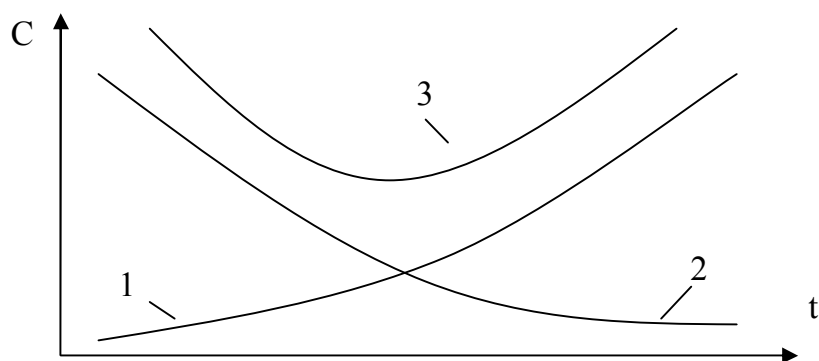


Рис. 1.3. Зависимость эксплуатационных затрат от наработки: 1 – затраты на эксплуатацию; 2 – затраты на амортизацию; 3 – суммарные затраты

Из графиков видно, что существует оптимальный срок эксплуатации объекта, при котором суммарные затраты на эксплуатацию минимальны. Продолжительная эксплуатация, существенно превышающая оптимальный срок, экономически невыгодна.

1.5. Поддержание надежности объекта при эксплуатации

Поддержание требуемого уровня надежности технических объектов в процессе эксплуатации осуществляется путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий. Сюда входят периодические технические обслуживания, профилактические и восстановительные ремонты. Периодические технические обслуживания направлены на своевременные регулировки, устранение причин отказов, раннее выявление отказов.

Периодические технические обслуживания проводятся в установленные сроки и в установленном объеме. Задачей любого ТО является проверка контролируемых параметров, регулировка в случае необходимости, выявление и устранение неисправностей, замена элементов, предусмотренная эксплуатационной документацией.

Порядок выполнения несложных работ определяется инструкциями по техническому обслуживанию, а порядок выполнения сложных работ – технологическими картами.

В процессе технических обслуживаний обычно осуществляется и диагностика состояния эксплуатируемого объекта (в том или ином объеме).

Диагностика заключается в контроле состояния объекта с целью выявления и предупреждения отказов. Осуществляется диагностика с помощью диагностических средств контроля, которые могут быть встроенными и внешними. Встроенные средства позволяют осуществлять непрерывный контроль. С помощью внешних средств осуществляется периодический контроль.

В результате диагностики выявляются отклонения параметров объекта и причины этих отклонений. Определяется конкретное место неисправности. Решается задача прогнозирования состояния объекта и принимается решение о его дальнейшей эксплуатации.

Объект считается работоспособным, если его состояние позволяет ему выполнять возложенные на него функции. Если в процессе эксплуатации характеристики объекта или его структура недопустимо

изменились, то говорят, что в объекте возникла неисправность. Возникновение неисправности нельзя отождествлять с потерей объектом работоспособности. Однако в неработоспособном объекте всегда будет иметь место неисправность.

Для восстановления показателей надежности объекта при их снижении проводятся профилактические и восстановительные ремонты. Восстановительные ремонты служат для восстановления работоспособности объекта после отказа и поддержания заданного уровня его надежности путем замены деталей и узлов, потерявших свой уровень надежности или отказавших.

Количество ремонтов определяется экономической целесообразностью. Типичная зависимость вероятности безотказной работы ремонтируемого объекта от времени эксплуатации показана на рис. 1.4.

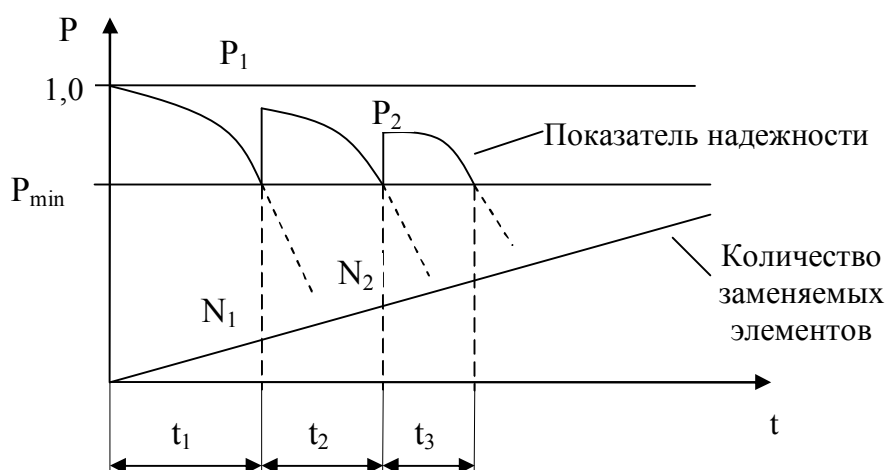


Рис. 1.4. Зависимость вероятности безотказной работы ремонтируемого объекта от времени эксплуатации:
 P – вероятность безотказной работы объекта;
 P_{\min} – минимально допустимый уровень надежности;
 N – число заменяемых при ремонте элементов объекта

Очередной ремонт не позволяет достичь исходного уровня надежности объекта, и срок эксплуатации объекта после этого ремонта будет меньше, чем после предыдущего ремонта ($t_3 < t_2 < t_1$). Таким образом, эффективность каждого последующего ремонта снижается, что влечет необходимость ограничения общего количества ремонтов объекта.

1.6. Основные показатели надежности

В соответствии с ГОСТ 27.002 **надежность** – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции.

Этот стандарт оговаривает как единичные показатели надежности, каждый из которых характеризует отдельную сторону надежности (безотказность, долговечность, сохраняемость или ремонтпригодность), так и комплексные показатели надежности, которые характеризуют одновременно несколько свойств надежности.

1.6.1. Показатели для оценки безотказности

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

Под наработкой понимается продолжительность работы машины, выраженная:

- для машин в целом – во времени (часах);
- для автомобильного транспорта – в километрах пробега автомобиля;
- для авиации – в часах налета самолета;
- для с/х техники – в гектарах условной пахоты;
- для двигателей – в моточасах и т.д.

Для оценки безотказности применяют следующие показатели:

1. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. Вероятность безотказной работы изменяется от 0 до 1.

$$P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N},$$

где N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени; $n(t)$ – число объектов, отказавших на момент t от начала испытаний или эксплуатации.

Вероятность безотказной работы P объекта связана с вероятностью отказа F следующим соотношением:

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

Вероятность безотказной работы уменьшается с увеличением времени работы или наработки объекта. Зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказа $F(t)$ от наработки t представлены на рис. 1.5.

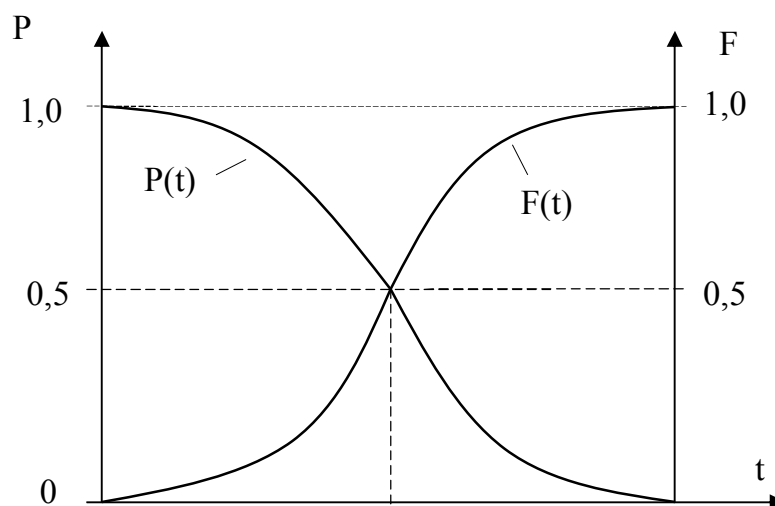


Рис. 1.5. Зависимости вероятности безотказной работы и вероятности отказа от наработки:
 P – вероятность безотказной работы;
 F – вероятность отказа

В начальный момент времени для работоспособного объекта вероятность его безотказной работы равна единице (100 %). По мере работы объекта эта вероятность снижается и стремится к нулю. Вероятность возникновения отказа объекта, наоборот, возрастает с увеличением срока эксплуатации или наработки.

2. *Средняя наработка до отказа (среднее время безотказной работы) и средняя наработка на отказ.*

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Этот показатель часто называют средним временем безотказной работы.

$$T_o = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{N},$$

где t_i – наработка до отказа i -го объекта; N – число объектов.

Средняя наработка на отказ – математическое ожидание времени между соседними отказами объекта.

3. *Плотность вероятности отказа (частота отказов)* – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу находящихся под наблюдением при условии, что отказавшие изделия не восстанавливаются и не заменяются новыми.

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t},$$

где $n(\Delta t)$ – число отказов в рассматриваемом интервале наработки; N – общее число изделий, находящихся под наблюдением; Δt – величина рассматриваемого интервала наработки.

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

Иначе говоря, это отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу работающих безотказно за данный промежуток времени при условии, что отказавшие изделия не восстанавливаются и не заменяются новыми.

Интенсивность отказов оценивают по следующей формуле:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t},$$

где $f(t)$ – частота отказов; $P(t)$ – вероятность безотказной работы; $n(\Delta t)$ – число отказавших изделий за время от t до $t + \Delta t$; Δt – рассматриваемый интервал наработки; N_{cp} – среднее число безотказно работающих изделий:

$$N_{cp} = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2},$$

где $N(t)$ – число безотказно работающих изделий в начале рассматриваемого интервала наработки; $N(t + \Delta t)$ – число безотказно работающих изделий в конце интервала наработки.

1.6.2. Показатели для оценки долговечности

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность машин закладывается при их проектировании и конструировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

Ресурс – наработка машины от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации машины от начала ее эксплуатации или возобновления после ремонта, до наступления предельного состояния.

Для оценки долговечности применяют следующие показатели:

1. **Средний ресурс** – математическое ожидание ресурса

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{N},$$

где t_{pi} – ресурс i -го объекта; N – число объектов.

2. **Гамма-процентный ресурс** – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

Для расчета показателя используется формула вероятности

$$P(T_p) = \frac{\gamma}{100}.$$

3. **Средний срок службы** – математическое ожидание срока службы

$$T_{cl} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{cli}}{N},$$

где t_{cli} – срок службы i -го объекта.

4. *Гамма-процентный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

1.6.3. Показатели для оценки сохраняемости

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Для оценки сохраняемости применяют следующие показатели:

1. *Средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости объекта.

2. *Гамма-процентный срок сохраняемости* – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение и после которой показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности объекта не выйдут за установленные пределы с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Показатели сохраняемости по сути своей соответствуют показателям долговечности и определяются по тем же формулам.

1.6.4. Показатели для оценки ремонтпригодности

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Время восстановления – это продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.

Время восстановления равно сумме времен, затрачиваемых на отыскание и устранение отказа, а также на проведение необходимых отладок и проверок, чтобы убедиться в восстановлении работоспособности объекта.

Для оценки ремонтпригодности применяют следующие показатели:

1. *Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления объекта

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

где $t_{\text{ср}i}$ – время восстановления i -го отказа объекта; N – число отказов за заданный срок испытаний или эксплуатации.

2. *Вероятность восстановления работоспособного состояния* – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение. Для большинства объектов машиностроения вероятность восстановления подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$P_{\text{ср}}(t) = e^{-\lambda \cdot t_{\text{ср}}},$$

где λ – интенсивность отказов (принимается постоянной).

1.6.5. Комплексные показатели надежности

Каждый из описанных выше показателей позволяет оценить лишь одну из сторон надежности – одно из свойств надежности объекта. Для более полной оценки надежности используют комплексные показатели, позволяющие одновременно оценить несколько важнейших свойств объекта.

1. *Коэффициент готовности* $K_{\text{г}}$ – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_{\text{г}} = \frac{T_{\text{о}}}{T_{\text{о}} + T_{\text{ср}}},$$

где $T_{\text{о}}$ – среднее значение наработки на отказ; $T_{\text{ср}}$ – среднее время восстановления объекта после отказа.

2. *Коэффициент технического использования* – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта

в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации.

$$K_{ТИ} = \frac{T_o}{T_o + T_P + T_{ТО}},$$

где T_P , $T_{ТО}$ – суммарная продолжительность простоев машины в ремонте и техническом обслуживании.

Для автомобилей основными показателями **долговечности** являются ресурс до замены (до ремонта определенного вида) или списания, гамма-процентный ресурс; основным показателем **безотказности** – наработка на отказ определенной группы сложности (среднее время безотказной работы); основными показателями **ремонтпригодности** – удельная трудоемкость технического обслуживания, удельная трудоемкость текущих ремонтов и удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания и текущих ремонтов.

1.7. Получение информации о надежности машин

Для того чтобы определить надежность любой машины, необходимо иметь информацию об отказах ее деталей, узлов, агрегатов и самой машины в целом.

Сбором информации об отказах машин занимаются:

- организации-разработчики машины;
- предприятия-изготовители машины;
- эксплуатационные и ремонтные предприятия.

Организации-разработчики (проектные институты) осуществляют сбор и обработку информации о надежности опытных образцов машин путем проведения специальных испытаний.

Предприятия-изготовители (машиностроительные заводы) осуществляют сбор и обработку первичной информации о надежности серийно изготавливаемой продукции и анализ причин отказов машин. Сбор информации они ведут на основе проведения специальных заводских и эксплуатационных испытаний.

Эксплуатационные и ремонтные организации собирают первичную информацию о надежности машин в эксплуатации.

Основным источником получения информации о надежности, особенно транспортных машин, являются испытания.

На автомобильном транспорте различают следующие виды испытаний (рис. 1.6):

1. Заводские (ресурсные) испытания – испытания опытных или первых серийных образцов. Эти испытания бывают:

- а) доводочные;
- б) на пригодность к серийному производству;
- в) контрольные;
- г) приемосдаточные;
- д) исследовательские.

Цель *доводочных испытаний* – оценить влияние на надежность изменений, вносимых при доводке конструкции и технологии производства.

