

**А. Н. Туренко, В. Д. Мигаль,
Л. А. Рыжих**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
для студентов учебных заведений,
обучающихся по уровню подготовки бакалавров и магистров
по специальности «Автомобильный транспорт»*

Харьков
«Майдан»
2016

УДК 681.518
ББК 30
Т 86

Рецензенты: **Бажинов А. В.**, д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильная электроника» Харьковского национального автомобильно-дорожного университета

Лебедев А. Т., д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенка

Волонцевич Д. О., д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Информационных технологий и систем колесных машин им. А. А. Морозова» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»

Туренко А. Н., Мигаль В. Д., Рыжих Л. А.

Т 86 Проектирование диагностического обеспечения транспортных машин: учеб. пособие / А. Н. Туренко, В. Д. Мигаль, Л. А. Рыжих. – Харьков: Майдан, 2016. – 392 с.

ISBN 978-966-372-625-0.

Приведены цели и задачи диагностического обеспечения транспортных машин, понятия, термины и определения в диагностике.

Рассмотрены факторы, влияющие на технический уровень проектируемых машин, поступающих в эксплуатацию. Определены задачи и необходимые знания для эффективного проектирования диагностического обеспечения машин, требования к проектированию машин на всех стадиях жизненного цикла. Описаны этапы проектирования диагностического обеспечения машин.

Освещены правила выбора объектов диагностирования, их возможных неисправностей, режимов, методов и параметров диагностирования. Приведены методы нормирования исходных и предельных диагностических параметров.

Описаны методы построения диагностических моделей, тестов и алгоритмов диагностирования, разработки автоматических электронных систем диагностирования и управления машиной, методы прогнозирования их технического состояния в эксплуатации

Для преподавателей и студентов профильных учебных заведений, подготовки специалистов по диагностике транспортных машин и проектированию диагностического обеспечения.

УДК 681.518
ББК 30

Содержание

Введение	7
1. Основные понятия, термины и определения в диагностике	9
2. Технический уровень проектируемых транспортных машин.	
Энергетические воздействия на машины в эксплуатации	17
2.1. Технический уровень проектируемых машин	17
2.2. Факторы, влияющие на техническое состояние машин в жизненном цикле	20
2.3. Диагностические задачи оптимизации структурных и функциональных параметров машин	24
2.4. Изменение технического состояния объектов машин в жизненном цикле и безопасный ресурс	27
Контрольные вопросы	33
3. Техническая диагностика как основа управления качеством машин	34
3.1. Диагностика в управлении техническим состоянием	34
3.2. Обеспечение контролеспособности объектов диагностирования	40
3.3. Показатели приспособленности объектов к диагностированию	45
Контрольные вопросы	48
4. Задачи диагностического обеспечения машин в жизненном цикле	49
4.1. Знания, необходимые для эффективного проектирования диагностического обеспечения	49
4.2. Уровень диагностического обеспечения	51
4.3. Диагностика на стадии проектирования машин	57
4.3.1. Назначение диагностики при проектировании и доводке	57
4.3.2. Создание системы распознавания образов технического состояния	60
4.4. Диагностика на стадии производства машин	67
4.5. Диагностическое обеспечение стадии эксплуатации машин	67
Контрольные вопросы	74
5. Требования к разработке системы диагностики машины	75
5.1. Принципы организации диагностического обеспечения	75
5.2. Структура систем диагностирования	80
5.3. Общие показатели эффективности процесса диагностирования	82
5.4. Этапы проектирования систем диагностирования	85
5.5. Информационное и техническое обеспечение систем диагностирования навигации и мобильной связи	91
5.6. Метрологическое обеспечение систем диагностирования	93
Контрольные вопросы	94
6. Определение объектов, режимов и методов диагностирования машин	95
6.1. Выбор объектов машины, требующих диагностирования	95
6.2. Разделение объектов диагностирования	99
6.3. Назначение контрольных точек	100
6.4. Выбор режима диагностирования и критерия предельного состояния объекта диагностирования	102
6.5. Методы контроля и диагностирования машин	105
6.5.1. Классификация методов	105
6.5.2. Интеллектуальные методы	115
6.5.3. Инструментальные методы	118
6.5.3.1. Прямые и косвенные методы	118

6.5.3.2 Методы диагностирования по рабочим, сопутствующим и структурным параметрам	119
Контрольные вопросы.....	124
7. Определение состояний машин, требующих контроля и диагностирования.....	125
7.1. Причины появления дефектов, неисправностей и отказов.....	125
7.2. Неисправности электрооборудования и компонентов электронных систем автомобиля	132
7.2.1. Виды дефектов и неисправностей	132
7.2.2. Дефекты и неисправности компонентов электрических систем	133
7.2.3. Физические дефекты	134
7.2.4. Типовые модели неисправностей	135
Контрольные вопросы.....	141
8. Характеристика и нормирование диагностических параметров	142
8.1. Типы диагностических параметров.....	142
8.2. Характеристика диагностических параметров и признаков.....	147
8.3. Процедура поиска наиболее информативных диагностических признаков и параметров.....	149
8.4. Задача отбора и критерии оценки информативности признаков сложных систем	153
8.5. Процесс отбора диагностических параметров	156
8.6. Нормирование диагностических параметров.....	158
8.6.1. Нормирование исходных диагностических параметров	159
8.6.2. Методы нормирования предельных значений диагностических параметров.....	161
8.6.3. Нормирование классов качественной оценки технического состояния объекта диагностирования в эксплуатации	163
Контрольные вопросы.....	167
9. Построение диагностических моделей и алгоритмов диагностирования машин	168
9.1. Виды диагностических моделей и способы их построения	168
9.1.1. Задачи и виды знаний в построении диагностических моделей	168
9.1.2. Виды диагностических моделей	170
9.1.3. Функциональное и информационное моделирование.....	181
9.1.4. Логическое и математическое моделирование	183
9.1.5. Вероятностные и детерминированные модели построения решающих правил	194
9.1.6. Диагностические матрицы	198
9.1.7. Разработка таблиц-матриц неисправностей объектов диагностирования.....	199
9.1.8. Построение структурных, структурно-наследственных и функционально-логических моделей.....	203
9.1.8.1. Построение структурных схем диагностирования объекта	203
9.1.8.2. Разработка структуры системы диагностирования машины	207
9.1.8.3. Построение функционально-логической модели объекта	211
9.1.8.4. Построение функционально-структурной модели.....	214

9.1.9. Построение граф-моделей в пространстве свойств и параметров	217
9.1.10. Диагностические модели гидравлических систем и механизмов	220
9.2. Аналитическое описание графической модели	223
9.3. Анализ и проверка диагностических моделей	225
9.4. Общий подход к разработке алгоритмов поиска неисправностей.....	229
Контрольные вопросы.....	234
10. Построение диагностических моделей, тестов и алгоритмов контроля и диагностирования электрических и электронных систем	235
10.1. Моделирование оценки работоспособности схем и систем	235
10.2. Моделирование схем и систем.....	235
10.3. Расчленение систем на подсистемы	236
10.4. Назначение контрольных точек и определение работоспособности системы и подсистем	239
10.5. Диагностирование неисправных элементов.....	241
10.6. Создание и анализ функциональной диагностической модели	243
10.6.1. Создание функциональной модели.....	243
10.6.2. Создание и анализ дискретной диагностической модели	246
10.6.3. Решение задачи неразличимости состояний в таблицах неисправностей	249
10.6.4. Особенности построения цифровых диагностических моделей	251
10.6.5. Методы создания диагностических тестов и построения алгоритмов диагностирования	253
10.6.5.1. Формирование таблицы покрытий и ее свойства	253
10.6.5.2. Создание диагностических тестов методом сокращенного перебора.....	256
10.6.5.3. Создание диагностических тестов методом эквивалентной нормальной формы	258
10.6.5.4. Критерии оптимизации алгоритмов диагностирования.....	260
10.6.5.5. Построение алгоритмов диагностирования.....	261
Контрольные вопросы	265
11. Проектирование автоматических электронных систем контроля, диагностирования и управления машиной	266
11.1. Системный подход к созданию АСК и АСУ автомобиля.....	266
11.2. Устройства и компоненты электронных систем управления и диагностирования.....	269
11.3. Основные задачи автоматических систем контроля технического состояния	271
11.4. Виды автоматических систем контроля и диагностирования.....	272
11.5. Разработка модели объекта контроля и диагностирования.....	275
11.6. Логические модели объектов диагностирования.....	279
11.7. Анализ процесса функционирования автоматических систем.....	282
11.8. Обеспечение контролепригодности автоматических электронных систем диагностирования и управления машиной	283
11.8.1. Бортовые системы управления	283