Испытания на пригодность к серийному производству определяют допустимость к серийному производству автомобилей по их надежности.

Контрольными испытаниями проверяют обеспечение установленных норм надежности серийно выпускаемых автомобилей.

Приемосдаточные испытания определяют соответствие данной партии автомобилей требованиям технических условий и возможность ее приемки.

Цель *исследовательских испытаний* – определить предел выносливости автомобилей, установить закон распределения ресурсов, изучить динамику процесса изнашивания, сравнить ресурсы автомобилей.

По характеру проведения заводские испытания делятся:

- на стендовые;
- полигонные;
- дорожные.

Стендовые испытания проводятся на специальных стендах, позволяющих имитировать различные условия испытаний.

Полигонные – это испытания автомобилей на специальных полигонах, имеющих дороги с различными характеристиками.

Дорожные испытания проводятся, как правило, в реальных условиях эксплуатации, но в различных климатических зонах.

В Российской Федерации основные полигонные испытания проводят на Центральном научно-исследовательском полигоне НАМИ. В состав сооружений полигона входят:

- кольцевая скоростная бетонная дорога;
- прямая дорога для динамометрических испытаний;
- кольцевая грунтовая дорога;
- дорога с булыжным покрытием;
- специальные испытательные дороги.

2. Эксплуатационные испытания – испытания серийных автомобилей в реальных условиях эксплуатации. Это в основном дорожные испытания. Цель их – получение достоверных данных об эксплуатационной надежности автомобилей на основе систематических наблюдений.

Большинство эксплуатационных испытаний проводятся на специальных автотранспортных предприятиях, расположенных в различных климатических зонах. Эти испытания дают наиболее объективную информацию о надежности автомобиля.

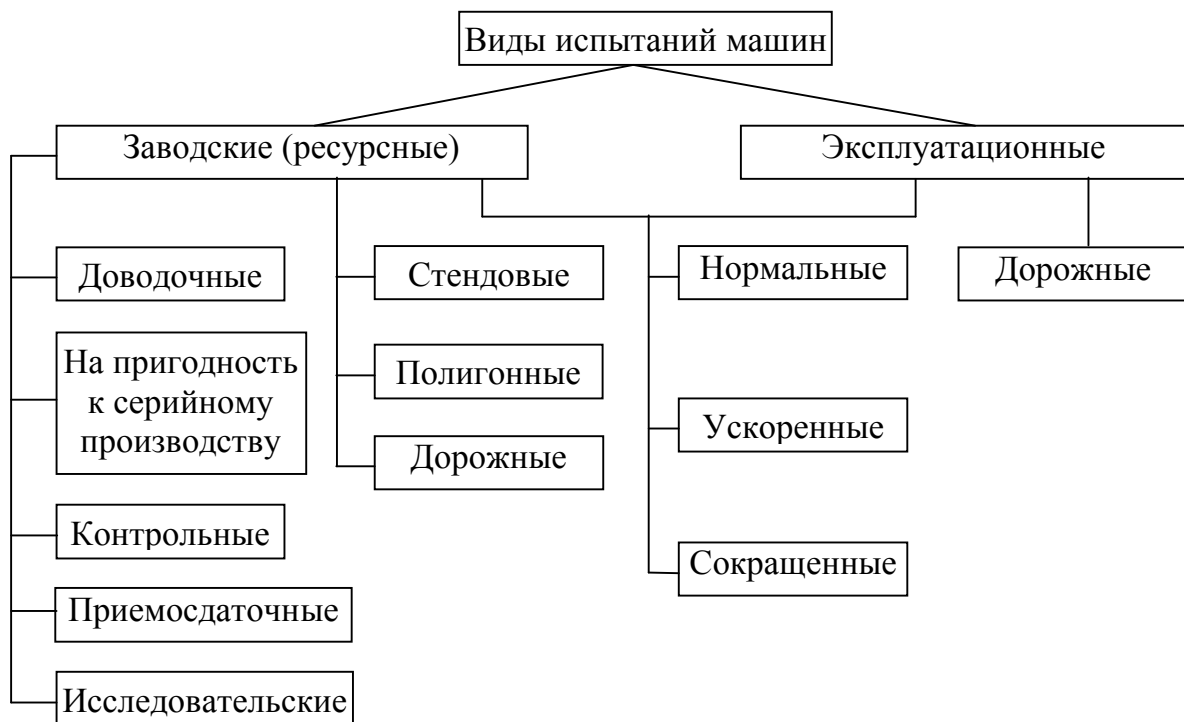


Рис.1.6. Классификация видов испытаний

Сбор информации осуществляется на подконтрольных партиях автомобилей. При этом фиксируются не только отказы и неисправности, но и различные виды воздействий на автомобиль

(техническое обслуживание, текущий ремонт); условия эксплуатации автомобилей (перевозимый груз, длина езды, процент движения на различных типах дорог). Собранный таким образом информация непосредственно обрабатывается на предприятии или отправляется на заводы-изготовители в виде специальных справок-запросов, которые подвергаются анализу, систематизации и статистической обработке.

Все виды испытаний *по продолжительности* подразделяются:

- на нормальные (полные);
- ускоренные;
- сокращенные (незавершенные).

Нормальные (полные) испытания ведутся до отказа всех исследуемых автомобилей (узлов, агрегатов), поставленных на испытания. Данные испытания представляют собой полную выборку.

Ускоренные – ведутся до тех пор, пока каждый из N автомобилей, поставленных на испытания, достигает заранее обусловленной величины наработки или до отказа определенного количества n автомобилей ($n < N$).

Сокращенные (незавершенные) испытания – это испытания, когда к моменту прекращения наблюдений n из N автомобилей, поставленных на испытания, отказали, а остальные – работоспособны и имеют различную наработку.

Требования к информации

Сбор информации о надежности машин проводят в соответствии с требованиями отраслевой нормативно-технической документации.

Информация о надежности машин должна удовлетворять следующим требованиям:

1) *полнота информации*, под которой понимается наличие всех сведений, необходимых для проведения оценки и анализа надежности;

2) *достоверность информации*, т.е. все сообщения об отказах должны быть точными;

3) *своевременность информации* позволяет быстрее устранять причины отказов и принимать меры по устранению выявленных недостатков;

4) *непрерывность информации* позволяет сопоставлять результаты расчетов, полученные в первый и последующий периоды эксплуатации и избавляет от ошибок.

1.8. Нормирование показателей надежности

С целью создания высоконадежных объектов необходимо нормирование надежности – установление номенклатуры и количественных значений основных показателей надежности элементов объекта.

Номенклатуру показателей надежности выбирают в зависимости от класса изделий, режимов эксплуатации, характера отказов и их последствий. Выбор показателей надежности может определяться заказчиком.

Все изделия подразделяются на следующие классы:

- неремонтируемые и невосстанавливаемые изделия общего назначения. Составные части изделий, невосстанавливаемые на месте эксплуатации и не подлежащие ремонту (например, подшипники, шланги, тонеры, крепежные детали, радиодетали и др.), а также невосстанавливаемые изделия самостоятельного функционального назначения (например, электрические лампы, контрольные приборы и др.);

- восстанавливаемые изделия, подвергающиеся плановым техническим обслуживаниям, текущему и среднему ремонту, а также изделия, подвергающиеся капитальному ремонту;

- изделия, предназначенные для выполнения кратковременных разовых или периодических заданий.

Режимы эксплуатации изделий могут быть следующими:

- непрерывными, когда изделие работает непрерывно в течение определенного времени;

- циклическими, когда изделие работает с заданной периодичностью в течение определенного времени;

- оперативными, когда неопределенный период простоя сменяется периодом работы заданной продолжительности.

Обычно нормируют вероятность безотказной работы $P(t)$ с оценкой ресурса T_p , в течение которого она регламентируется. Значение T_p должно быть согласовано со структурой и периодичностью ремонтных работ и технического обслуживания, а допустимая вероятность безотказной работы является мерой опасности последствий отказа.

Градации изделий по классам надежности представлена в табл. 1.2.

Значения $P(t)$ заданы для определенного периода эксплуатации T_p при условии строгой регламентации и выполнения режимов работы и условий эксплуатации.

Классы надежности

Класс надежности	0	1	2	3	4	5
Допустимое значение $P(t)$	$< 0,9$	$\geq 0,9$	$\geq 0,99$	$\geq 0,999$	$\geq 0,9999$	1

В нулевой класс входят малоответственные детали и узлы, отказ которых остается практически без последствий. Для них хорошим показателем надежности может быть средний срок службы, наработка на отказ или параметр потока отказов.

Классы с первого по четвертый характеризуются повышенными требованиями к безотказной работе (номер класса соответствует числу девяток после запятой). В пятый класс включаются высоконадежные изделия, отказ которых в заданный период недопустим.

В автомобилестроении обычно задаются значения коэффициента готовности K_g , среднее время нахождения в работоспособном состоянии T_p , наработка до первого отказа и средняя наработка на отказ.

Для транспортных машин очень важно выявить и количественно оценить отказы, которые влияют на безопасность их работы. По американской методике FMESCA безопасность системы оценивается вероятностью безотказной работы с учетом двух параллельных показателей: категории последствий и уровня опасности.

Категория последствий оценивает степень серьезности тех последствий, к которым может привести отказ:

- I класс – отказ не приводит к травмированию персонала;
- II класс – отказ приводит к травмированию персонала;
- III класс – отказ приводит к серьезной травме или смерти;
- IV класс – отказ приводит к серьезным травмам или смерти группы людей.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните понятия качество, надежность, предмет, объект надежности, общая теория надежности, прикладная теория надежности.
2. Этапы развития теории надежности.
3. Дайте определения основных состояний и событий в надежности.
4. Приведите классификацию отказов.

5. В чем состоит различие между восстанавливаемыми и невозстанавливаемыми изделиями?

6. Что представляет собой кривая изменения интенсивности отказов во времени и кривая изменения эксплуатационных затрат от наработки изделия во времени?

9. Дайте определения основных показателей надежности безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

11. Дайте определения показателей для оценки безотказности – вероятности безотказной работы и вероятности отказа, параметра потока отказов, средней наработки на отказ, средней наработки до отказа, гамма-процентной наработки до отказа, интенсивности отказов. Каковы единицы их измерения?

12. Дайте определения показателей для оценки долговечности – технического ресурса, срока службы, гамма-процентного ресурса и срока службы. Каковы единицы их измерения?

13. Чем отличается технический ресурс от срока службы изделия?

14. Дайте определения показателей для оценки сохраняемости – среднего и гамма-процентного сроков сохраняемости.

15. Дайте определения показателей для оценки ремонтпригодности – времени восстановления и среднего времени восстановления работоспособности, вероятности восстановления работоспособности в заданные сроки, интенсивности восстановления.

16. Дайте определения комплексных показателей надежности – коэффициента технического использования, коэффициента готовности.

17. Перечислите основные виды испытаний технических объектов.

18. Основные требования, предъявляемые к информации о надежности машин.

19. Перечислите основные методы нормирования показателей надежности.

20. Поясните градацию изделий по классам надежности.

21. Что такое категория последствий отказов?

22. Что такое уровень опасности отказов?

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ

2.1. Математический аппарат для обработки случайных величин

Надежность объектов нарушается возникающими отказами. Отказы рассматривают как случайные события. Для количественной оценки надежности используются методы теории вероятности и математической статистики.

Показатели надежности могут определяться:

- аналитическим путем на основе математической модели – математического определения надежности;
- в результате обработки опытных данных – статистическое определение показателя надежности.

Момент возникновения отказа, частота возникновения отказов – величины случайные. Поэтому базовыми методами для теории надежности являются методы теории вероятности и математической статистики.

Случайная величина – величина, которая в результате опыта принимает одно, наперед неизвестное значение, зависящее от случайных причин. Случайные величины могут быть дискретными и непрерывными.

Как известно из теории вероятности и математической статистики, общими характеристиками случайных величин являются:

1. Среднее арифметическое значение.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где x_i – реализация случайной величины в каждом наблюдении; n – число наблюдений.

2. Размах. Понятие размаха в теории статистики используется в качестве меры рассеивания случайной величины.

$$R = x_{\max} - x_{\min},$$

где x_{\max} – максимальное значение случайной величины; x_{\min} – минимальное значение случайной величины.

3. *Среднее квадратическое отклонение* является также мерой рассеивания случайной величины.

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

4. *Коэффициент вариации* также характеризует рассеивание случайной величины с учетом средней величины. Коэффициент вариации определяется по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}}.$$

Различают случайные величины с малой вариацией ($V \leq 0,1$), средней вариацией ($0,1 < V \leq 0,33$) и большой вариацией ($V > 0,33$). Если коэффициент вариации $V < 0,33$, то случайная величина подчиняется нормальному закону распределения. Если коэффициент вариации $0,33 < V \leq 1$, то – распределению Вейбулла. Если коэффициент вариации $V = 1$, то – равновероятному распределению.

В теории и практике надежности чаще всего используются следующие законы распределения: нормальный, логарифмически нормальный, Вейбулла, экспоненциальный.

Законом распределения случайной величины называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Для характеристики закона распределения случайной величины используются следующие функции.

1. *Функция распределения случайной величины* – функция $F(x)$, определяющая вероятность того, что случайная величина X в результате испытаний примет значение меньше или равное x :

$$F(x) = P(X \leq x).$$

Функция распределения случайной величины может быть представлена графиком (рис. 2.1).

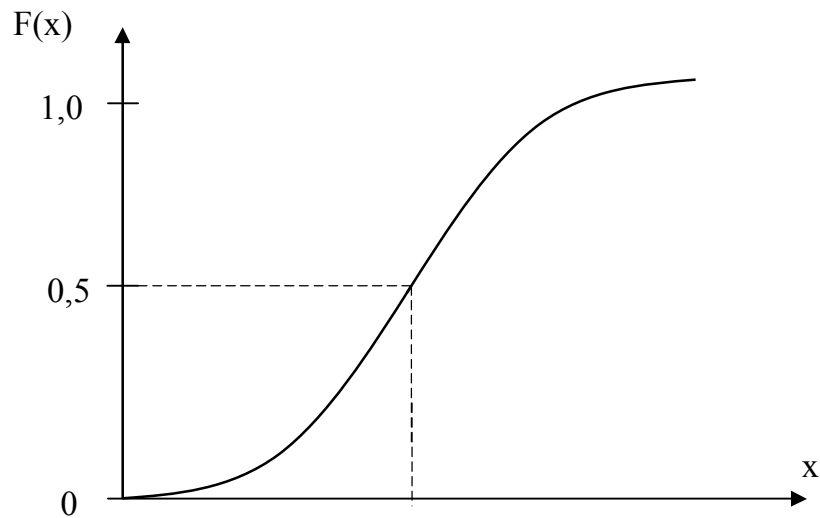


Рис. 2.1. Функция распределения случайной величины

2. Плотность распределения вероятностей случайной величины

$$f(x) = F'(x) .$$

Плотность вероятности характеризует вероятность того, что случайная величина примет конкретное значение x (рис. 2.2).

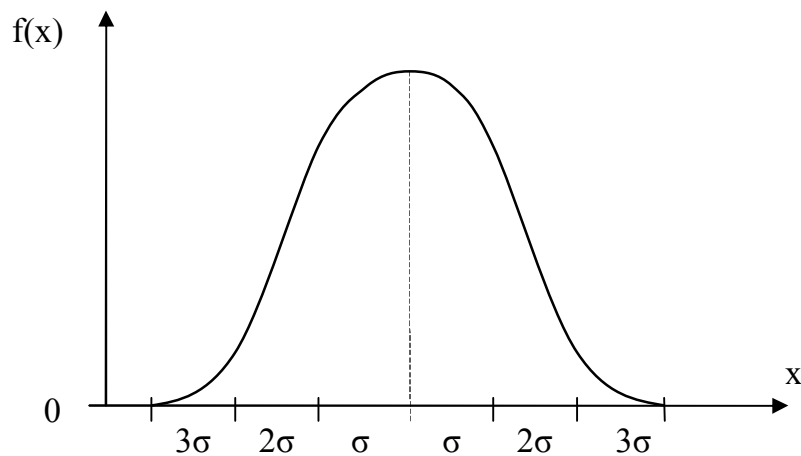


Рис. 2.2. Плотность распределения вероятностей (нормальный закон распределения)

Экспериментальной оценкой плотности вероятности случайной величины является гистограмма распределения случайной величины (рис. 2.3).

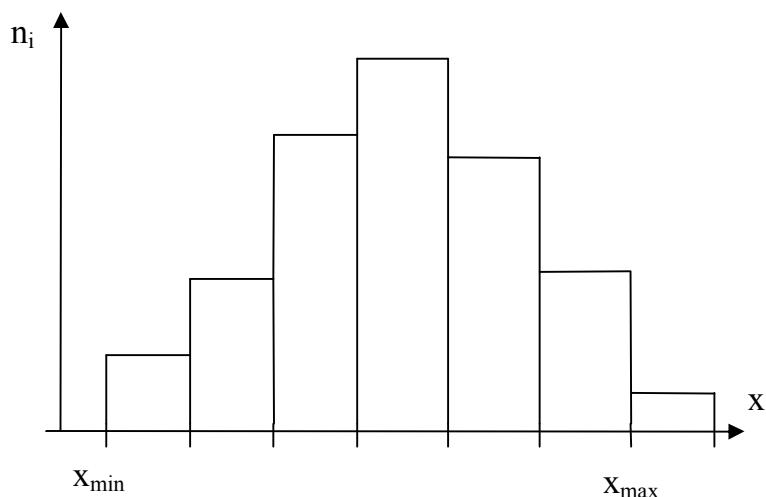


Рис. 2.3. Гистограмма распределения случайной величины

Гистограмма показывает зависимость количества наблюдаемых значений случайной величины в определенном интервале значений от границ этих интервалов. По гистограмме можно приближенно судить о плотности распределения случайной величины.

При построении гистограммы в выборке случайной величины x из n значений определяют наибольшее x_{\max} и наименьшее x_{\min} значения. Диапазон изменения величины R разбивают на m одинаковых интервалов. Затем подсчитывают число наблюдаемых значений случайной величины n_i , попадающих в каждый i -й интервал.

2.2. Некоторые законы распределения случайной величины

2.2.1. Нормальное распределение

Закон нормального распределения является основным в математической статистике. Он формируется тогда, когда на протяжении исследуемого процесса на его результат влияет сравнительно большое число независимых факторов, каждое из которых, в отдельности, оказывает лишь незначительное действие по сравнению с суммарным влиянием всех остальных.

Плотность распределения (частота отказов) при нормальном законе определяется по формуле

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}}.$$

Функция распределения (вероятность отказа) данного закона находится по формуле

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}} dx.$$

Функция надежности (вероятность безотказной работы) противоположна функции распределения

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

Интенсивность отказов вычисляется по формуле

$$\lambda(x) = \frac{\bar{x}}{F(x)}.$$

Графики основных характеристик надежности при нормальном законе приведены на рис. 2.4.

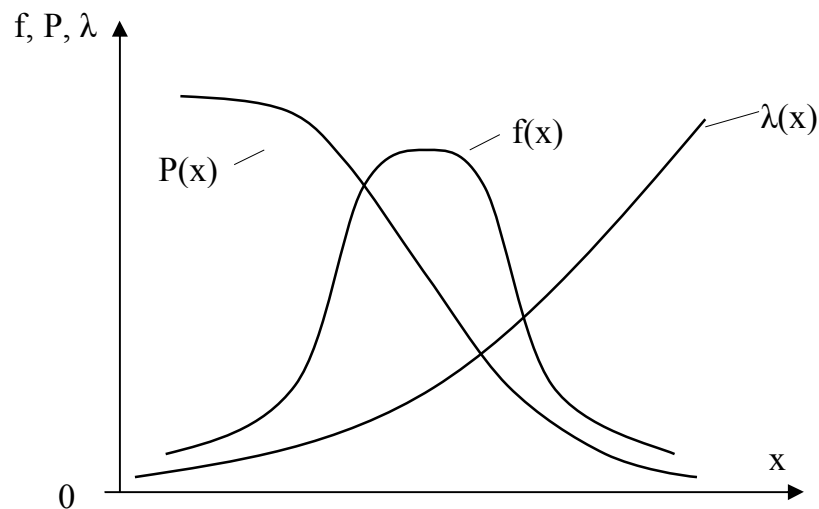


Рис. 2.4. Характеристики надежности машин при нормальном законе распределения

Более 40 % различных случайных явлений, связанных с эксплуатацией автомобилей, описываются нормальным законом:

- зазоры в подшипниках, обусловленные износом;
- зазоры в зацеплении главной передачи;
- зазоры между тормозным барабаном и колодками;
- периодичность первых отказов рессор и двигателя;
- периодичность ТО-1 и ТО-2, а также время выполнения различных операций.

2.2.2. Экспоненциальное распределение

Закон экспоненциального распределения нашел широкое применение, особенно в технике. Основной отличительной чертой этого закона является то, что вероятность безотказной работы не зависит от того, сколько проработало изделие с начала эксплуатации. Закон не учитывает постепенного изменения параметров технического состояния, а рассматривает так называемые «нестареющие» элементы и их отказы. Как правило, данный закон описывает надежность работы изделия в период его нормальной эксплуатации, когда постепенные отказы еще не проявляются и надежность характеризуется только внезапными отказами. Эти отказы вызываются неблагоприятным сочетанием различных факторов и поэтому имеют постоянную интенсивность λ . Экспоненциальное распределение часто называют основным законом надежности.

Плотность распределения (частота отказов) при экспоненциальном законе определяется по формуле

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}.$$

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном законе выражается

$$P(x) = e^{-\lambda \cdot x},$$

где λ – интенсивность отказов.

Интенсивность отказов для экспоненциального распределения является постоянной величиной.

Наработка на отказ находится по формуле

$$T_o = \frac{1}{\lambda}.$$

При экспоненциальном законе *среднеквадратичное отклонение* и коэффициент вариации вычисляются следующим образом:

$$\sigma = T_o = \frac{1}{\lambda},$$

$$V = \frac{\sigma}{T_o} = 1.$$

Графики основных характеристик надежности при экспоненциальном законе приведены на рис. 2.5.

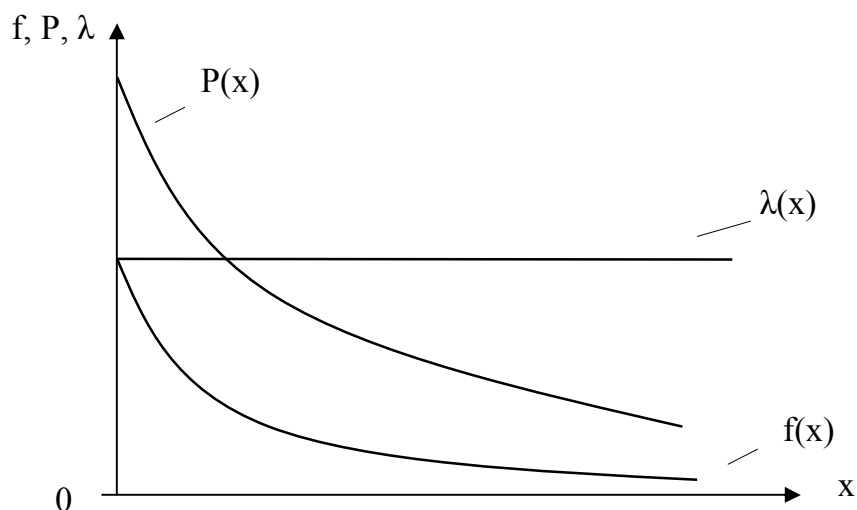


Рис. 2.5. Характеристика надежности машин при экспоненциальном законе

Экспоненциальный закон достаточно хорошо описывает отказ следующих параметров:

- наработку до отказа многих невосстанавливаемых элементов радиоэлектронной аппаратуры;
- наработку между соседними отказами при простейшем потоке отказов (после окончания периода приработки);
- время восстановления после отказов и т.д.

2.2.3. Распределение Вейбулла

Распределение Вейбулла является универсальным, так как при изменении параметров оно может описывать практически любые процессы: нормального распределения, логарифмически нормального, экспоненциального.

Плотность распределения (частота отказов) при распределении Вейбулла определяется по формуле

$$f(x) = \lambda \cdot \alpha \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda \cdot x^\alpha},$$

где λ – параметр масштаба; α – параметр формы.

Вероятность безотказной работы при законе распределения Вейбулла выражается

$$P(x) = e^{-\lambda \cdot x^\alpha}.$$

Интенсивность отказов определяется по формуле

$$\lambda(x) = \alpha \cdot \lambda \cdot x^{\alpha-1}.$$

На рис. 2.6 изображены графики надежности при распределении Вейбулла.

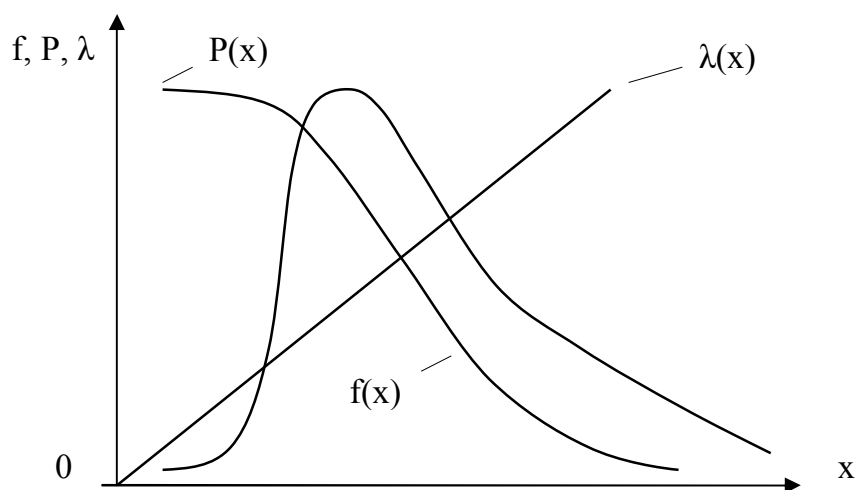


Рис. 2.6. Характеристика надежности машин при законе распределения Вейбулла ($\lambda = 1$; $\alpha = 2$)

Закон распределения Вейбулла описывает отказы многих узлов и деталей автомобилей:

- подшипников качения;
- шарниров рулевого привода, карданной передачи;
- разрушение полуосей.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение характеристикам рассеяния случайных распределений – среднему значению, среднему квадратическому отклонению и коэффициенту вариации.

2. Дайте понятие и поясните назначение законов распределения случайных величин.

3. В каких случаях на практике целесообразно применять нормальное распределение, каков вид кривых его плотности и функции распределения?

4. В каких случаях на практике целесообразно применять экспоненциальное распределение, каков вид кривых его плотности и функции распределения?

5. В каких случаях на практике целесообразно применять распределение Вейбулла, каков вид кривых его плотности и функции распределения?

6. Каковы понятие и методика построения гистограммы и кривой эмпирического распределения?

3. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Под сложной системой понимается объект, предназначенный для выполнения заданных функций, который может быть расчленен на элементы, каждый из которых также выполняет определенные функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы.

Понятие сложной системы условно. Оно может применяться как к отдельным узлам и механизмам (двигатель, система подачи топлива к двигателю), так и к самой машине (станок, трактор, автомобиль, самолет).

3.1. Особенности сложных систем

1. Сложная машина состоит из большого количества элементов, каждый из которых имеет свои характеристики надежности.

Пример: автомобиль состоит из 15–18 тыс. деталей, каждая из которых имеет свои характеристики надежности.

2. Не все элементы одинаково влияют на надежность машины. Многие из них влияют лишь на эффективность ее работы, а не на ее отказ. Степень влияния каждого элемента на надежность машины зависит от многих факторов, таких как: назначение элемента, характер взаимодействия элемента с другими элементами машины, структура машины, вид соединений элементов между собой.

Например: неисправность системы питания автомобиля может вызвать перерасход топлива, т.е. неисправность, а отказ системы зажигания может привести к отказу всего автомобиля.

3. Каждый экземпляр сложной машины имеет индивидуальные черты, т.к. незначительные вариации свойств отдельных элементов машины сказываются на выходных параметрах самой машины. Чем сложнее машина, тем большими индивидуальными особенностями она обладает.