11.8.2. Характеристики кодирования неисправностей объектов диагностирования по OBD-II	288
11.8.3. Характеристика контролируемых сигналов объектов диагностирования и управления по ГОСТ 19838-74	291
11.8.4. Алгоритм поиска и устранения неисправностей	295
11.9. Общие требования к программному обеспечению	296
11.10. Разработка алгоритмов поиска дефектов и неисправностей внешними средствами диагностирования	299
11.11. Проектирование автоматических систем самоконтроля технического состояния машин	301
11.11.1. Условия реализации самоконтроля	301
11.11.2. Метод «раскручивания» в самоконтроле	303
11.11.3. Использование избыточности для самоконтроля автоматизированной системы контроля	305
11.11.4. Самопоиск отказов автоматизированной системы контроля ...	309
11.12. Эффективность контроля АСК	314
11.13. Метрологическое обеспечение	316
Контрольные вопросы	318
12. Прогнозирование технического состояния транспортных машин	319
12.1. Задачи и процесс прогнозирующего диагностирования	319
12.2. Методы, критерии и этапы прогнозирования остаточного ресурса	331
12.2.1. Классификация методов прогнозирования	331
12.2.2. Критерии и методы прогнозирования остаточного ресурса	338
12.2.3. Аналитическое прогнозирование	342
12.3. Разработанные методы прогнозирования технического состояния машин	348
12.3.1. Методы линейного прогнозирования	348
12.3.2. Методы прогнозирования по среднему статистическому измерению	349
12.4. Прогнозирование по нормативным значениям диагностического параметра	356
12.5. Прогнозирование по допустимым значениям параметров с использованием таблиц, графиков и номограмм	359
12.6. Методы прогнозирования по реализации	360
12.7. Прогнозирование по результатам двух диагностирований	368
12.8. Индивидуальное прогнозирование	369
12.9. Постановка диагноза по комплексу диагностических параметров	374
12.10. Алгоритм прогнозирующего контроля автоматических систем диагностирования	376
12.11. Факторы, влияющие на ошибки прогноза ресурса	378
Контрольные вопросы	379
Литература	381
Предметный указатель	386

Введение

Стремление обеспечить высокий технический уровень проектируемых машин является основной движущей силой при создании новых транспортных машин. При создании машины идет настоящий поиск увеличения степени автоматизации рабочих процессов, оптимальных режимов работы, повышения комфортабельности, технической и экологической надежности.

В настоящее время уже недостаточно проведения испытаний машины на соответствие требованиям заданных функциональных и технических характеристик. Необходимы диагностические испытания по оптимизации рабочих процессов, выявление и доводка потенциально ненадежных узлов, деталей и компонентов, что позволяет увеличить периодичность и минимизировать объем технического обслуживания в эксплуатации.

Достижение заданных качеств транспортных машин невозможно без диагностической доводки, которая позволяет получить необходимую информацию о техническом состоянии в реальном времени для оптимизации параметров и управления машин в лабораторных условиях, не ожидая результатов длительных ресурсных и эксплуатационных испытаний. Основным результатом процесса такого диагностирования является информация о месте и виде дефекта, неисправности или отказа и прогнозирование технического состояния на стадии проектирования и в эксплуатации.

Поэтому требуемый технический уровень проектируемых машин определяется уровнем диагностического обеспечения, их качества доводки, производства и эксплуатации.

Однако проблема диагностического обеспечения качества проектирования транспортных машин в такой системной постановке еще не решена, о чем свидетельствуют многочисленные доработки серийно выпускаемых автомобилей передовыми фирмами. Системный подход к диагностическому обеспечению жизненного цикла автомобилей в известных учебниках по проектированию и диагностике автомобилей рассматривается весьма ограниченно.

Наиболее сложной задачей в диагностическом обеспечении транспортных машин является оптимальная их контролепригодность, недостаточные знания закономерностей проявления неисправностей, обуславливающих изменения технического состояния в эксплуатации, составление алгоритмов и программ диагностирования, назначение диагностических параметров, их номинальных и предельных значений, методов и средств контроля диагностических параметров и прогнозирование остаточного ресурса. Получение таких знаний должно составлять основную стратегию учебных заведений в профессиональной подготовке квалифицированных специалистов по диагностическому обеспечению транспортных машин.

Соответственно существенно повышаются требования к уровню подготовки инженеров-конструкторов, технологов, специалистов служб ремонта и эксплуатации, по системному диагностическому обеспечению качества изготовления и эксплуатации машин. Однако такие вопросы диагностического обеспечения жизненного цикла машин на стадии проектирования при подготовке специалистов и магистров в учебных заведениях не рассматриваются. Это большое упущение стандартов высшего образования в формировании системных знаний. Поэтому важную роль в формировании квалификации таких специалистов играет наличие соответствующих учебников высокого теоретического и практического уровня.

Для эффективного проектирования диагностического обеспечения транспортных машин в учебном пособии представлены задачи получения высокого уровня знаний: конструкции объекта диагностирования, технического уровня его проектирования, понимания его внутренних и внешних свойств; возможных дефектов материалов, конструкции, технологии производства, отдельных узлов, компонентов и комплектного автомобиля; закономерностей изменения технического состояния машины в эксплуатации; типовых неисправностей механических, газогидроаэродинамических, электрических и электронных систем, динамики протекающих рабочих процессов и систем управления автомобилем; диагностических параметров технических систем проектируемой машины; методов и средств диагностирования, требований по созданию внешних и бортовых автоматических систем диагностирования.

Уровень таких знаний по всем системам машины определяет квалификацию специалиста – диагноста и конструктора. Но фактически в учебниках по профессиональному обучению специалистов автомобильного хозяйства такие знания не предоставляются или дается крайне ограниченная информация о некоторых стандартных терминах и понятиях. Именно эти обстоятельства потребовали создания справочной базы знаний [7, 12, 14, 20, 21, 22, 23, 26, 29, 30] и написать настоящее учебное пособие по проектированию диагностического обеспечения жизненного цикла транспортных машин.

Представленное учебное пособие в совокупности с созданной справочной базой знаний позволяет учащимся получить высокие профессиональные знания, проводить квалификационные исследования в выпускных дипломных работах (специалиста и магистра) по разработке бортовых и внешних средств диагностического обеспечения машин. А инженеру решать практические задачи диагностического обеспечения жизненного цикла конкретной машины.

Выражаем откровенную благодарность всем авторам учебных пособий, монографий и статей, выдержки и цитаты из которых использованы при написании этого учебного пособия.

Авторы глубоко благодарны сотруднику Харьковского национального автомобильно-дорожного университета ст. преподавателю А. И. Жадану за компьютерный набор, компоновку и техническое редактирование учебного пособия.

Авторы

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ

Объектом исследований технической диагностики являются процессы, протекающие в автомобиле, его составных частях, механических, газо-, гидро-, пневматических, электрических и электронных системах, параметры рабочих процессов, обеспечивающих эффективное использование автомобиля.

Техническая диагностика рассматривает любой объект машины как потенциальный источник дефектов и неисправностей, которые должны быть выявлены и устранены на всех стадиях жизненного цикла изделия.

В основе диагностики лежат измерения технических параметров и определение внешних признаков, отражающих изменение рабочих процессов и технического состояния автомобиля.

Предметом технической диагностики являются:

- дефекты проектирования, производства и эксплуатационные неисправности;
- диагностические параметры и признаки дефектов и неисправностей;
- методы диагностирования;
- средства диагностирования;
- определение исходных, допустимых и предельных значений диагностических параметров;
- методы прогнозирования остаточного ресурса;
- методы определения периодичности диагностирования;
- методы, правила и алгоритмы проведения диагностических операций;
- режимы диагностирования и коды неисправностей.

В качестве субъекта создания, эксплуатации, использования и обслуживания машин выступает человек, выполняющий функции принятия решений и выработки управляющих воздействий. Во многих системах человек-машина человек удален от машины и взаимодействует с ней через некоторого посредника, олицетворяющего информационную модель объекта управления. Этим посредником является человеко-машинный интерфейс, воплощающий интеллектуальную составляющую системы диагностирования. Во многих случаях достоверность принятых решений диагностики сложных неисправностей внешними средствами зависит от уровня знаний (квалификации) диагноста.

Основными понятиями технической диагностики считают следующие: дефект, неисправность, объект диагностирования, техническое состояние, диагностическая задача, технические средства диагностирования, система диагностирования. Термины – «объект диагностирования», «диагностическая задача», «технические средства диагностирования» и «система диагностирования» определены стандартами [1-4].

Понятия дефект и неисправность. Объективная реальность, отражаемая понятием «дефект», является основным предметом исследования

технической диагностики. Это понятие используется в различных областях науки и практики.

В технической диагностике понятие «дефект» относится к одному из ключевых технических терминов и имеет широкую область использования в сфере обучения специалистов автомобильного хозяйства. Термин «дефект», по существу, неразрывно связан с термином «неисправность», но не является его синонимом.

С этапом проектирования связано понятие конструктивного дефекта (некорректное использование существующей системы знаний). Такие дефекты не являются собственным предметом исследования технической диагностики как науки. Но поскольку на этапе проектирования имеет место широкий круг задач, называемых задачами обеспечения надежности и контролепригодности, то техническая диагностика имеет и собственный объект исследования, с которым связано понятие возможной эксплуатационной неисправности и множества таких дефектов и неисправностей. Не выявленные на стадиях отладки и опытной эксплуатации конструктивные дефекты, конечно же, не могут остаться в стороне от практики технического диагностирования.

Этап производства в рассматриваемом отношении характеризуется технологическими дефектами (каждое отдельное несоответствие проекту). Такие дефекты также не составляют собственный объект исследования технической диагностики и относятся к области контроля качества продукции. Практическая диагностика также включает в часть своих задач выявленные технологические дефекты.

Эксплуатационные изменения, имеющие пространственно-временную границу в экземпляре машины, ведут к нарушению качественной границы и количественных значений параметров объекта диагностирования. В некоторой части целого результат деградиационного процесса или другого явления становится таким, что появляется, недопустимо изменяется или исчезает существенное свойство(а) целого. Такое изменение нарушает систему свойств, то есть качественную границу объекта.

Сущность дефекта заключается в том, что он обусловлен несоответствием хотя бы одному установленному требованию к продукции. Он относится только к процессу изготовления машины и производству ее ремонта и зависит только от конструктивных или производственных факторов. К дефектам недопустимо относить эксплуатационные неисправности, обусловленные действием износа, коррозии, старения, усталости или действием случайных факторов. Трещина, появившаяся в процессе эксплуатации автомобиля, будет считаться не дефектом, а эксплуатационной неисправностью. Любое отклонение (несоответствие) от требований нормативно-технической документации является неисправностью.