Элементы сложной машины

При анализе надежности сложных машин их разбивают на элементы (звенья) с тем, чтобы вначале рассмотреть параметры и характеристики элементов, а затем оценить работоспособность всей машины.

Теоретически любую сложную машину можно условно разделить на большое число элементов, понимая под элементом узел, агрегат или деталь.

Под элементом будем понимать составную часть сложной машины, которая может характеризоваться самостоятельными входными и выходными параметрами.

Классификация элементов

При анализе надежности сложного изделия все его элементы и детали целесообразно разделить на следующие группы:

1. *Элементы, работоспособность которых за срок службы практически не изменяется.* Для автомобиля это его рама, корпусные детали, малонагруженные элементы с большим запасом прочности.

2. *Элементы, работоспособность которых меняется в течение срока службы машины.* Эти элементы, в свою очередь, подразделяются на:

2.1. Не лимитирующие надежность машины. Срок службы таких элементов сопоставим со сроком службы самой машины.

2.2. Лимитирующие надежность машины. Срок службы таких элементов меньше срока службы машины.

2.3. Критические по надежности. Срок службы таких элементов не очень большой, от 1 до 20 % срока службы самой машины.

Применительно к автомобилю количество этих элементов распределяется следующим образом (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация элементов машин

Номер элемента по классификации	Группа деталей	Количество	
		тыс.шт.	%
1	Практически не меняют свою работоспособность	8–9	50–53
2	Меняют свою работоспособность	7–9	47–50
2.1	Не лимитирующие надежность	4–5	27–28
2.2	Лимитирующие надежность	2,5–3,5	18–19
2.3	Критические по надежности	0,3–0,5	2–4

3.2. Структура сложных систем

С позиций теории надежности могут быть следующие структуры сложных машин (рис. 3.1):

1) *расчлененные* – у которых надежность отдельных элементов может быть заранее определена, так как отказ элемента можно рассматривать как независимое событие;

2) *связанные* – у которых отказ элементов является зависимым событием, связанным с изменением выходных параметров всей машины;

3) *комбинированные* – состоящие из подсистем со связанной структурой и с независимым формированием показателей надежности для каждой из подсистем.

Для транспортной машины как сложной системы характерна комбинированная структура, когда надежность отдельных подсистем (агрегатов, узлов) может рассматриваться независимо.

Соединение элементов в сложной машине может быть *последовательным, параллельным и смешанным* (комбинированным).

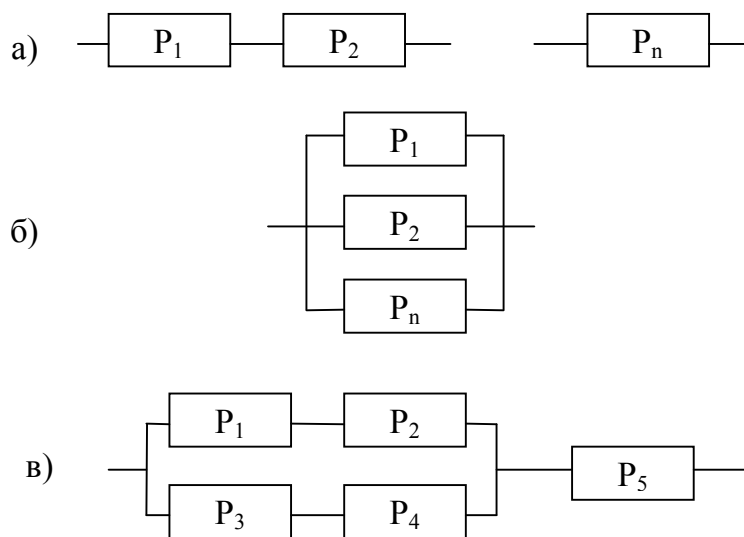


Рис. 3.1. Схемы соединений элементов:
а) последовательное; б) параллельное;
в) смешанное; P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента

В конструкции автомобиля имеют место все виды соединений, примеры которых приведены на рис. 3.2.

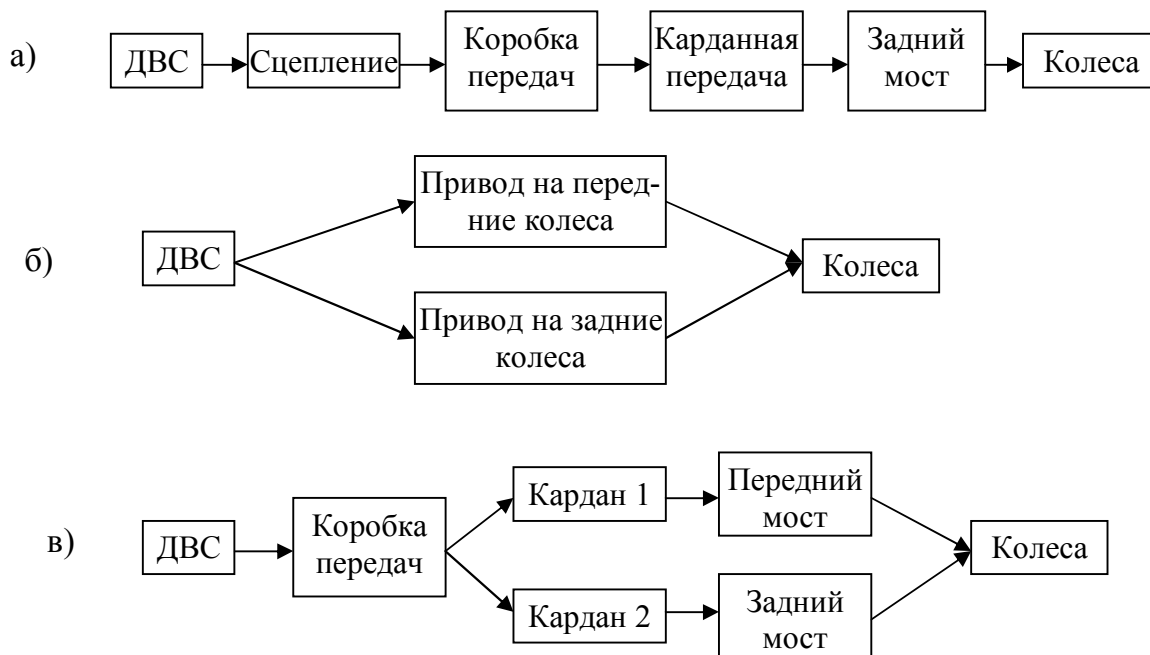


Рис. 3.2. Виды соединений элементов в конструкции автомобиля:
 а) последовательное; б) параллельное; в) комбинированное

3.3. Особенности расчета надежности сложных систем

3.3.1. Расчет надежности системы при последовательном соединении ее элементов

Наиболее характерен случай, когда отказ одного элемента выводит из строя всю систему, как это имеет место при последовательном соединении элементов (рис. 3.2, а).

Например, большинство приводов машин и механизмы передач подчиняются этому условию. Так, если в приводе машины выйдет из строя любая шестерня, подшипник, муфта и т.д., то весь привод перестанет функционировать. При этом отдельные элементы не обязательно должны быть соединены последовательно. Например, подшипники на валу редуктора работают конструктивно параллельно друг с другом, однако выход из строя любого из них приводит к отказу системы.

Вероятность безотказной работы системы с последовательным соединением элементов

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

Из формулы видно, что даже если сложная машина состоит из элементов высокой надежности, то в целом она обладает низкой надежностью за счет наличия большого числа элементов в ее конструкции, соединенных последовательно.

В конструкции автомобиля имеет место в основном последовательное соединение элементов. В этом случае отказ любого элемента вызывает отказ самого автомобиля.

Пример расчета из области автомобильного транспорта: у агрегата автомобиля, состоящего из четырех последовательно соединенных элементов, вероятность безотказной работы элементов за определенную наработку составляет $P_1 = 0,98$; $P_2 = 0,65$; $P_3 = 0,88$ и $P_4 = 0,57$. В этом случае вероятность безотказной работы за ту же наработку всего агрегата равна $P_c = 0,98 \cdot 0,65 \cdot 0,88 \cdot 0,57 = 0,32$, т.е. очень и очень низкая.

Иными словами, надежность автомобиля с последовательно соединенными элементами ниже надежности самого слабого его звена. Поэтому при усложнении конструкции автомобиля, его агрегатов и систем, одним из проявлений которого является увеличение числа элементов в системе, требования к надежности каждого элемента и их равнопрочности резко возрастают.

3.3.2. Расчет надежности системы при параллельном соединении ее элементов

При параллельном соединении элементов вероятность безотказной работы системы

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

Например: если вероятность безотказной работы каждого элемента $P = 0,9$, а количество элементов равно трем ($n = 3$), то $P(t) = 1 - (0,1)^3 = 0,999$. Таким образом, вероятность безотказной работы системы резко повышается и становится возможным создание надежных систем из ненадежных элементов.

Параллельное соединение элементов в сложных системах повышает ее надежность.

3.4. Резервирование

Для повышения надежности сложных систем часто применяют структурное резервирование, то есть введение в структуру объекта дополнительных элементов, выполняющих функции основных элементов в случае их отказа.

Классификация резервирования

Классификация различных способов резервирования осуществляется по следующим признакам:

1. По схеме включения резерва:

1.1. **Общее резервирование**, при котором резервируется объект в целом.

1.2. **Раздельное резервирование**, при котором резервируются отдельные элементы или их группы.

1.3. **Смешанное резервирование**, при котором различные виды резервирования сочетаются в одном объекте.

2. По способу включения резерва:

2.1. **Постоянное резервирование** – без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента.

2.2. **Динамическое резервирование**, при котором при отказе элемента происходит перестройка структуры схемы. В свою очередь оно подразделяется:

– на **резервирование замещением**, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного;

– **скользящее резервирование**, при котором несколько основных элементов резервируется одним или несколькими резервными, каждый из которых может заменить любой основной (т.е. группы основных и резервных элементов идентичны).

3. По состоянию резерва:

3.1. **Нагруженное (горячее) резервирование**, при котором резервные элементы (или один из них) постоянно присоединены к основным и находятся в одинаковом с ними режиме работы; оно применяется тогда, когда не допускается прерывания функционирования системы во время переключения отказавшего элемента на резервный.

3.2. Облегченное резервирование, при котором резервные элементы (по крайней мере один из них) находятся в менее нагруженном режиме по сравнению с основными, и вероятность их отказа в этот период мала.

3.3. Ненагруженное (холодное) резервирование, при котором резервные элементы до начала выполнения ими функций находятся в ненагруженном режиме. В этом случае для включения резерва необходимо соответствующее устройство. Отказ ненагруженных резервных элементов до включения вместо основного элемента невозможен.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните понятие сложной системы и ее особенности с позиций надежности.
2. Перечислите четыре группы элементов сложных систем.
3. Поясните отличия основных типов структур сложных систем – расчлененных, связанных и комбинированных.
4. Поясните расчет схемной надежности сложных систем при последовательном соединении элементов.
5. Поясните расчет схемной надежности сложных систем при параллельном соединении элементов.
6. Поясните термин структурного резервирования.
7. Перечислите виды резервирования в зависимости от схемы включения резерва.
8. Перечислите виды резервирования в зависимости от способа включения резерва.
9. Перечислите виды резервирования в зависимости от состояния резерва.

4. ИЗНАШИВАНИЕ

От 80 до 90 % подвижных сопряжений машин выходят из строя вследствие износа. При этом снижаются КПД, точность, экономичность, надежность и долговечность машин. Процесс взаимодействия поверхностей при их относительном движении изучает такая научно-техническая дисциплина, как трибология, объединяющая проблемы трения, износа и смазки.

4.1. Виды трения

Существуют четыре вида трения:

1. Сухое трение возникает при отсутствии смазки и загрязнений между трущимися поверхностями. Обычно сухое трение сопровождается скачкообразным перемещением поверхностей.

2. Граничное трение наблюдается в том случае, когда поверхности трущихся тел разделены слоем смазки толщиной от 0,1 мкм до толщины одной молекулы, который называется граничным. Его наличие снижает силы трения от двух до десяти раз по сравнению с сухим трением и уменьшает износ сопряженных поверхностей в сотни раз.

3. Полусухое трение – это смешанное трение, когда на площади контакта тел трение местами граничное, а на остальной части сухое.

4. Жидкостное трение характеризуется тем, что трущиеся поверхности полностью разделены толстым слоем смазки. Слои смазки, находящиеся от поверхности на расстоянии свыше 0,5 мкм, имеют возможность свободно перемещаться один относительно другого. При жидкостном трении сопротивление движению складывается из сопротивления скольжению слоев смазки относительно друг друга по толщине смазочного слоя и зависит от вязкости смазочной жидкости. Этот режим характеризуется весьма малым коэффициентом трения и является оптимальным для узла трения в отношении его износостойкости.

Следует отметить, что иногда в одном и том же механизме наблюдаются различные виды трения. Так, например, в двигателе внутреннего сгорания стенки цилиндров в нижней части смазываются обильно, вследствие чего при движении поршня на середине хода трение колец и поршня о стенку цилиндра приближается к жидкостному. При движении поршня вблизи верхней мертвой точки (особенно при

такте впуска) условия смазки колец и поршня резко ухудшаются, так как оставшаяся на стенках цилиндра масляная пленка претерпевает изменения под воздействием высокой температуры продуктов сгорания. Особенно плохо смазывается верхняя часть цилиндра. После пуска холодного двигателя возможно граничное и даже сухое трение компрессионных колец о стенки цилиндра, что является одной из причин повышенного износа цилиндров в верхней части.