Стандартом ГОСТ 154667-93 дефект определен как «...каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям». Тем же стандартом установлено, что термин «дефект» применяется только в производстве – при контроле качества продукции на стадии ее изготовления, а также при ее ремонте (при дефектации, составлении ведомостей дефектов и кон-

троле качества отремонтированной продукции). Также этим документом установлено, что причины дефектов могут быть только конструктивные или производственные.

Причинами обнаруженной неисправности на практике могут быть несовершенство конструкции объекта диагностирования или технологии его изготовления, нарушение правил эксплуатации или естественное усталостное разрушение, старение, изнашивание, коррозия и другие деградационные процессы. Указанные причины образуют множество возможных эксплуатационных неисправностей механических, электрических и других систем.

Наработка – длительность работы изделия, измеряемая единицами пробега (километры), времени (часы), числом циклов. Различают наработку с начала эксплуатации изделия, наработки до определенного состояния (например, предельного), наработка интервальная и др. На автомобильном транспорте, как правило, наработка автомобилей вычисляется в километрах пробега (l), реже (специальные автомобили, внедорожные, карьерные самосвалы) – в часах (t). По мере увеличения наработки l , t параметры технического состояния изменяются от номинальных P_n , присущих новому изделию, к предельным P_{Π} ; при которых последующая эксплуатация изделия по техническим, конструктивным, экологическим или по другим причинам является недопустимой.

Отказ – событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния подвижного состава. Оно может произойти в результате разрушения, деформации или износа деталей, нарушения регулировки механизмов и систем, прекращения подачи топлива и смазочных материалов, а также при изменении рабочих характеристик автомобиля (потере мощности, увеличении тормозного пути), если они выходят за пределы норм, допустимых по техническим условиям.

Отказы возникают по причине, связанной с несовершенством конструкции, технологии производства и эксплуатации машин. Снижение отказов конструкционного, производственного и эксплуатационного происхождения достигается совершенствованием методов диагностирования машин и своевременным принятием мер по устранению дефектов на каждом этапе жизненного цикла.

Технический диагноз – результат контроля (диагностирования). Он достигается специальными инструментальными методами и средствами или визуальными способами поиска неисправностей, реализующими алгоритмы диагностики. Результаты диагноза служат основанием для принятия решения о дальнейшем использовании, а также об объемах предстоящего ремонта или технического обслуживания.

Отказ автомобиля – это такое изменение его технического состояния, которое приводит к невозможности начать транспортный процесс или к прекращению уже начатого транспортного процесса.

Техническое диагностирование – определение технического состояния объекта с определенной точностью.

Задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния, поиск места отказа, определение причины отказа (неисправности), прогнозирование технического состояния.

Техническое состояние объекта – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленными технической документацией.

Под техническим состоянием объекта понимают совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующая в определенный момент времени признаками, параметрами состояния, установленными технической документацией на этот объект.

Диагностическим обеспечением объекта является комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта, включая его проектирование и ликвидацию.

Контролепригодность (приспособленность объекта к диагностированию) – свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению диагностирования (контроля) заданными средствами.

Точка контроля – место расположения первичного источника информации о диагностическом (контролируемом) параметре.

Контролируемый сигнал – сигнал, поступающий на вход диагностирования (контроля) и несущий информацию о техническом состоянии объекта.

Алгоритм технического диагностирования (контроля) – совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования (контроля), то есть алгоритм, который устанавливает порядок проведения проверок состояния элементов объекта и правила анализа их результатов. Причем безусловный алгоритм диагностирования устанавливает заранее определенную последовательность проверок, а условный – в зависимости от результатов предыдущих проверок. Алгоритм, как правило, предусматривает выполнение следующих задач: определение работоспособности объекта, идентификация неисправности (дефекта), перспективный анализ развития ситуации (прогнозирование).

Параметр состояния элемента – физическая величина, характеризующая работоспособность или исправность объекта диагностирования, изменяющаяся в процессе работы.

Параметр состояния – это величина, количественно характеризующая одно из основных свойств объекта или процесса, протекающего в объекте. В качестве параметров состояния могут приниматься масса, коэффициент трения, геометрические размеры, зазоры, электрическое сопротивление, ток, напряжение и т. п. Эти параметры еще называют первичными. Экспериментальная оценка численных значений этих параметров и сравнение их со значениями, заданными нормативно-технической документацией, позволяет провести оценку технического состояния объекта, то есть установить его диагноз.

Часто на практике невозможно произвести непосредственное измерение параметров состояния. Поэтому в технической диагностике вводится понятие диагностических параметров.

Под предельным состоянием системы машины понимается такое состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Диагностическая модель – формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностирования. Описание может быть представлено в аналитической, табличной, графической и других формах.

Контроль технического состояния – это проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния. Например, если в результате оценки технического состояния делается заключение о том, что объект исправен или неисправен.

Термин техническое диагностирование применяется тогда, когда основной задачей процесса диагностирования является поиск места и определение причины отказа, неисправности или неправильного функционирования.

Метод контроля (диагностики) – правила применения к объекту контроля (диагностики) определенных принципов и средств контроля (диагностики). Выбор метода контроля или диагностики базируется на анализе физических особенностей протекания рабочих процессов и развития неисправностей в диагностируемом объекте.

Средства технической диагностики (контроля) – аппаратура (приборы, пульты, стенды, датчики, вычислительная техника) и программное обеспечение, с помощью которых осуществляется определение величины диагностических параметров, их обработка и разделение объектов на классы.

Система технической диагностики (контроля) – совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в нормативно-технической документации. Системы технического диагностирования предназначаются для решения следующих задач: проверка исправности; проверка работоспособности; проверка правильного функционирования; поиск дефектов.

Вид системы диагностирования должен выбираться на основании технико-экономических расчетов и технических требований, отражающих специфику процесса диагностирования автомобилей в процессе производства, эксплуатации и ремонта. Системы технического диагностирования могут быть классифицированы по ряду признаков, определяющих их назначение, задачи, структуру и состав технических средств.

По степени охвата объекта диагностирования системы технического диагностирования могут быть локальными и общими. С помощью локальных систем решается одна или несколько из перечисленных задач. Общие системы технического диагностирования решают все поставленные задачи.

Полнота технического диагностирования – характеристика, определяющая возможность выявления отказов (неисправностей) в объекте при выбранном методе его диагностирования (контроля). Глубина поиска места отказа (неисправности) – характеристика, задаваемая указанием составной части объекта, с точностью до которой определяется место отказа (неисправности).

Мониторинг – наблюдение за изменением технического состояния машины и анализ причин этих изменений.

Основное отличие мониторинга от диагностики связано с тем, что мониторинг не ставит своей целью обнаружение дефектов на ранней стадии развития. В функции мониторинга входит своевременное обнаружение сильных дефектов в предположении, что по крайней мере незадолго до отказа любой дефект является звеном цепочки дефектов и хотя бы один дефект из этой цепочки оказывает существенное воздействие на состояние машины.

Рабочее техническое диагностирование – диагностирование, при котором на объект подаются рабочие воздействия.

Тестовое техническое диагностирование – диагностирование, при котором на объект подаются тестовые воздействия.

Диагностический тест – одно или несколько тестовых воздействий и последовательность их выполнения, обеспечивающая диагностирование.

Экспресс-диагностирование – диагностирование по ограниченному числу параметров за заранее установленное время.

Непрерывное техническое диагностирование – диагностирование, при котором поступление информации происходит непрерывно.

«Самодиагностирование» – диагностирование (контроль) объекта диагностирования (контроля) с помощью встроенных средств диагностирования или специальных программ.

Достоверность технического диагностирования (контроля) – степень объективного соответствия диагноза действительному техническому состоянию, то есть вероятность того, что при диагностировании определяется то техническое состояние, в котором действительно находится объект диагностирования.

Достоверность результатов диагностирования характеризуется способностью методов и средств измерения отражать фактическое состояние объекта. Она зависит от полноты полученной исходной информации, назначенных предельных диагностических параметров, которые обусловлены выбором режимов диагностирования контролируемого параметра, от возможной потери информации вследствие несовершенства методов диагностирования.

Точность результатов диагностирования зависит прежде всего от правильности выбора проверяемых параметров, обуславливающих методическую погрешность и степени совершенства средств диагностирования, обуславливающих инструментальную погрешность. Большие погрешности измерений приводят к ошибке при оценке технического состояния объектов диагностирования.

Техническое обслуживание – комплекс операций или операция по поддержанию исправности или работоспособности объекта при использовании по назначению, простое, хранении и транспортировании.

Распознавание образов – процесс, при котором на основании многочисленных характеристик (признаков) некоторого объекта определяется одна или несколько наиболее существенных, но недоступных для непосредственного определения его характеристик, в частности, его принадлежность к определенному классу объектов. Решить задачу распознавания – значит найти на основании косвенных данных правила, по которым каждому набору значений признаков некоторого объекта ставится в соответствие одно из заданного множества возможных решений, определяющих существенные характеристики этого объекта.

В каждой задаче распознавания исходными данными являются результаты некоторых наблюдений или непосредственных измерений. Их называют первичными признаками, а совокупность всех первичных признаков – входным сигналом.

Резервирование – способ обеспечения надежности объекта за счет использования диагностических средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций.

Резерв – совокупность дополнительных средств и (или) возможностей, используемых для резервирования.

Структурное резервирование – резервирование с применением резервных элементов структуры объекта.

Техническое обслуживание и ремонт – совокупность всех технических и организационных действий, включающих технический надзор, направленных на поддержание или возвращение объекта в состояние, в котором он способен выполнять требуемую функцию.

Технический осмотр – мероприятие, выполняемое вручную или автоматически с помощью встроенных или внешних средств с целью наблюдения состояния объекта.

Деградация – действие одного или совокупности естественных процессов старения, коррозии, изнашивания, усталости и разрушения.

Старение – постепенное необратимое изменение свойств объекта, вызываемое химическими и (или) физическими процессами, самопроизвольно протекающими в материалах.

Исходный диагностический параметр – номинальное (расчетное) значение, определяемое для составных частей новых и отремонтированных машин, служит началом отсчета отклонений диагностического параметра в эксплуатации.

Допуск параметра - разность между верхним и нижним предельно допустимым значением параметра.

Предельное значение диагностического параметра – наибольшее или наименьшее значение параметра, которое может иметь работоспособная часть.

Предельное состояние машины, узла, детали наступает в том случае, когда дальнейшее использование рассматриваемого объекта технически невозможно, технико-экономически и технологически нецелесообразно или невозможно из-за нарушения требований безопасности.

Допустимое значение параметра – значение, при котором обеспечивается безотказная работа составной части, до очередного диагностирования (контроля), исходя из необходимости обеспечения надежной работы.

Реализация параметра – непрерывное изменение параметра состояния конкретного объекта диагностирования.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или его возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Ресурсный параметр – параметр, изменение которого выше предельного значения обуславливает утрату работоспособности составной части (элемента) машины в силу исчерпания ресурса.

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Обобщенный или комплексный диагностический параметр характеризует состояние нескольких составных частей машины или машину в целом.

Локальный или частный диагностический параметр характеризует состояние одного отдельного элемента.

Отсюда возникают и следующие термины: общее и углубленное диагностирование, ресурсное и функциональное диагностирование.

Технический критерий – предельное состояние составных частей, когда они не могут больше выполнять свои функции по техническим причинам. Например, предельное увеличение ремня или цепи, предельное давление масла и др.

Технико-экономический критерий – предельное состояние, указывающее на снижение эффективности использования объекта диагностирования вследствие изменения технического состояния. Например, снижение мощности двигателя.

Для этого критерия предлагаются два показателя: максимум производительности и минимум затрат. Поэтому в большинстве случаев необходимо сохранять оптимальные показатели надежности и эффективности при минимальных удельных издержках.

2. ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАШИНЫ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Технический уровень проектируемых машин

При создании машин идет постоянный поиск увеличения степени автоматизации, повышения режимов работы, скоростей, нагрузок, температур, уменьшения габаритов и массы, повышения точности и безопасности функционирования, высокой эффективности их работы – производительности, мощности, КПД, маневренности и проходимости, повышения тягово-скоростных качеств, объединения механических устройств и электроники в системы с единым информационным управлением.

Однако, если машина не имеет необходимой надежности, все эти технические и другие показатели качества теряют свое практическое значение, ибо не могут быть эффективно использованы.

В настоящее время существует ряд многокритериальных систем оценки технического состояния проектируемых машин. Однако они сложны и не позволяют с требуемой достоверностью разрешать проблемы определения исходной надежности и прогнозировать ресурс машин. Оценка надежности проектируемых агрегатов и автомобиля в целом может вырабатываться по результатам диагностирования машины при многовариантных испытаниях

Достигнутый технический уровень многовариантного создания автомобиля можно представить графически (рис. 2.1). Технический уровень создаваемых макетных, опытных и серийно выпускаемых машин не всегда удовлетворяет заданной надежности и ресурсу, отвечающих мировому техническому уровню Д. Нередко поэтому могут выпускаться ненадежные высокоотказные машины технического уровня В и Г.

На рис. 2.1 обозначены: А – кривая стадии эволюционного развития (совершенствования) объекта; Б – реализация новых прогрессивных научно-технических решений (открытий и изобретений), позволяющих значительно сократить время проектирования и доводки машины до заданного технического уровня (этапы 4 и 5 на рис. 2.1).

Производство высоконадежных автомобилей технического уровня Д (см. рис. 2.1) требует больших затрат проектировщика и изготовителя и относительно уровня Г меньших затрат при эксплуатации автомобилей, то есть в принципе существует оптимальная на-

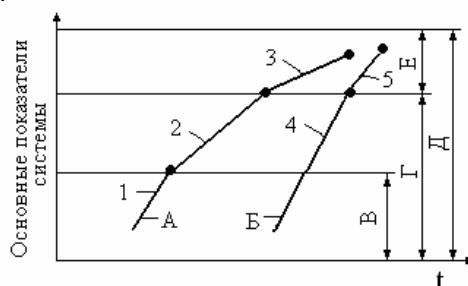


Рис. 2.1. Технические возможности совершенствования проектирования машин:

1-5 – циклы совершенствования и доводки машины; В – недопустимый технический уровень; Г – допустимый технический уровень; Д – необходимый технический уровень; Е – зона необходимого экономически обоснованного технического уровня; t – периоды (годы) разработки и доводки

дежность автомобиля, обеспечивающая минимум суммарных затрат. Практически определение оптимальной надежности затруднено, поскольку само понятие надежности многозначно и не может быть выражено единым показателем.

В современных автомобилях 150-300 деталей являются «критическими» по надежности, они чаще других требуют замены, наиболее часто приводят к простоям автомобилей, к ресурсным затратам при эксплуатации.

Практика эксплуатации машин показывает, что основной причиной их отказов является несовершенство конструкции и технологии производства тех механических систем, которые определяют их динамические характеристики. Это проявляется в недостаточной надежности контактирующих и трущихся элементов, систем управления рабочими процессами и режимами работы машин. Надежность эксплуатации машин интегрально отражает технический уровень их проектирования, изготовления и эксплуатации (рис. 2.2).

Для того, чтобы ненадежный парк транспортных машин находился в работоспособном состоянии, требуются огромные затраты. По разным источникам, структура трудовых затрат на весь период эксплуатации тракторов, дорожных машин, грузовых автомобилей традиционной конструкции (без достаточного уровня диагностического обеспечения) определяется следующим соотношением в процентах: изготовления – 1,4; капитальный ремонт – 7,2; техническое обслуживание и текущий ремонт – 91,4. Затраты металла на ремонт за все время службы машины приближаются к массе самой машины, а стоимость всех мероприятий по поддержке машин в работоспособном состоянии в среднем за этот же период в 10-20 раз превышает стоимость самой машины. Для экскаватора Э-652 эти затраты в 17 раз больше, для грузовых автомобилей – в 20-30 раз, а для тракторов «Беларусь» – в 60 раз.

Транспортные и особенно сельскохозяйственные машины недостаточно контролепригодны. При определении объема работ по текущему ремонту тракторов почти во всех случаях (65-90 %) выполняют их разборки с целью получения дополнительной информации о его техническом состоянии. Средняя достоверность информации, полученной в результате измерения диагностических структурных параметров, составляет 0,850, в том числе 0,912 по двигателю трактора Т-150К, по силовой передаче – 0,624. Средняя достоверность информации, полученной в результате оценки качественных признаков технического состояния, составляет 0,624 и, соответственно, 0,696 по двигателю трактора Т-150К, по силовой передаче – 0,588. Коэффициент полноты диагностической информации при выявлении неисправностей отдельных агрегатов трактора Т-150К распределяется таким образом: по двигателю – 0,72, по электрооборудованию – 0,88, по пусковому двигателю и редуктору – 0,78, по раме и ходовой части – 0,42, по рулевому управлению – 0,32, по силовой передаче – 0,12. Значения коэффициента полноты диагностической информации при поиске всех неисправностей трактора Т-150К, которые обнаруживаются на стадиях технического обслуживания тракторов составляет 0,56 [5].