4.2. Виды изнашивания

Изнашиванием называют процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Изнашивание обычно подразделяется на две группы:

1. Механическое – возникает в результате режущего или царапающего действия твердых частиц, находящихся между поверхностями трения:

1) *абразивное* – изнашивание поверхности детали, которое происходит в результате режущего или царапающего действия твердых тел или частиц;

2) *эрозионное* (гидроабразивное, газоабразивное, электроэрозионное) – изнашивание происходит в результате воздействия на поверхность детали движущегося с большой скоростью потока жидкости, газа, твердых частиц, в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока;

3) *кавитационное* – изнашивание возникает при относительном движении твердого тела и жидкости в условиях кавитации. Кавитация наблюдается в жидкости при падении давления в ней до давления насыщенных паров, когда нарушается сплошность потока жидкости и образуются кавитационные пузыри. В момент достижения предельного размера они начинают захлопываться с большой скоростью, что приводит к гидравлическому удару о поверхность металла;

4) *усталостное* – изнашивание под действием знакопеременных напряжений. Ему подвержены зубчатые передачи, подшипники качения и скольжения;

5) *адгезионное* – изнашивание (изнашивание при заедании) происходит при схватывании металлов в процессе трения с образованием прочных металлических связей в зонах непосредственного контакта поверхностей;

6) *изнашивание при фреттинге* – это механическое изнашивание мест проскальзывания плотно контактирующих поверхностей, находящихся под нагрузкой при колебательных, циклических, возвратно-поступательных относительных перемещениях с малыми амплитудами.

2. Коррозионно-механическое – возникает при трении материалов, вступающих в химическое взаимодействие с окружающей средой:

1) *окислительное изнашивание* – происходит в том случае, когда кислород, содержащийся в воздухе или в смазке, вступает во взаимодействие с металлом и образует на нем оксидную пленку, которая при трении истирается или отрывается от металла и удаляется со смазкой, а затем образуется вновь (примером окислительного изнашивания может служить изнашивание верхней части цилиндров двигателя внутреннего сгорания при действии кислотной коррозии, происходящей при низкой температуре стенок, особенно при работе непрогретого двигателя);

2) *изнашивание при фреттинг-коррозии* заключается в образовании на поверхностях взаимного касания деталей язв и продуктов коррозии в виде порошка или налета. Изнашивание при этом зависит от одновременно протекающих процессов микросхватывания, усталостного, коррозионно-механического и абразивного воздействия.

4.3. Характеристики изнашивания

Основными количественными характеристиками изнашивания являются износ, скорость изнашивания, интенсивность изнашивания.

Износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Износ (абсолютный или относительный) характеризует изменение геометрических размеров (линейный износ), массы (весовой износ) или объема (объемный износ) детали вследствие изнашивания и измеряется в соответствующих единицах.

Скорость изнашивания V_u (м/ч, г/ч, м³/ч) – отношение износа U к интервалу времени τ , в течение которого он возник:

$$V_u = \frac{U}{\tau}.$$

Интенсивность изнашивания J – отношение износа к обусловленному пути L , на котором происходило изнашивание, или объему проделанной работы:

$$J = \frac{U}{L}.$$

При линейном износе интенсивность изнашивания является безразмерной величиной, а при весовом – измеряется в единицах массы, отнесенной к единице пути трения.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения характеризуется износостойкостью – величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания, в соответствующих единицах.

В процессе работы машины показатели изнашивания деталей и сопряжений не сохраняют постоянных значений. Изменения износа деталей во времени в общем случае можно представить в виде модели, предложенной В.Ф. Лоренцом. В начальный период работы, называемый периодом приработки, наблюдается довольно быстрый износ деталей (рис. 4.1, участок I). Продолжительность этого периода обуславливается качеством поверхностей и режимом работы механизма и составляет обычно 1,5-2% ресурса узла трения. После приработки наступает период установившегося режима изнашивания (рис 4.1, участок II), определяющий долговечность сопряжений. Третий период – период катастрофического изнашивания (рис. 4.1, участок III) – характеризует предельное состояние механизма и ограничивает ресурс. Как видно из приведенных графиков, процесс изнашивания оказывает прямое, определяющее влияние на возникновение отказов и неисправностей узлов трения машин. Изменение показателей надежности во времени идентично изменению показателей изнашивания. Более высокая крутизна кривой $m = \varphi(\tau)$ на участке II объясняется тем, что с наработкой возникают отказы, вызванные, помимо износа, усталостным, коррозионным разрушением или пластическими деформациями.

Приработкой называют процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Процесс приработки характеризу-

ется интенсивным отделением с поверхностей трения продуктов износа, повышенным тепловыделением и изменением микрогеометрии поверхностей.

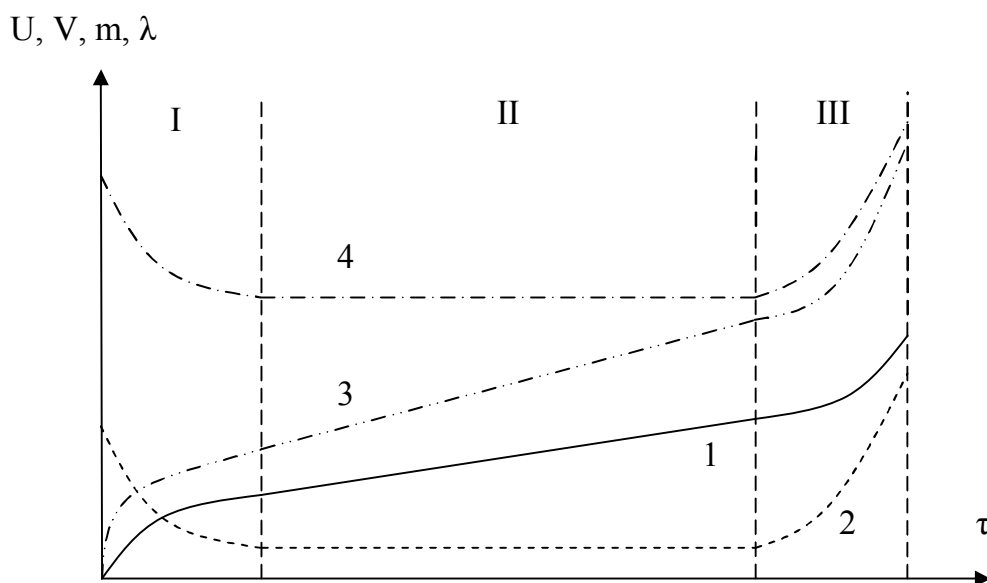


Рис. 4.1 – Изменение параметров сопряжения в процессе работы:
 1 – износа U ; 2 – скорости изнашивания V ; 3 – частоты отказов m ;
 4 – интенсивности отказов λ

При правильном выборе соотношения твердости деталей и режимов приработки довольно быстро наступает период так называемого нормального, или установившегося изнашивания (рис. 4.1, участок II). Этот период характеризуется небольшой, примерно постоянной, интенсивностью изнашивания и продолжается до тех пор, пока изменения размеров или формы деталей не повлияют на условия их работы, или до наступления предела усталости материала.

Накопление изменений геометрических размеров и физико-механических свойств деталей ведет к ухудшению условий работы сопряжения. Основным фактором при этом является повышение динамических нагрузок вследствие увеличения зазоров в трущихся парах. В результате наступает период катастрофического, или прогрессивного изнашивания (рис. 4.1, участок III). Описанная закономерность является условной и служит лишь иллюстрацией процесса изнашивания элементов машин.

4.4. Методы определения износа

1) Метод микрометрирования. Метод основан на измерении при помощи микрометра или измерительного прибора с индикатором параметров до и после изнашивания.

Недостатки метода:

– неизбежная разборка и сборка изделия до и после работы с целью измерения детали;

– выявленное изменение размера может быть следствием не только изнашивания поверхности, но и результатом деформации детали;

– разборка и сборка изделий в процессе эксплуатации резко снижает эксплуатационные качества машин.

2) Метод искусственных баз. Состоит в том, что на поверхности выдавливают или вырезают углубления заданной формы (пирамида или конус) и глубины. Наблюдая за изменением размера отпечатка, соотношение которого с глубиной заранее известно, можно определить местный линейный износ. Используются специальные приборы, позволяющие определять с точностью от 1,5 до 2 мкм для отверстий цилиндров двигателей, валов, а также плоских поверхностей.

Недостаток метода – также требует в большинстве случаев предварительной разборки изделий и поэтому имеет те же недостатки, что и метод микрометрирования.

3) Метод измерения износа по уменьшению массы. Основан на взвешивании детали до и после изнашивания. Обычно применяется при испытании деталей небольшой массы.

Недостаток метода – может оказаться неприемлемым, когда износ происходит вследствие не только отделения частиц, но и пластического деформирования.

4) Метод анализа содержания железа в масле. Основан на химическом анализе золы, получаемой сжиганием пробы масла. За период между двумя последовательными отборами проб учитывают общее количество масла в картере, его потерю и количество доливаемого масла.

Данный анализ является интегральным, так как продукты износа обычно отделяются одновременно от нескольких трущихся деталей. Точное определение количества железа осложняется тем, что крупные частицы продуктов износа могут оседать на стенках картера.

5) Метод радиоактивных изотопов. Заключается в том, что в материал изучаемой детали вводят радиоактивный изотоп. При этом

вместе с продуктами износа в масло будет попадать пропорциональное им количество атомов радиоактивного изотопа. По интенсивности их излучения в пробе масла можно судить о количестве металла, попавшего в масло за рассматриваемый период времени.

Преимущества метода:

– определяется износ определенной детали, а не суммарный для нескольких деталей;

– чувствительность повышается в сотни раз;

– ускоряется процесс исследования.

Недостатки метода:

– требуется специальная подготовка образцов исследуемых деталей;

– наличие специальной аппаратуры для измерения интенсивности излучения и принятие мер предосторожности для охраны здоровья людей.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое изнашивание?
2. Назовите различия и приведите примеры сухого, граничного, полусухого и жидкостного трения.
3. Приведите общую классификацию изнашивания.
4. Приведите классификацию механического изнашивания.
5. Приведите классификацию коррозионно-механического изнашивания.
6. Дайте определения характеристикам изнашивания – износу (линейному, объемному, массовому), скорости и интенсивности изнашивания, износостойкости и относительной износостойкости.
7. Поясните методики следующих экспериментальных методов определения износа: микрометрирования, метода искусственных баз, метода измерения износа по уменьшению массы, метода анализа содержания железа в масле, метода радиоактивных изотопов.
Каковы достоинства и недостатки перечисленных методов?
9. Назовите основные методы снижения интенсивности изнашивания.

5. КОРРОЗИОННЫЕ РАЗРУШЕНИЯ

Коррозией металлов и сплавов называется их самопроизвольное разрушение в результате химического, электрохимического взаимодействия с внешней средой, вследствие которого они переходят в окисленное состояние и изменяют физико-механические свойства.

Автомобили, используемые в условиях запыленности, высокой влажности, температур, являются ярко выраженными объектами, подверженными коррозионным разрушениям. При этом наиболее характерными элементами являются детали из тонколистовой стали кузова, рамы и подвески, резьбовые и сварные соединения, детали топливной аппаратуры (выпускные клапаны, верхняя часть гильз цилиндров и днища поршней), газовые трубопроводы.

5.1. Виды коррозии

Коррозионные процессы в зависимости от механизма взаимодействия металла со средой делятся на два типа – химическую и электрохимическую коррозию, и 36 видов, наиболее встречающимися из которых являются:

а) в зависимости от характера коррозионной среды:

- атмосферная,
- газовая,
- жидкостная,
- подземная (почвенная),
- биологическая;

б) в зависимости от условий протекания коррозионного процесса:

- структурная,
- подповерхностная,
- межкристаллитная,
- контактная,
- щелевая,
- коррозия под напряжением,
- коррозионная кавитация,
- фреттинг-коррозия;

в) в зависимости от вида коррозионного разрушения:

- сплошная,
- местная (локальная).

Химическая коррозия – процесс разрушения материала в результате непосредственного взаимодействия при высоких температурах с кислородом воздуха, сероводородом, водяными парами.

Основным условием возникновения химической коррозии является отсутствие электропроводящей среды, что нехарактерно для деталей автотранспортных средств. Однако в некоторых элементах кузова эту коррозию можно наблюдать. Так разрушаются (прогорают) выпускные трубы и глушители, разрушаются элементы кузова, непосредственно примыкающие к выпускному трубопроводу двигателя или к впускной трубе (например, юбка кузова автобуса, задний буфер легковых автомобилей).

Электрохимическая коррозия возникает в результате воздействия на металл среды (электролита). Она связана с возникновением и перетеканием электрического тока с одной поверхности на другую.

Интенсивность процесса электрохимической коррозии зависит от доступа кислорода к поверхности металла, химического состава сплава, плотности продуктов коррозии, которые могут резко замедлять электрохимический процесс структурной неоднородности металла, наличия и распределения внутренних напряжений.

Газовая коррозия происходит при высоких температурах в среде агрессивных газов при отсутствии влаги.

Межкристаллитная коррозия. Невидимая невооруженным глазом, представляет собой разрушение металла между кристаллами при действии знакопеременных нагрузок.

Контактная коррозия возникает при соединении двух металлов, имеющих различные потенциалы, и при наличии электролита.

Коррозия под напряжением возникает, когда деталь подвергается коррозии при динамическом или статическом напряжении.

Щелевая коррозия особенно распространена в кузовах ввиду того, что в них имеется большое количество щелей и зазоров. Щелевая коррозия развивается в местах постановки болтов, заклепок, в местах точечной сварки.

Коррозионная кавитация характерна для тех деталей кузова, которые подвергаются воздействию воды, например днище кузова. Капли влаги, попадая на днище, создают замыкание кавитационных пузырьков, гидравлические удары.

Сплошная коррозия возникает при эксплуатации автомобилей в загрязненной атмосфере, начинаясь на нижней поверхности днища, изнутри крыльев, и во внутренних полостях дверей и силовых эле-

ментов (порогов, поперечин, усилителей). Внутри салона она обычно возникает под ковриками пола.

Местная коррозия бывает межкристаллитной и в виде язв, точек, нитей. Коррозия в виде язв оставляет на металле отдельные очаги разрушения, в случае тонколистового металла – сквозные. Точечная коррозия возникает на деталях, имеющих пассивирующие пленки, и имеет вид точек, продукты ее выпадают в виде столбиков. Нитевая коррозия по характеру близка к межкристаллитной и возникает под слоем краски или другого защитного покрытия в виде извилистой нити, глубоко поражающей металл.