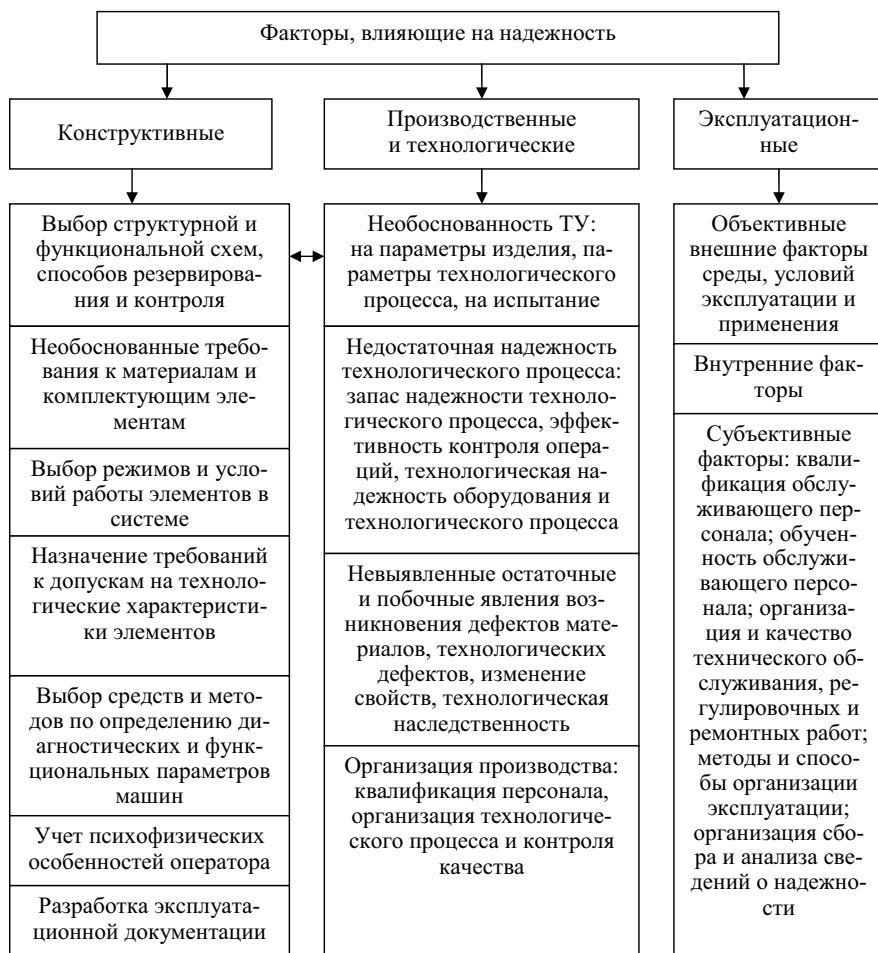


Рис. 2.2. Классификация факторов, влияющих на надежность

Технический уровень проектирования многих современных легковых автомобилей очень близкий к уровню Д (рис. 2.1). Эти автомобили оснащены бортовыми системами диагностирования почти всех технических систем и имеют автоматическое адаптивное управление рабочими процессами. Высокий уровень доводки технических систем автомобилей позволяет повысить их ресурс, техническую и экологическую надежность и периодичность технического обслуживания по сравнению с традиционными конструкциями технического уровня Г, рис. 2.1. Электронные системы диагностирования и управления современных легковых автомобилей улучшают их управляемость, устойчивость и комфортабельность., выполняют управление подвеской, колесами, тормозами, поддерживают оптимальные рабочие режимы и скорости движения автомобиля, позволяют сократить расход топлива.

Однако проблема высокого уровня проектного обеспечения всех стадий жизненного цикла транспортных машин еще полностью не решена, о чем свидетельствуют многочисленные доработки серийно выпускаемых автомобилей передовыми фирмами. Значительное количество автомобилей эксплуатируются с неисправностями, которые в свою очередь ведут к загрязнению окружающей среды и чрезмерным затратам топлива.

2.2. Факторы, влияющие на техническое состояние машин в жизненном цикле

Поскольку заданные конструктором параметры не могут быть с достаточной точностью воспроизведены при изготовлении и сборке машины, то практически все механизмы имеют различные исходные внутренние свойства. Только по этой причине исходное техническое состояние на стадии поступления машины в эксплуатацию не может быть одинаковым.

На изменение технического состояния существенное влияние оказывают условия эксплуатации машин (рис. 2.2).

Внешняя среда оказывает большое влияние на техническое состояние машин. Машины в условиях эксплуатации, выполняя возложенные на нее функции, воспринимают различные воздействия от окружающей среды, имеют различные скоростные, нагрузочные и переменные рабочие процессы. Поэтому техническое состояние машин, проработавших одно и то же время не может быть одинаковым.

Особенно широк диапазон внешних условий для транспортных средств, функционирующих в различных климатических зонах. Вредное воздействие на транспортные машины оказывает тепловая, химическая, биологическая и электромагнитная энергия среды. Эти воздействия являются случайными функциями времени, так как природа их возникновения связана со сложными физическими явлениями и переменными режимами работы.

Можно указать следующие основные источники энергетических воздействий на машину:

- внутренние источники энергии, связанные с кинематическими и рабочими процессами, протекающими в машине;
- действие энергии окружающей среды, в которой находится машина в процессе эксплуатации;
- потенциальная энергия, которая накоплена в материалах и деталях машины в процессе ее изготовления (внутренние напряжения в отливках и сварных соединениях, монтажные напряжения);
- воздействия человека на машину при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте.

Эти источники взаимодействия в машинах порождают на поверхностях контакта и в объемах материала отдельных деталей и систем такие виды энергии: механическая, тепловая, химическая, электромагнитная. Поэтому технический уровень проектирования и технологии производства оп-

ределяет большое рассеивание сроков ресурса и изнашивания одних и тех же деталей и надежности даже однотипных автомобилей.

Рассмотренные уровни проектирования машин (зоны В и Г, рис. 2.1), дорожные условия, процессы взаимодействия машины с окружающей средой и накопленный опыт [6-11] показывают, что заданный ресурс и надежность механических, гидрогазодинамических систем определяются заданными вибрационными характеристиками. Общий подход к классификации отдельных узлов, агрегатов и в целом комплектной машины по уровню вибрации представлен на рис. 2.3.

Вибрационные характеристики машины являются комплексным показателем ее структурного, функционального и динамического состояния.

Здесь каждый класс выходных уровней вибрации В (1, 2, 3, 4) отображает технический уровень проектирования, оптимизации структурных, функциональных и динамических параметров узла, агрегата и комплектной машины. Очевидно, что в машинах и механизмах первого класса вибрации действуют малые энергетические уровни, что и отражает медленные деградационные процессы. Соответственно ресурс и расчеты надежности таких машин должны осуществляться по закономерным процессам старения материалов. А поскольку в агрегатах машин низкого технического уровня проектирования (см. В, рис. 2.1) с уровнями вибрации третьего класса (см. рис. 2.3) протекают преимущественно быстрые процессы изнашивания, то расчет и прогнозирование ресурса надежности таких машин должно проводиться уже по другим расчетным и диагностическим моделям.

Такое понимание влияния технического уровня конструкции, действующих процессов в машине и условий эксплуатации на ее техническое состояние можно представить в виде модели на рис. 2.4. [12, 13]

Прогрессирующая деградация состояния машины происходит потому, что при эксплуатации все виды энергии – механическая, тепловая, химическая, электромагнитная воздействуют на машину не раздельно, а совместно



Рис. 2.3. Классификация надежности проектируемых машин по классам вибрации:

1-4 – классы вибрации отдельных узлов и машины в целом; А, Б – уровни вибрации, которые предполагаются проектом по всему спектру частот от 5 до 1000 Гц; 20 дБ – граничное увеличение эксплуатационной вибрации машин для ресурсных элементов; 8 дБ – уровни превышения (снижения) вибрации, которые определяют переход машины в другой класс технического состояния; В – выходные уровни вибрации машин проектного состояния классов 1-4; Г – предельно допустимые вибрации ресурсных элементов в эксплуатации (область работоспособного состояния)

и вызывают в ней обратимые и необратимые процессы, изменяющие ее начальные характеристики с различной скоростью (рис. 2.4). Наиболее характерными необратимыми процессами являются изнашивание, коррозия, усталость, перераспределение внутренних напряжений, коробление деталей, потеря параметров материалов с течением времени и др. Эти процессы обуславливают неизбежное ускорение деградации машин.



Рис. 2.4. Физико-вероятностная модель энергетических воздействий на машину в процессе эксплуатации

Рассматривая различные скорости протекающих процессов изнашивания (рис. 2.4), можно сделать вывод, что для многих элементов механических систем интенсивность изменения параметров состояния функционально связана с вибрационными характеристиками машин. [8, 10, 11]

Быстро протекающие вибрационные процессы, обусловленные исходными кинематическими, конструктивными и технологическими погрешностями движения элементов машин, размеров и форм деталей, гидрогазодинамическими процессами, переменными скоростными и нагрузочными режимами работы механизмов, возникают сразу же как только машина начинает функционировать (источники 1-6, рис. 2.5).

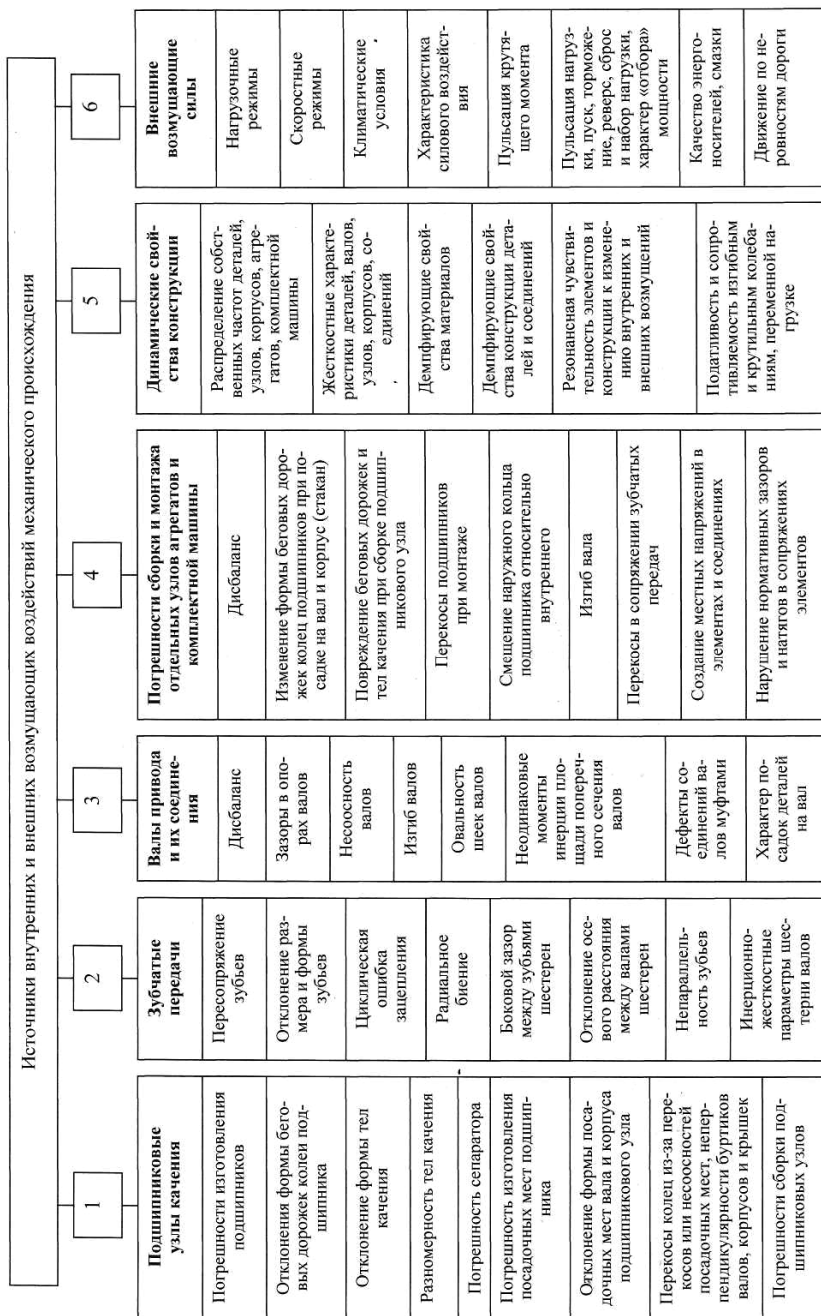


Рис. 2.5. Структурная модель конструктивных и производственных дефектов и эксплуатационных неисправностей

2.3. Диагностические задачи оптимизации структурных и функциональных параметров машин

Поскольку основные функциональные характеристики и качественные показатели машин закладываются на стадии проектирования (*П*) и доводки (*Д*), осуществляются при изготовлении и сборке (*И*) и вводе в эксплуатацию (*В*) и реализуются в процессе эксплуатации (*Э*), то надежность и ресурс машины определяется комплексом фактического состояния качества (*К*):

$$K=F(П,Д,И,В,Э)±E. \quad (2.1)$$

Отсюда следует, что повышение надежности и ресурса возможно путем совершенствования качества *П* и методов контроля (сохранения) заданного проектного качества на стадиях *И*, *Д* и *Э*. Но фактически каждая составляющая качества машин имеет *n* неизвестных структурных параметров состояния неустойчивости действующих процессов и погрешностей их определения (*E*). Достоверность знаний о статистических структурных параметрах и характеристиках ресурсов большого числа элементов машин уже на стадии *П* не может быть полной из-за недостаточных знаний, рекомендаций стандартов, расчетных методик, наличия компромиссных конструктивных решений и большой вероятности пропуска ошибки при оптимизации функциональных характеристик, рабочих процессов и динамических характеристик отдельных агрегатов и комплектных машин. Обеспечение надежности и ресурса машин по общепринятым моделям, многоцикловым ресурсным испытаниям представляет трудоемкий и длительный случайный процесс лабораторных испытаний и эксплуатационной доводки (рис. 2.6). При снижении объема лабораторных диагностических испытаний за счет доводки в эксплуатационных условиях дефекты конструкции устраняются лишь по явным отказам механизмов машин. Большая часть скрытых дефектов и резонансных явлений, связанных корреляционной зависимостью с режимами работы, рабочими процессами и эксплуатационными условиями остается в серийно выпускаемых машинах (рис. 2.4). Свойства структурных механизмов машин на стадии *П* могут характеризоваться совокупностью параметров $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$. Очевидно также, что проектное техническое состояние элементов в процессе изготовления и сборки имеет отклонения от заданных геометрических параметров кинематических, подвижных и контактных сопряжений, обуславливающих местные напряжения, изгибы, перекосы, неплоскостности, несоосности и другие погрешности сборки, изменение крутящих моментов и номинальных углов поворота валов, размеры и формы зазоров, характеризующихся совокупностью параметров $y'_1, y'_2, \dots, y'_n$.

Свойства структуры механизмов машин на стадиях *П*, *Д*, *И*, *В* могут быть охарактеризованы большим набором конструктивных, технологических и функциональных параметров состояний. Между некоторыми параметрами структуры возможны зависимости вида:

$$x_i=f(x_1, \dots, x_{i-1}, \dots, x_{i+1}, \dots, x_n), \quad (2.2)$$

$$y_i=f(y_1, \dots, y_{i-1}, \dots, y_{i+1}, \dots, y_n). \quad (2.3)$$

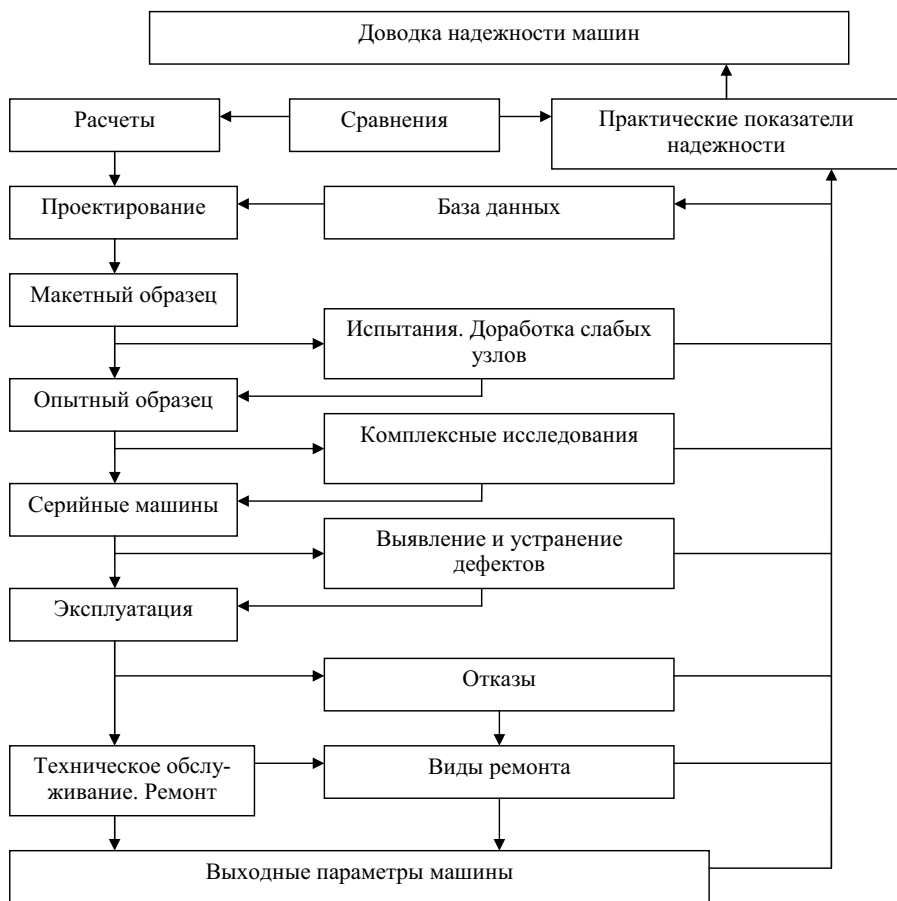


Рис. 2.6. Схема получения информации о техническом состоянии машины

Исходные параметры изготовления изменяются в процессе эксплуатации под действием многочисленных внешних и внутренних условий эксплуатации и тем быстрее, чем ниже технический уровень проектирования и доводки конструкции (см. рис. 2.1, 2.2, 2.6), технологии изготовления и эксплуатации. Все эксплуатационные процессы можно охарактеризовать m -мерным вектором $S=(S_1, S_2, \dots, S_m)$ параметров состояния элементов в условиях отсутствия доступа к прямому измерению. Для каждого вида механизмов можно определить бесконечное число функций состояния, вызванных качеством Π , Δ , И , В и Э . При этом каждый вид неисправности (R) можно описать как вектором абсолютных значений структурных параметров

$$S_k=(S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{km}), \quad (2.4)$$

так и вектором отклонений структурных параметров от нормы S_k^0

$$R_k = \overline{S_k} - \overline{S_k^0} = (r_{k1}, r_{k2}, \dots, r_{km}). \quad (2.5)$$

Этот далеко не полный перечень факторов определяет динамические характеристики механизмов и придает машине индивидуальные свойства на стадиях *И*, *В* и *Э*, требующих применения методов диагностирования высокой разрешающей способности. Конечный набор параметров состояния механизмов на стадии *П* и их изменение на некоторый момент стадий *В* и *Э* трудно сформулировать. Неизбежные отклонения совокупности структурных параметров на стадии *И*, функциональных состояний и износов на стадии *Э* изменяют жесткостные характеристики и собственные частоты деталей, контактных соединений и систем, механическое сопротивление и податливость конструкции силовым воздействиям, обуславливающим появление резонансных явлений или затухание колебаний при ослаблении связей элементов и появлении трещин, состояние которых невозможно определить прямыми измерениями. По времени наработки изменяется интенсивность рабочих процессов механизмов, корреляционные зависимости дефектов состояния элементов машины. Поэтому на стадиях от *П* до *Э* лежит бесконечное число промежуточных состояний случайного характера. Обозначим X_i^0 значения параметра конструктивного состояния, достигнутого на стадии *П* и *Д*. Тогда разность

$$X_i = X_i' - X_i^0 \quad (2.6)$$

будет характеризовать отклонение *i*-го параметра качества механизма от параметров проектного состояния.