5.2. Методы борьбы с коррозией

Методы защиты от коррозии условно подразделяются на три группы:

- а) методы повышения коррозионной стойкости металлов:
 - нанесение лакокрасочных, гальванических (хромирование, никелирование, цинкование), химических (оксидирование, фосфатирование) или пластмассовых (газопламенное, вихревое и другие способы напыления) защитных покрытий;
 - использование сплавов, однородных по составу или с легирующими добавками, например, хрома, алюминия, кремния;
- б) методы воздействия на среду – герметизация сопряжений, устранение зазоров, введение в среду эксплуатационных материалов антикоррозионных присадок;
- в) комбинированные методы.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните понятие и важность проблемы коррозии для автомобильного транспорта.
2. Перечислите виды коррозии в зависимости от характера коррозионной среды, условий протекания коррозионного разрушения, вида коррозионного разрушения.
3. Каковы механизмы химической и электрохимической коррозии?
4. Перечислите и поясните на конкретных примерах основные методы борьбы с коррозией.

6. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

6.1. Основные понятия технической диагностики

Диагностика – это отрасль науки, которая изучает различное состояние технического объекта, имеет методики определения состояния технического объекта в настоящий момент времени, оценку состояния в прошлом и будущем.

Техническое состояние машины (узла, агрегата) оценивается параметрами, которые подразделяются на структурные и диагностические.

Структурный параметр – физическая величина, непосредственно характеризующая техническое состояние (работоспособность) машины (например, размеры сопряженных деталей и зазоры между ними); ее определяют прямыми замерами.

Диагностический параметр – физическая величина, косвенно характеризующая состояние машины (например, количество прорывающихся в картер газов, мощность двигателя, угар масла, стуки и т.д.); ее контролируют при помощи средств диагностики. Диагностические параметры отражают изменение структурных.

Между структурными и соответствующими им диагностическими параметрами существует определенная количественная связь. Например, величина зазоров в сопряжениях цилиндропоршневых групп (ЦПГ) диагностируется по количеству газов, прорывающихся в картер, и угару картерного масла; величина зазоров в подшипниках коленчатого вала – по давлению в масляной магистрали; степень разреженности аккумуляторной батареи – по плотности электролита.

Количественной мерой параметров состояния (структурных и диагностических) являются их значения, которые могут быть номинальными, допустимыми, предельными и текущими (рис. 6.1).

Номинальное значение параметра соответствует значению, которое установлено расчетом, и гарантируется изготовителем в соответствии с ТУ. Номинальное значение наблюдается у новых и капитально отремонтированных составных частей.

Допустимое значение (отклонение) параметра – граничное его значение, при котором составную часть машины после контроля допускают к эксплуатации без операций технического обслуживания или ремонта. Это значение приводят в технической документации на

обслуживание и ремонт машин. При допустимом значении параметра составная часть машины надежно работает до следующего планового контроля.

Предельное значение параметра – наибольшее или наименьшее значение параметра, которое может иметь работоспособная составная часть. При этом дальнейшая эксплуатация составной части или машины в целом без проведения ремонта недопустима из-за резкого увеличения интенсивности изнашивания сопряжений, чрезмерного снижения экономичности машины или нарушения требований безопасности.

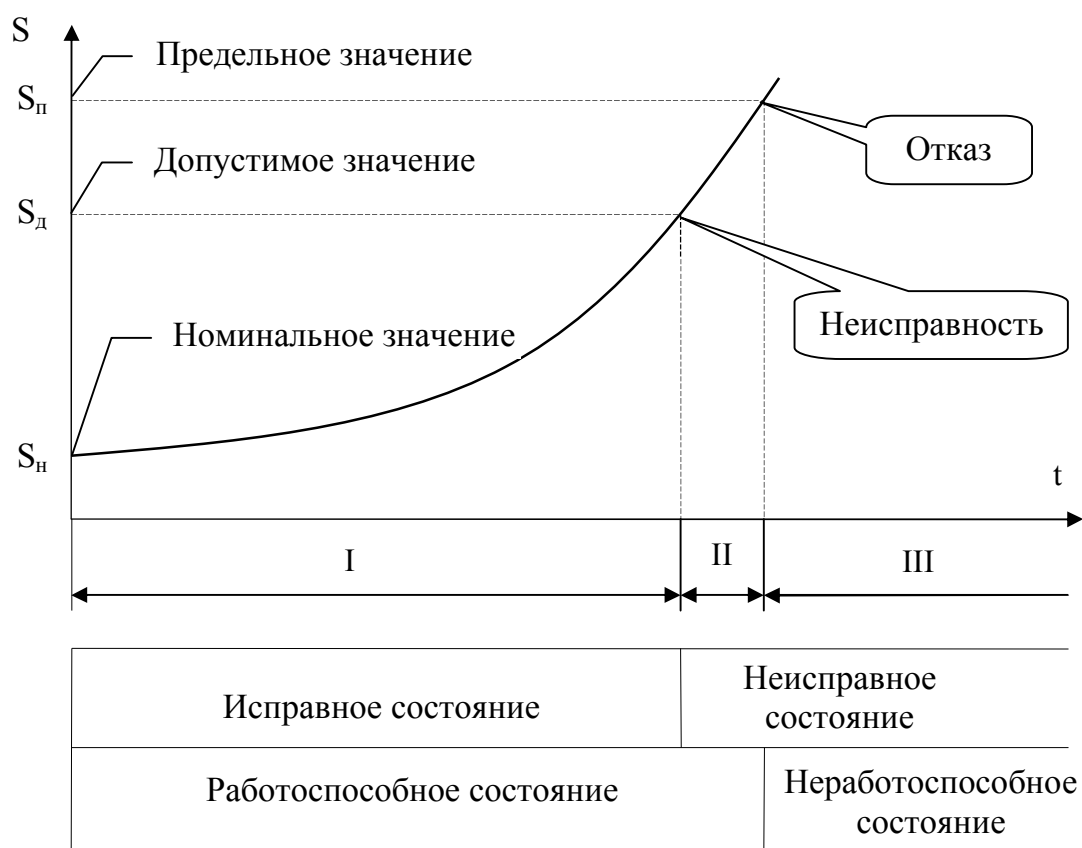


Рис 6.1. Определение понятий номинальное, допустимое, предельное значения параметра: I – работоспособное и исправное состояние; II – предотказное (работоспособное, но неисправное) состояние; III – неработоспособное (соответственно неисправное) состояние

Текущее значение параметра – значение параметра в каждый конкретный момент времени.

Предельные значения параметров состояния в зависимости от того, на основании каких критериев (признаков) они устанавливаются, делятся на три группы:

- технические;
- технико-экономические;
- технологические (качественные).

Технические критерии (признаки) характеризуют предельное состояние составных частей, когда они не могут больше выполнять свои функции по техническим причинам (например, предельное увеличение шага цепи свыше 40 % номинального значения приводит к ее проскальзыванию на звездочках и спаданию) или когда дальнейшая эксплуатация объекта приведет к аварийному отказу (например, работа при предельном давлении масла в магистрали приводит к выходу дизеля из строя).

Технико-экономические критерии, характеризующие предельное состояние, указывают на снижение эффективности использования объекта вследствие изменения технического состояния (например, при предельном износе ЦПГ угар картерного масла увеличивается более чем на 3,5 %, что указывает на нецелесообразность работы на таком двигателе).

Технологические критерии характеризуют резкое ухудшение качества выполнения работ по причине предельного состояния рабочих органов машин.

По объему и характеру информации диагностические параметры делятся:

- а) на общие (интегральные);
- б) поэлементные.

Общие параметры – это параметры, характеризующие техническое состояние объекта в целом. Они в большинстве случаев не дают сведений о конкретной неисправности машины.

Применительно к автомобильному транспорту к ним относятся: мощность на ведущих колесах, мощность двигателя, расход топлива, тормозной путь, вибрация, шум и т.д.

Поэлементные параметры – это параметры, которые указывают на вполне конкретную неисправность узла или механизма машины.

6.2. Задачи технической диагностики

Основными задачами технического диагностирования являются:

- установление вида и объема работ по ТО машины после выполнения ею определенной наработки;
- определение остаточного ресурса машины и степени ее готовности к выполнению механизированных работ;
- осуществление контроля качества профилактических операций при проведении ТО;
- выявление причин и характера неисправностей, возникающих в процессе использования машины.

Главной задачей технической диагностики является определение технического состояния объекта (машины) в требуемый момент времени. При решении этой задачи, в зависимости от момента времени, при котором требуется определить техническое состояние машины, различают три взаимосвязанных и дополняющих друг друга направления:

- техническая диагностика, т.е. определение технического состояния машины, в котором она находится в настоящий момент;
- техническая прогностика, т.е. научное предсказание технического состояния машины, в котором она окажется в некоторый будущий момент;
- техническая генетика, т.е. определение технического состояния машины, в котором она находилась в некоторый момент времени в прошлом (в технической литературе часто вместо термина «техническая генетика» используется термин «ретроспекция»).

Внедрение технической диагностики позволяет:

- сохранить оптимальные рабочие характеристики машины в течение всего срока службы;
- в 2...2,5 раза снизить простои автомобилей и других машин по причине технических неисправностей за счет предупреждения отказов; в 1,3...1,5 раза увеличить межремонтную наработку сборочных единиц и агрегатов машин;
- ликвидировать преждевременные разборки агрегатов и узлов и тем самым уменьшить интенсивность изнашивания деталей, сопряжений;
- полностью использовать межремонтный ресурс машин, их узлов и агрегатов, что обеспечит резкое сокращение расхода запасных частей;

- определить качество ТО и ремонта машины без ее разборки;
- уменьшить расход топлива и средств на содержание техники.

6.3. Выбор диагностических параметров

Выбор диагностических параметров осуществляют, как правило, на стадии проектирования диагностической системы, когда известен объект диагностирования и необходимо решение, по каким параметрам целесообразно оценивать изменение его технического состояния в эксплуатации.

В целях обоснованного выбора диагностических параметров системы предварительно устанавливают характер их связей с параметрами технического состояния (рис. 6.2).

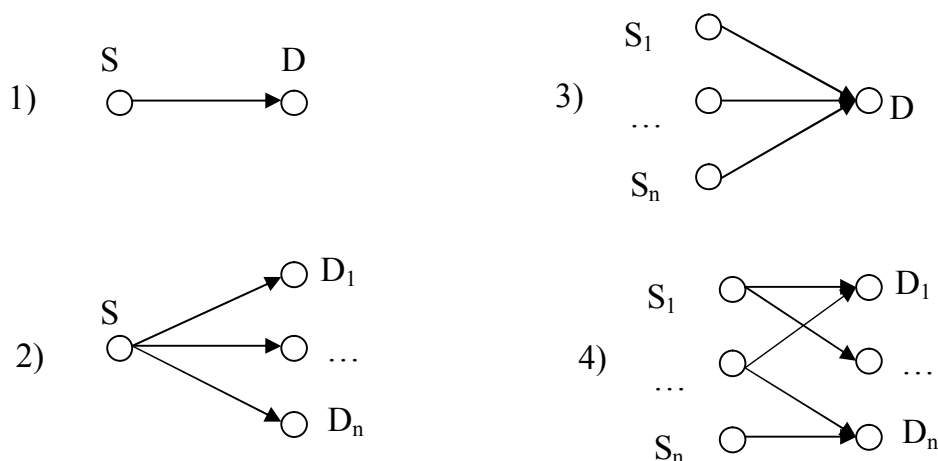


Рис. 6.2. Формы связей структурных и диагностических параметров: 1 – единичной; 2 – множественной; 3 – неопределенной; 4 – смешанной (комбинированной)

Диагностическими могут быть параметры, которые относятся к 1-й и (или) 2-й группе. Параметры 3-й и 4-й групп не отвечают условию однозначности и могут быть использованы только в качестве интегральных диагностических показателей.

Диагностические параметры должны обладать следующими свойствами (удовлетворять основным требованиям):

1) Однозначность. Предусматривает соблюдение условия, когда каждому значению структурного или функционального параметра соответствует одно-единственное значение диагностического параметра.

Так, параметры кривых 1 и 2 (рис. 6.3) не соответствуют критерию однозначности.

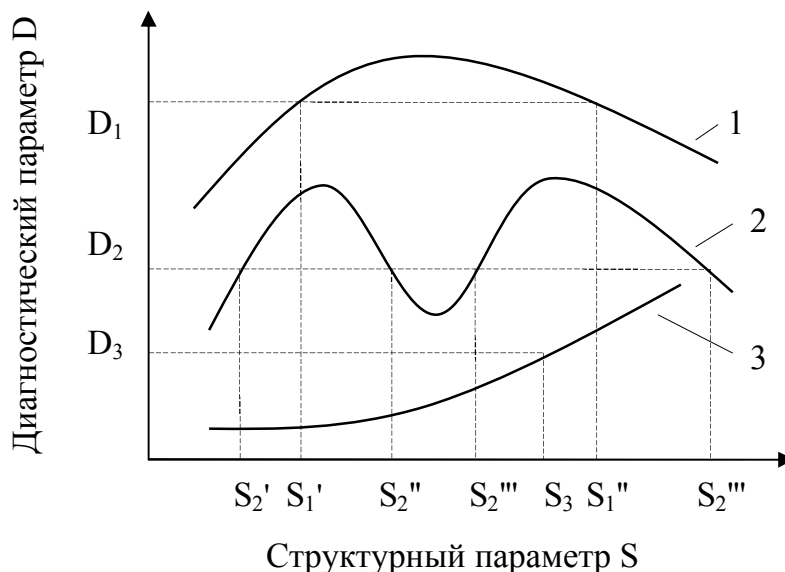


Рис 6.3. Требование однозначности к диагностическим параметрам: 1, 2 – кривые неоднозначной зависимости; 3 – кривая однозначной зависимости

2) Стабильность. Устанавливает возможную величину отклонения диагностического параметра от своего среднего значения, характеризующую рассеивание параметра при неизменных значениях структурных параметров и условиях их измерения. Чем меньше рассеивание, тем выше стабильность. Происходит это в основном из-за ошибки метода диагностирования. Нестабильность диагностического параметра снижает достоверность оценки объекта диагностики.

На рис. 6.4 диагностический параметр № 1 более стабилен, чем диагностический параметр № 2 ($\Delta D_1 < \Delta D_2$).