В результате каждый автомобиль уже при вводе в эксплуатацию имеет индивидуальные характеристики технического состояния. Все механизмы машины в той или иной степени отличаются от идеального или заданного состояния на стадии *П*, а на стадиях *И* и *Э* – от достигнутого на стадии *Д*. Практическое оперирование с системами вида (2.1-2.6) оказывается очень громоздким, а главные результаты все равно будут слишком приближенными. Разбиение бесконечного множества состояний любой сложной механической системы на конечное множество *m* распознаваемых классов нормального и дефектного состояния $W=(W_1, \dots, W_m)$ на основе статистических решений трудно реализовать в практических системах диагностирования. Поэтому любой из основных технических параметров в условиях эксплуатации сложных машин, как правило, представляют сложным случайным процессом

$$S(t) = S_0 - T(t) + n(t), \quad (2.7)$$

где S_0 – исходное усреднение значения структурного параметра после изготовления или приработки механизма; $T(t)$ – тренд параметра; $n(t)$ – быстрые функции параметра протекающих процессов, имеющие кинематические или динамические происхождения.

Существующие попытки обойти возникающие трудности в недостатке информации об исходном состоянии механизмов на стадиях *П*, *Д*, *И*, *В*, о внешних условиях эксплуатации, причинах и закономерностях износа путем

применения среднестатистических показателей ресурса, полученных в результате обработки данных об отказах и скоростях изнашивания выбранной совокупности механизмов машин являются малоэффективными. Распространение таких среднестатистических показателей для оценки технического состояния и ресурса единичного элемента конкретной машины имеет существенные ограничения. Заведомо допускаемая неопределенность в исходных данных приводит к тому, что и выходные данные прогнозирования ресурса и технического состояния в эксплуатации оказываются слишком приближенными.

Сложность теоретического анализа подобного рода характеристик связи различных параметров машин вызвала к жизни более реальный эвристический подход к разработке методик диагностирования технических состояний машин с привязкой к виду неисправности, стадиям развития до момента отказа и характеру проявления в протекающих процессах, функциональных параметрах в контролируемом сигнале.

2.4. Изменение технического состояния объектов машин в жизненном цикле и безопасный ресурс

Исходные показатели качества автомобиля не остаются постоянными в процессе эксплуатации, а изменяются в пространстве с течением времени.

Реальные деградационные процессы не бывают гладкими, в особенности в машинах класса 3 и 4 (рис. 2.3). Это происходит из-за нестабильности рабочих процессов, проведения регулировочных работ, появления неисправностей, отказов, восстановления и т. д. Основные элементы деградационных изменений можно представить кривыми (рис. 2.7).

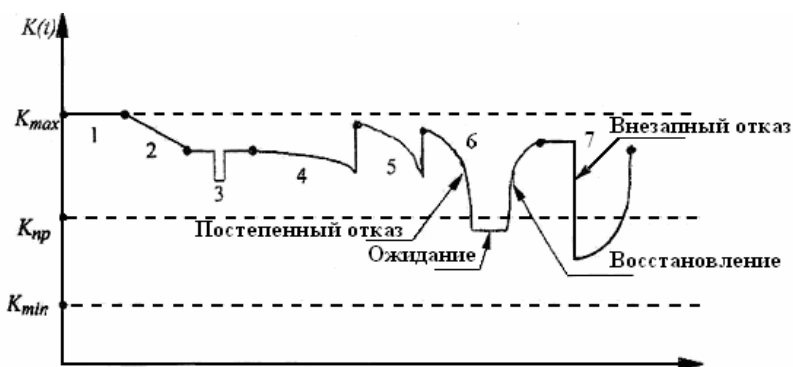


Рис. 2.7. Схема основных элементов деградационных кривых:

1 – стабильное качество; 2 – стабильная деградация; 3 – сбой и регулирование; 4, 5 – восстановление во время технического обслуживания или профилактики; 6 – постепенный отказ; 7 – внезапный отказ; $K(t)$ – обобщающий показатель качества технической системы; $K_{пр}$ – предельно допустимое снижение количественного или качественного показателя

На этапе изготовления автомобиля значение критерия $K(t)$ увеличивается от нуля до K_{max} . После завершения этапа изготовления показатели $K(t)$ имеют наибольшие значения, которые по времени эксплуатации снижаются, а в конце жизненного цикла $K(t)=K_{min}$ что приводит к невозможности использования объекта.

Изменение структурных параметров составных частей по мере наработки отличаются друг от друга скоростями изменения диагностических параметров (рис. 2.8). Кроме качественных показателей проектирования (рис. 2.1), на характер изменения структурных параметров влияет большое количество эксплуатационных факторов (применяемых скоростей, нагрузок, температур и т. д.). Характер изменения структурных и диагностических параметров перестает быть монотонным, происходят случайные отклонения (Π_i) диагностического параметра (рис. 2.9). Указанные процессы сильно усложняют выбор и обработку диагностических сигналов, их информативность по мере наработки, назначение предельных значений диагностического параметра. [14]

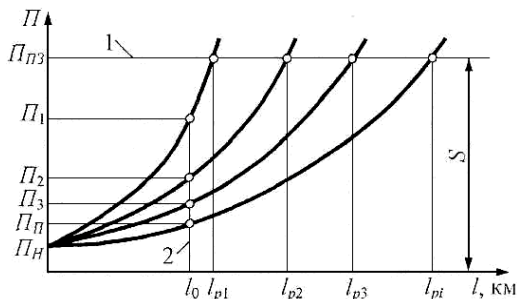


Рис. 2.8. Возможные вариации ресурса различных элементов автомобиля при эксплуатации:

1 – срез случайного процесса по диагностическому параметру Π предельного зазора S ; 2 – сечение случайного процесса по пробегу l ; l_0 – момент контроля (ТО); Π_H – номинальный параметр; Π_{Π} – параметр после приработки; $\Pi_{\PiЗ}$ – предельное значение диагностического параметра

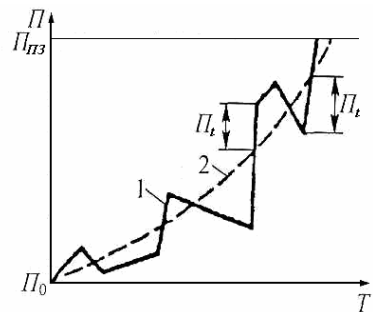


Рис. 2.9. Характер отклонений параметров состояния элементов:

1 – фактическое отклонение параметра; 2 – усредненное отклонение параметра; Π_0 – исходное состояние; $\Pi_{\PiЗ}$ – предельное значение диагностического параметра; Π_i – стационарная случайная функция отклонения параметра; T – наработка

Для выполнения условия контролируемости состояния в качестве индикаторов могут использоваться некоторые косвенные диагностические параметры, которые максимально тесно коррелированы с факторами состояния. Если корреляция слаба, эффективность индивидуального мониторинга будет снижаться. Эффективным диагностическим параметром изменения технического состояния механических и гидрогазоаэродинамических систем могут быть уровни вибрации объекта исследований. Контроль уровней вибрации машины в жизненном цикле объекта диагностирования позволяет наблюдать изменения технического состояния.

На рис. 2.10 приведена схема изменения диагностического параметра виброускорений конструктивного элемента машины разного уровня проектирования на всех стадиях жизненного цикла (I-VI) [15], где 1, 2 – высокий (1) и низкий (2) уровни конструкторско-технологической разработки, изготовления и доводки машин; T_1 – период разработки и доводки машин; T_2 – период приработки; T_3 – период нормального функционирования (полный ресурс); БР – безопасный ресурс; L_1 – начало планово-предупредительного обслуживания согласно назначенной системы (ППП); участок t_1 - t_2 – период зарождения и развития неисправностей различной скорости снижения надежности; t_3 – фактический срок проведения ремонта; t_3 - t_4 – период появления отказов; T_4 – предельное значение эксплуатации до ремонта; T_5 – период доводки и приработки после ремонта; L_0 – уровни вибрации после приработки (обкатки с доводкой); L_1 – уровни вибрации машины после изготовления; L_2 – уровни вибрации машины после доводки; L_3 – уровни допустимой вибрации для диагностируемого элемента машины; L_4 – уровни предельно допустимой вибрации, требующие остановки и решения о пригодности к ремонту, замене узла, агрегата или машины; L_5 – аварийные уровни вибрации машины; L_6 – уровни вибрации машины после ремонта ($L_6 \geq L_2$), которые больше не менее чем на 4 дБ [15]; ОР – остаточный ресурс.

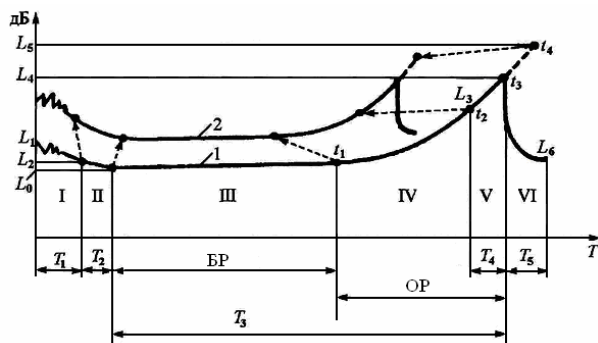


Рис. 2.10. Схема изменения диагностического параметра виброускорений в жизненном цикле (I-VI) машины (элемента)

Несмотря на всю несхожесть физических причин деградации, они обладают тем общим свойством, что окончательный отказ (разрушение) конструкции произойдет из-за нехватки остаточной прочности – несущей способности, сохранившейся к этому моменту. Предельное по условиям прочности состояние конструкции, различное по своим физическим проявлениям (усталостная трещина, износ поверхности, наличие коррозионного повреждения), должно характеризоваться, по существу, единым признаком – величиной остаточной прочности. Момент снижения прочности до допустимого уровня и следует считать моментом исчерпания ресурса по тем или иным деградационным причинам.