3) Чувствительность. Чувствительность диагностического параметра характеризуется соотношением (рис. 6.5)

$$r = \frac{D_{npi} - D_{ни}}{S_{npi} - S_{ни}} = \frac{\Delta D}{\Delta S},$$

где D_{npi} , $D_{ни}$ — номинальное и предельное значение диагностического параметра; S_{npi} , $S_{ни}$ — номинальное и предельное значение структурного параметра.

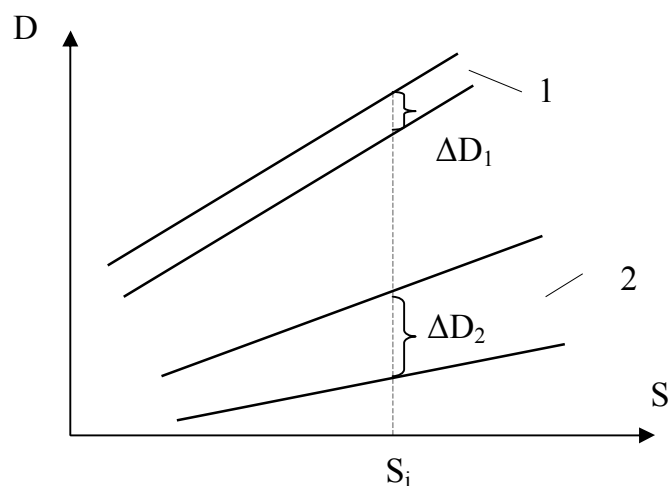


Рис. 6.4. Требование стабильности к диагностическим параметрам: 1 – более стабильный диагностический (равный коридор рассеивания); 2 – менее стабильный диагностический параметр (возрастающий коридор рассеивания)

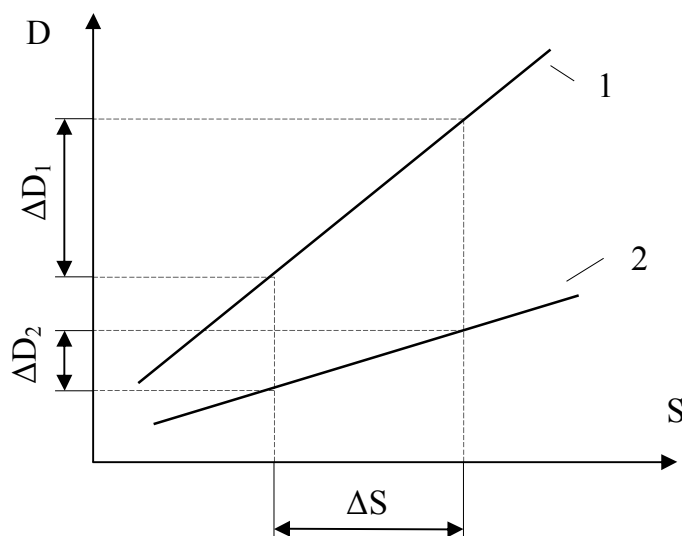


Рис. 6.5. Требование чувствительности к диагностическим параметрам: 1 – более чувствительный диагностический параметр; 2 – менее чувствительный диагностический параметр

На рис. 6.4 диагностический параметр № 1 более чувствителен, чем диагностический параметр № 2, т.к. приращение первого диагностического параметра (ΔD_1) больше, чем приращение второго (ΔD_2)

при одном и том же изменении структурного параметра ΔS . Свойство чувствительности является важным для оценки качества диагностического параметра и служит одним из основных критериев при выборе наиболее эффективного метода диагностирования.

4) Информативность. Оценивается количеством информации о техническом состоянии объекта, которое содержит этот параметр:

$$I_i = H(S) - H_i,$$

где H_i – энтропия системы после проведения технического диагностирования; $H(S)$ – полная энтропия системы.

$$H(S) = -\sum P_j \log P_j,$$

где P_j – вероятность возникновения в машине j -й неисправности, обнаруживаемой с помощью диагностирования.

Чем больше информации о техническом состоянии системы содержится в диагностическом параметре, тем меньше будет энтропия системы H_i после диагностирования, и следовательно, тем больше будет информативность диагностического параметра I_i .

5) Технологичность. Возможность измерения выходного параметра с минимальными затратами труда и средств. Технологичность определяется удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки результатов измерения. Характеризуется трудоемкостью и стоимостью диагностирования.

6.4. Закономерности изменения параметров состояния в процессе эксплуатации машин

В процессе эксплуатации параметры технического состояния машин (а следовательно, и диагностические параметры) изменяются в соответствии с определенными закономерностями. Характер этих закономерностей зависит от эксплуатационных факторов: режимов работы механизмов, климатических условий, дорожных условий, индивидуальных особенностей водителей, принятой системы технического обслуживания и ремонтов, характера процессов изнашивания элементов и т.д. Закономерности изменения параметров технического со-

стояния основных элементов машин, как правило, можно отнести к одному из трех типов (рис. 6.6).

В общем виде с достаточной для решения практических задач точностью кривые изменения параметров во времени можно описать выражением

$$Q = V \cdot t^\alpha + Q_0,$$

где Q_0 – начальное значение параметра; V – коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра, зависящий от условий эксплуатации и режимов работы элемента; α – показатель степени, зависящий от материала, конструкции и геометрических параметров элементов; при $\alpha = 1$ изменение параметра подчиняется линейной зависимости, при $\alpha > 1$ скорость изменения параметра прогрессивно возрастает, при $\alpha < 1$ – убывает.

По данным ГОСНИТИ, показатель степени α для различных элементов машины приведен в табл. 6.1.

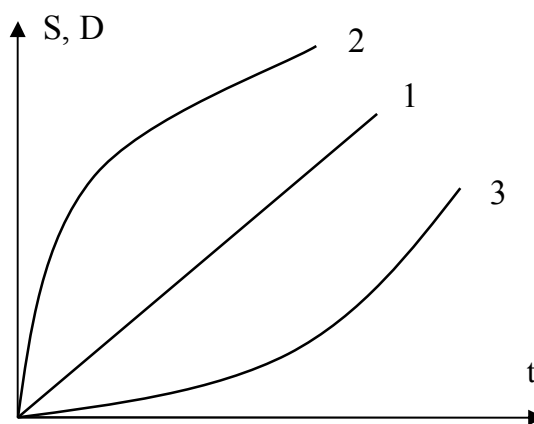


Рис. 6.6. Основные типы закономерностей изменения параметров технического состояния в процессе работы машины: 1 – линейная; 2 – зависимость с убывающей скоростью изменения параметра; 3 – зависимость с возрастающей скоростью изменения параметра

Таблица 6.1

Значения коэффициента α

Параметр	Значение α
Угар картерного масла	2,0
Эффективная мощность двигателя	0,8
Износ накладок тормозов и дисков муфт сцепления	1,0
Износ зубьев шестерен механических передач	1,5
Зазор между клапаном и коромыслом механизма газораспределения	1,0

6.5. Методы и виды диагностирования

Методы диагностирования подразделяют на две группы: *органолептические* (субъективные) и *инструментальные* (объективные).

Органолептические методы диагностирования включают в себя проверку на слух, осмотром, осязанием и обонянием.

На слух выявляют места и характер ненормальных стуков, шумов, перебоев в работе двигателя, места увеличения зазора между клапанами и коромыслами механизма газораспределения, неисправностей трансмиссии и ходовой системы (по скрежету, шуму и люфту), неплотности (по шуму прорывающегося воздуха).

Осмотром устанавливают места подтекания масла, воды, топлива, цвет отработавших газов, дымление из сапуна, биение вращающихся частей, натяжение цепных передач.

Осязанием устанавливают места и степень ненормального нагрева, биения, вибрации деталей, вязкость, липкость жидкости.

Обонянием определяют по характерному запаху отказ муфт сцепления, течь бензина, электролита, короткое замыкание электропроводки.

Инструментальные, или объективные, методы применяют для измерения и контроля всех параметров технического состояния, используя при этом диагностические средства.

По физическому принципу или процессу инструментальные методы диагностирования делятся на энергетические, пневмогидравлические, тепловые, виброакустические, спектрографические, оптические и др. Например, в основе энергетического процесса лежат физические величины – сила, мощность; пневмогидравлического – давление; теплового – температура; виброакустического – амплитуда колебаний на определенных частотах.

По характеру измерения параметров инструментальные методы диагностирования машин подразделяются на прямые и косвенные.

Прямые методы основаны на измерении структурных параметров технического состояния непосредственно прямым измерением: зазоров в подшипниках, прогиба ременных и цепных передач, размеров деталей.

Косвенные методы основаны на определении параметров технического состояния агрегатов машин по диагностическим (косвенным) параметрам. Они основываются на измерении значений непосредственно физических величин, характеризующих техническое состояние

механизмов, систем и агрегатов машин: давления, перепада давлений, температуры, перепада температур в рабочем теле системы, расхода газа, топлива, масла, параметров вибрации составных частей машин, ускорения при разгоне двигателя.

В зависимости от способа воздействия на объект диагностики различают функциональное и тестовое диагностирование.

При *функциональном диагностировании* все задачи технического диагностирования решаются при работе машины по назначению. В этом случае машина выполняет заданные функции в обычном режиме и на нее поступают только рабочие воздействия, предусмотренные алгоритмом функционирования самой машины.

При *тестовом диагностировании* на машину подаются специально организуемые тестовые воздействия, которые поступают на машину от исследователя через органы управления машиной либо (и) от контрольно-диагностических средств. Состав и последовательность подачи этих воздействий выбираются из условия эффективности организации процесса диагностирования.

Применительно к автомобилю это могут быть специальные воздействия в виде задания определенной нагрузки, определенной скорости движения или замедления, определенной частоты вращения. Чаще всего эти тестовые воздействия задаются автомобилю при его испытаниях на специальном диагностическом оборудовании (мощностных или тормозных стендах, специальных диагностических приборах).

При диагностировании автомобиля используются как тестовые, так и функциональные режимы. Так, например, при проверке работоспособности тормозов используется режим экстренного торможения, т.е. тестовый режим, а при определении эксплуатационного расхода топлива – режим нормального функционирования автомобиля (функциональный режим).

6.6. Средства диагностирования

Принято выделять три основные группы средств технического измерения диагностических параметров, которые классифицируются в зависимости от их вида (рис. 6.7).

В настоящее время широкое развитие получают встроенные (бортовые) средства диагностирования машин. Эти средства позволяют

диагностировать машину в процессе эксплуатации и подразделяются на следующие группы:

- предельные автоматы, прекращающие работу автомобиля (агрегата);
- индикаторы постоянного действия (стрелочные, световые; например, указатель давления масла в системе смазки двигателя) либо периодического действия (сигнализаторы или приборы визуального наблюдения, такие как датчик уровня тормозной жидкости);
- накопители информации с выводом на сигнализаторы или с периодическим съемом информации для последующей ее обработки в стационарных условиях.

По возможности приема информации средства диагностирования подразделяются на одноканальные и многоканальные.



Рис. 6.7. Классификация средств технического диагностирования

По степени универсальности средства диагностирования подразделяются на универсальные и специализированные.

Комбинация встроенных и внешних средств диагностирования позволяет значительно снизить вероятность пропуска отказов и повысить достоверность информации.

Автоматизация процессов диагностирования существенно улучшает основные показатели и характеристики систем диагностирования. В частности, благодаря автоматизации удается значительно со-

кратить время на выдачу диагноза, понизить требования к квалификации операторов-диагностов, а в ряде случаев вообще отказаться от их услуг, снизить трудоемкость операций диагностирования, улучшить форму представления результатов диагноза и повысить достоверность его постановки.

Все приборы для замера диагностических параметров можно условно разделить на приборы трех поколений:

1. Приборы первого поколения производят фиксированное значение одного диагностического параметра (приборы для замера геометрических размеров, температур, манометры, эл. приборы для замера отдельно взятых величин).

2. Приборы второго поколения (рис. 6.8) состоят из датчика, промежуточного преобразователя и прибора.

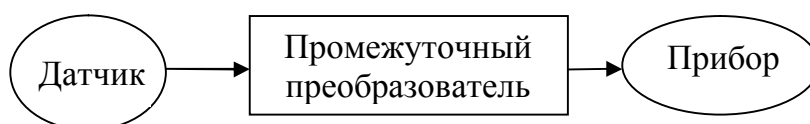


Рис. 6.8. Принципиальная схема прибора второго поколения

3. Приборы третьего поколения (рис. 6.9) имеют в своем составе несколько датчиков, которые передают сигнал на усилитель, затем на аналого-цифровой преобразователь и компьютер.

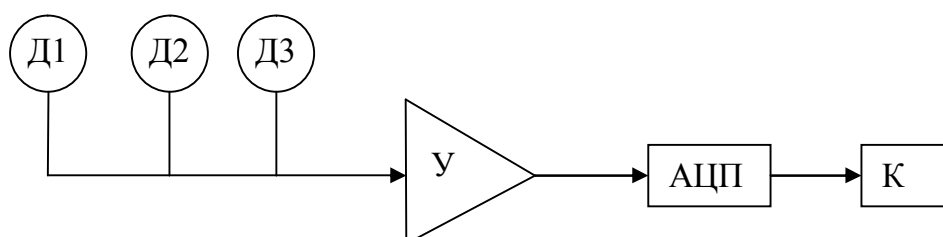


Рис. 6.9. Принципиальная схема прибора 3-го поколения:
Д_і – датчики; У – усилитель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; К – компьютер

При измерении неэлектрических величин одной из наиболее важных задач является преобразование всех измеряемых параметров в унифицированные электрические сигналы, обеспечивающие наибольшее удобство при последующих измерениях, обработке и представлении информации. Эту функцию осуществляют датчики. К чис-

лу измеряемых при диагностировании неэлектрических величин относят: линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения, силы и крутящие моменты, давления, расходы жидкостей и газов, температуры, а также временные интервалы.

К числу промежуточных преобразователей в первую очередь относят электрические схемы, в которые включают датчики. Все датчики с параметрическими первичными преобразователями включают в специальные измерительные схемы (потенциометрические, мостовые, автогенераторные), которые осуществляют преобразование изменений параметров первичного преобразователя в изменения параметров сигнала на выходе схемы. Первичные генераторные преобразователи некоторых типов (например, тахогенераторы) и преобразователи электрических величин (шунты, трансформаторы тока и напряжения) соединяют непосредственно без промежуточного преобразования с приборами.

К приборам относят все средства измерений, предназначенные для получения информации об измеряемой величине, в форме, удобной для восприятия оператором. Приборы по способам снятия отсчета делят на приборы с визуальным отсчетом и регистрирующие. Первые по типу индикации можно разделить на приборы с отсчетом по шкале (шкальные), с цифровым отсчетом (цифровые) и со знаковым представлением информации (дисплеи). Регистрирующие приборы, в свою очередь, делят на приборы с открытой формой записи информации (самописцы), осциллографы, цифropечатающие устройства и приборы со скрытой формой записи информации (дисконные накопители).

6.7. Классификация датчиков

По функциональному назначению датчики подразделяются на датчики – преобразователи и пороговые датчики.

По способу подключения к объекту диагностики датчики подразделяются на легкоъемные и встроенные (рис. 6.10).

Датчики – преобразователи обеспечивают преобразование контролируемого параметра в величину, удобную для ее передачи к измерительным и логическим системам контроля. Такое преобразование необходимо при контроле как электрических, так и неэлектрических выходных параметров.

Обычно контролируемый параметр преобразуется в постоянное напряжение. В процессе преобразования информация о величине контролируемого параметра не должна теряться, поэтому чаще всего применяется линейное преобразование, когда выходное постоянное напряжение датчика пропорционально величине контролируемого параметра. В этом случае датчик-преобразователь называется линейным.

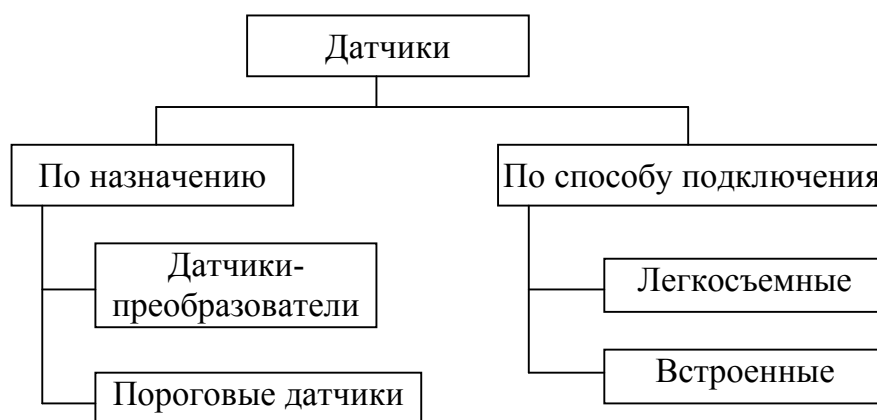


Рис. 6.10. Классификация датчиков

Пороговым датчиком является такое устройство, которое самостоятельно оценивает контролируемый параметр по принципу: “в норме” – “не в норме”. Если контролируемый параметр находится в пределах установленного допуска, то пороговый датчик выдает сигнал одного потенциала или знака. При выходе контролируемого параметра за пределы поля допуска выдается сигнал другого потенциала или знака.

В простейших системах сигнал от датчика передается на регистрирующие или индикаторные устройства. Регистрирующие устройства – это стрелочные или цифровые указатели, а индикаторные устройства – это подсвечивающие табло или звуковые сигналы. Датчик - преобразователь в сочетании с указателем представляет собой простейшее средство измерения любого параметра, в том числе и диагностического.

Пороговые датчики, как правило, работают в сочетании с индикаторным устройством. Эту систему можно отнести к простейшим средствам диагностики, поскольку сам пороговый датчик осуществляет допусковой контроль соответствующего параметра.

Легкосъемные датчики подсоединяются к объекту диагностики только на период проведения диагностических операций, а встроенные – встроены в конструкцию объекта и являются его неотъемлемой частью. Встроенные датчики подразделяются:

- на постоянно работающие, т.е. постоянно дающие информацию об изменении контролируемого параметра;
- работающие только в период проведения диагностирования объекта.

6.8. Компьютерная диагностика автомобиля

Компьютерная диагностика автомобиля – это комплексная проверка электронных систем автомобиля на наличие имеющихся проблем и неполадок. Диагностика позволяет оценить реальное состояние узлов, деталей и блоков управления автомобиля, а также дать оценку его техническому состоянию.

Современные электронные системы, предназначенные для управления узлами и агрегатами автомобиля, оснащены так называемыми *системами самодиагностики*, которые информируют водителя о появлении некоторых неисправностей. Так, например, на приборном щитке многих автомобилей имеется многофункциональный индикатор — лампочка Check Engine (в старых моделях эту роль могли выполнять специальные светодиоды, расположенные непосредственно на устройствах управления), которая обычно загорается при включении зажигания и гаснет через некоторое время после запуска двигателя. Если же при самодиагностике обнаружатся неисправные компоненты, то индикатор не погаснет. При возникновении некоторых неисправностей во время движения индикатор также загорается; при однократной мелкой неисправности он может погаснуть, сохранив ошибку в памяти для последующего считывания.

Компьютерная диагностика включает в себя последовательную проверку большинства систем управления: двигателем, автоматической трансмиссией, АБС, подушками безопасности, круиз-контролем, пневмоподвеской, иммобилайзером.

Последовательность этапов компьютерной диагностики автомобилей следующая:

- 1) контроль текущих параметров всех систем;
- 2) чтение и обнуление кодов неполадок;

- 3) проверка работоспособности механизмов;
- 4) обнуление сервисных периодов;
- 5) кодирование блоков управления;
- 6) синхронизация иммобилайзера и электронного блока управления (ЭБУ) двигателя;
- 7) отладка пневматической подвески;
- 8) выставление рабочих оборотов и др.

В качестве устройства для компьютерной диагностики применяются:

1) стационарные мотор-тестеры – многофункциональные устройства всесторонней автомобильной диагностики, в которых ОВО-II-сканер присутствует как малая часть универсальной системы газоанализа, измерения компрессии, давления топлива, разрежения во впускном коллекторе и др. Естественно, такие системы очень дороги;

2) специализированные дилерские сканеры (так называемые универсальные дилерские приборы) – многофункциональные цифровые устройства, представляющие собой комбинацию мультиметра, осциллографа и микрокомпьютера со специализированной базой (иногда на сменном картридже для конкретной модели автомобиля). Они имеют узкую специализацию по марке, модели и модификации диагностируемого автомобиля;

3) компьютерные тестовые системы – представляют собой обычный персональный компьютер, ноутбук или карманный компьютер произвольной конфигурации с соответствующим программным обеспечением и диагностическим интерфейсом, являющимся «посредником» между автомобилем и компьютером. В таком соединительном интерфейсе стоит программируемый микроконтроллер с зашитыми протоколами обмена, так что напрямую соединить систему OBD-II с компьютером невозможно.

6.9. Стандарты в автомобильной диагностике

До 1994 г. в мировой автомобильной промышленности применялись различные системы, стандарты и протоколы для диагностики, которые условно можно назвать системами семейства OBD-I (On Board Diagnostic). Процедура считывания кодов систем OBD-I напоминала азбуку Морзе: короткие импульсы (длительностью 0,2 с) обозначали единицы, а длинные (1,2 с) – десятки; паузы между импуль-

сами внутри одного кода составляли приблизительно 0,3 с, а сами коды (если их несколько) разделялись паузами 1,8 – 2 с. Коды диагностики OBD-I были двузначными (их также называют «короткими» — в отличие от «длинных» пятизначных кодов расширенной диагностики более поздних систем). Для считывания данных в этой системе применялись специальные дилерские сканеры или неудобная процедура активизации модуля, уникальная для каждой марки.

Вместе с расширением экологического движения с 1996 г. по требованиям Агентства по защите окружающей среды Соединенных Штатов (US Environmental Protection Agency, U.S. EPA) и благодаря усилиям Ассоциации инженеров автомобилестроения (Society of Automotive Engineers, SAE) в США были повсеместно внедрены единые стандарты самодиагностики, протоколов обмена данными, унифицированы требования к диагностическим средствам и структуре кодов – OBD-II.

Изначальная «экологическая направленность» OBD-II, с одной стороны, ограничила возможности по его использованию в диагностике всего спектра неисправностей, с другой стороны, предопределила его широкое распространение как в США, так и в других странах. В США применение системы OBD-II и установка соответствующей колодки диагностики обязательны с 1996 г. (требование распространяется как на автомобили, производимые в США, так и на автомобили неамериканских марок, продаваемые в США). На автомобилях Европы и Азии протоколы OBD-II также начали применяться в 1996 г. (на небольшом количестве марок/моделей), но особенно широко с 2001 г. – для автомобилей с бензиновыми двигателями (с принятием соответствующего европейского стандарта EOBD) и с 2004 г. – для автомобилей с дизельными двигателями. Тем не менее стандарт OBD-II частично или полностью поддерживается и в некоторых автомобилях, выпущенных ранее.

Признаком системы OBD-II является обязательное наличие в салоне автомобиля характерного 16-контактного диагностического разъема. К сожалению, современные системы, несмотря на всеобщую стандартизацию, продолжают использовать различные протоколы для связи с модулем управления.

С введением OBD-II стандарта появилась возможность пользоваться универсальными OBD-II-сканерами.

Назначение всех диагностических систем – унифицированное определение неисправностей в различных узлах и агрегатах автомобиля

для принятия решения о последующем ремонте. Но если в системах семейства OBD-I было предусмотрено определение неисправностей ограниченного спектра (двигателя, подушек безопасности, тормозной системы ABS и автоматической коробки передач), то в OBD-II перечень диагностируемых узлов расширен (к перечисленному добавились также климатическая установка, иммобилайзер и различное дополнительное оборудование). Кроме того, значительно увеличилось количество диагностических кодов (более 3000).

Усложнение систем и их перенасыщенность электроникой, в свою очередь, привели к усложнению собственно методов диагностики неисправностей, а требования к техническому персоналу и к качеству применяемого диагностического оборудования значительно возросли.

6.10. Общие требования к средствам технического диагностирования

Средства технического диагностирования автомобилей, как правило, используют на АТП и СТО в отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $(65 \pm 15)\%$ и атмосферном давлении (100 ± 4) кПа.

Средства технического диагностирования должны обеспечивать измерение диагностических параметров на всех режимах работы автомобиля, а также на режимах, оговоренных технологическими документами по диагностированию.

Средства технического диагностирования должны обеспечивать диагностирование объектов с минимальной трудоемкостью, как правило, без их разборки. Для обеспечения непосредственного измерения диагностического параметра, а также для установки, крепления и съема диагностической аппаратуры допускается частичная разборка диагностируемого объекта.

Метрологические характеристики средств технического диагностирования должны соответствовать значениям, обеспечивающим минимальные эксплуатационные издержки на диагностирование автомобилей. Классы точности средств технического диагностирования или пределы допускаемых погрешностей на конкретные диагностические параметры устанавливаются в стандартах или в технических условиях.

Средства технического диагностирования должны быть вибро- и ударопрочными и выдерживать без повреждений воздействия вибрации

и периодических ударов. После прекращения внешних воздействий должны сохранять свои характеристики в пределах норм, установленных нормативно-технической документацией.

Масса переносных приборов не должна превышать 25 кг. В случае превышения указанной массы и выполнения средств технического диагностирования в моноблоке их устанавливают на подвижных стойках, шкафах или на тележках.

Средства технического диагностирования, имеющие одинаковый принцип работы и предназначенные для измерения однотипных диагностических параметров, должны быть унифицированы.

Основным показателем надежности средств технического диагностирования является наработка на отказ, которую выбирают и задают в нормативно-технической документации из ряда 500, 600, 700, 800, 900, 1000 часов и далее через каждые 250 часов. Нормируемые показатели их надежности устанавливаются в соответствии с действующими стандартами.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимают под технической диагностикой и каковы ее основные цели и задачи?
2. Какие требования предъявляются к диагностическим параметрам? Поясните требование однозначности, стабильности, чувствительности, информативности диагностических параметров.
3. Приведите основные типы закономерностей изменения параметров технического состояния в процессе работы машины.
4. Приведите с примерами классификацию методов диагностирования.
5. Приведите классификацию средств диагностирования.
6. Приведите классификацию датчиков.
7. Компьютерная диагностика автомобиля.
8. Стандарты в автомобильной диагностике.
9. Перечислите общие требования к средствам технического диагностирования.

Биографический список

1. Диагностика и техническое обслуживание машин : учебник для студентов высш. учеб заведений / [А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
2. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебник / В.А. Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
3. Каштанов В.А. Теория надежности сложных систем / В.А. Каштанов, А.И. Медведев. – 2-е изд, перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 608 с.
4. Кучер В.Я. Основы технической диагностики и теории надежности: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 48 с.
5. Основы работоспособности технических систем: методическое пособие / сост.: Р.В. Абаймов, П.А. Малащук. – Сыктывкар: СЛИ, 2004. – 80 с.
6. Основы теории надежности: учебное пособие / Н.Н. Кокушин, А.А. Тихонов, С.Г. Петров и др.; ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2011. – 77 с.
7. Техническая диагностика строительных, дорожных и коммунальных машин: учебное пособие / В.И. Иванов, В.Н. Кузнецова, Р.Ф. Салихов и др. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – Ч. 1. Теоретические основы технической диагностики СДКМ. – 132 с.
8. Токарев А.Н. Основы теории надежности и диагностика: учебник для студентов автотранспортных специальностей / Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 168 с.
9. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов / И.А. Ушаков. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.
10. Федотов А.В. Основы теории надежности и технической диагностики: конспект лекций / А.В. Федотов, Н.Г. Скабкин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2010. – 64 с.
11. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
12. Яхьяев Н.Я. Основы теории надежности и диагностика: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М.: Издательский центр «Академии», 2009. – 256 с.

Учебное издание

Алексей Николаевич Чебоксаров

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКА

Курс лекций

Редактор Н.И. Косенкова

Подписано к печати 19.11.2012
Формат 60×90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 4,75 , уч.-изд. л. 3,45
Тираж экз. Заказ №
Цена договорная

Издательство СибАДИ
644099, г. Омск, ул. П. Некрасова, 10

Отпечатано в подразделении ОП издательства СибАДИ