Как бы в действительности ни проходил реальный процесс обеспечения безопасности по условиям прочности и долговечности, главным его свойством является то, что машина является «живой» динамической системой, потребляющей информацию и реагирующей на нее, учитывающей реальное соответствие (или несоответствие) прогнозов фактической жизни. Поэтому остаточный ресурс является текущим ресурсным состоянием, которое реализуется на объектах с учетом проводимой систематической пере-

оценки очередных прогнозов, «отслеживания» реальной ситуации, использования обратных связей и т. п. путем диагностирования.

Природа конструкции, технологии производства распоряжаются так, что при всей внешней и внутренней схожести каждая машина индивидуальна. В процессе эксплуатации машины еще больше становятся индивидуальными. Поэтому не существует достаточно единых рецептов для всех машин и всех стадий жизненного цикла.

Диагностирование должно осуществляться конкретными способами и методами, направленными в первую очередь на уточнение составных элементов и результатов описанной системы мероприятий, которая должна быть задействована, начиная с этапа проектирования. С этих позиций понятие остаточный ресурс следует понимать, как те характеристики, которые становятся справедливыми с момента использования некоторой новой информации (в особенности из опыта эксплуатации) и остаются ими до получения и использования очередных более уточненных данных.

Если индивидуальное диагностирование машины не является непрерывным, а характеризуется интервалами с конечной периодичностью между моментами контроля, то должны быть приняты меры для предотвращения достижения предельного состояния t_3-t_4 (рис. 2.10) в промежутке между периодическими контролями диагностических параметров. Это достигается за счет тщательной статистической экстраполяции индивидуальной эмпирической зависимости «состояние-долговечность», полученной по результатам систематических осмотров одного и того же экземпляра конструкции, либо, если такая экстраполяция представляется ненадежной, путем «возврата на исходные позиции» и использования для прогноза на предстоящий интервал идеологии «наихудшего экземпляра».

Более трудной является ситуация, когда предельное состояние характеризуется мерой, отличной от той, которую возможно «отследить» в процессе эксплуатации. В этом случае темп приближения к предельному состоянию можно выявить лишь за счет возможных связей, существующих между затратами, например, энергоносителей. Затраты топлива на функционирование автомобиля нецелесообразно связывать с календарной продолжительностью эксплуатации, поскольку такая связь хотя и существует, но является достаточно слабой. Более предпочтительной мерой (кроме, естественно, прямого измерения расхода топлива) является наработка в километрах пробега, снижение мощности двигателя, анализ состава отработавших газов, хотя и эта связь является далеко не однозначной.

Одним из важных направлений уточнения ресурсных характеристик является выбор подходящего процесса эксплуатации, максимально адекватного процессу накопления усталости. На этой основе строится процедура, которую можно назвать нагрузочным мониторингом.

Техническая реализация нагрузочного мониторинга грузовых машин может быть выполнена по следующим двум основным направлениям:

- определение нагруженности в критических местах конструкции на основе измерений совокупности параметров эксплуатации и использования функциональных или корреляционных связей этих параметров с нагрузками

и их повторяемостью. Установление связей проводится на основе расчетных методов с последующим экспериментальным подтверждением в процессе диагностических испытаний. Определение нагрузок может проводиться либо в стационарных центрах обработки по завершению одного или нескольких циклов эксплуатации, либо осуществляться в процессе эксплуатации с помощью бортовой вычислительной системы;

- определение с помощью бортовой вычислительной системы величины условной расчетной усталостной повреждаемости по реализации номинальной относительной деформации в окрестности критического места за эксплуатационный цикл и установление корреляционной связи между этой величиной и эталонной повреждаемостью критического места при проведении фактических испытаний.

В результате разных скоростей старения в эксплуатации после исчерпания безопасного ресурса БР (см. рис. 2.10) нет двух одинаковых по техническому состоянию машин. Однако транспортные машины экономически не выгодно снимать с эксплуатации или осуществлять их капитальный ремонт после исчерпания гарантированного безопасного ресурса БР, поскольку остается недоиспользованная остаточная прочность и ресурс машины (элемента) (участки IV и V, рис. 2.10). В большинстве случаев выработка машиной ресурса на участке БР составляет 75 % от общего (полного) ресурса ОР (рис. 2.10) [15]. Количественно точно определить увеличение безопасного ресурса на стадиях IV и V по сравнению с гарантированным безопасным ресурсом БР представляется сложным из-за неодинаковой скорости роста влияния многочисленных производственных и технологических дефектов, различного исходного качества материалов и качества изготовления деталей, их сборки и монтажа, скорости износа, прогнозирования эксплуатационных условий использования машин, человеческих и других факторов. В этом случае темп приближения к предельному состоянию можно отследить в процессе эксплуатации путем диагностирования.

Методы диагностирования позволяют обнаружить существенное снижение прочности на участке IV и V как последствия деградиационных процессов (усталостные макротрещины, существенные коррозионные повреждения, износ и т. д.). Это позволяет предотвращать достижение предельного состояния на основе более эффективного по сравнению с ограничением наработки БР, путем проведения систематического (по жестко установленным правилам и срокам) контроля состояния конструкции в эксплуатации.

Поскольку прямое измерение предельного состояния затруднительно или даже невозможно, смысл диагностирования как измерения процесса эксплуатации сводится к введению таких понятий, как ресурс, срок службы, интервал между осмотрами и ремонтами и т. д., чтобы связать с ними характеристику предельного состояния и на этой основе принимать необходимые решения о правилах и порядке эксплуатации.

В связи с этим ресурс оказывается понятием достаточно сложным и неоднозначным, измерители ресурса могут быть весьма разными и в каком-то смысле ресурс даже трудно назвать характеристикой только самого объекта.

Фундаментальные характеристики безопасности повреждения конструкции определяются правилами так называемой «эксплуатации по техническому состоянию», когда путем диагностирования выявляют скорость износа, длительность роста усталостной трещины от максимального необнаруживаемого в эксплуатации размера до предельного состояния.

В запасе надежности осмотры и диагностирование с полученной периодичностью можно начинать с начала эксплуатации; при этом будет обеспечена определенная вероятность обнаружения случайных повреждений, не связанных с усталостью, а вызванных износом, повреждениями и эксплуатационными воздействиями. Это позволяет не допустить развития повреждений до критических размеров участка IV (рис. 2.10).

Однако в местах, где случайные повреждения исключены, целесообразно установить момент первого осмотра по условиям усталостной долговечности; этот момент, очевидно, совпадает с величиной безопасного ресурса (БР), который мог бы быть определен для этого критического места в предположении, что оно неконтролируемо.

Максимальная необнаруживаемая неисправность (размер дефекта) не должна превышать размера повреждения в предельном состоянии. Если это условие не выполняется, критическое место конструкции должно квалифицироваться как неконтролируемое и безопасность его эксплуатации может быть обеспечена другим способом, исключающим отрицательные последствия. Эти последствия, по существу, сводятся к трем возможным исходам: либо деталь (если она заменяема) должна быть заменена при определенной наработке, независимо от ее состояния; либо это критическое место должно быть отремонтировано, то есть изменена его конструкция, а, следовательно, для измененного места, которое целесообразно продолжать считать критическим, необходимо заново провести анализ возможных способов обеспечения безопасности; либо конструкция (если критическое место не может быть заменено или отремонтировано) должна быть снята с эксплуатации.

Если же это условие выполняется, то должно быть определено количественное значение длительности эксплуатации между двумя указанными состояниями: БР и допустимого значения диагностического параметра на участке IV (см. рис. 2.10).

В этих условиях необходимо обеспечить требуемое (чрезвычайно высокое) значение средней наработки до достижения предельного состояния. Полученная в результате величина требуемого интервала между осмотрами (контролем) рассматриваемого критического места конструкции является максимально допустимой по условиям обеспечения безопасности при эксплуатации по техническому состоянию.

Если же система может давать сбои и решения, направленные на поддержание безопасности, вынужденно ухудшают принятые ранее представления об остаточных ресурсных характеристиках или даже требуют выполнения дорогостоящих и длительных мероприятий, то весьма принципиальным становится вопрос о своевременном принятии решения, что требует высокой ответственности и оперативности создателей техники и систем диагностирования, а также государственных контрольных организаций.

Обеспечение прочностной безопасности в процессе эксплуатации производится путем жесткого ограничения ресурсных характеристик (время, расстояние, число эксплуатационных циклов, наработка в условиях функционирования и т. д.).

Переоценка остаточных ресурсных характеристик ОР на стадии IV и особенно на стадии V (рис. 2.10), является обязательной, а если она не проведена и не получено «добро» диагноста, то превышение установленного диагностического значения параметра запрещается.

В качестве запрещающего ограничения может быть использована система поэтапного продления установленных текущих значений назначенных ресурсов для конструкции в целом, когда в отличие от назначенного ресурса как ограничения наработки для неосматриваемого (неконтролируемого) критического места, эта ресурсная характеристика сохраняет только смысл момента для проведения переоценки технического состояния.

Проблема диагностики – это в большой мере проблема получения информации о действующих в машине процессах, передача, прием и обработка этой информации. Чем больше получено информации, тем больше имеется возможностей оптимизировать процессы и режимы работы машины, определять ее текущее состояние.

Техническое диагностирование способствует:

- повышению надежности автомобилей за счет своевременного назначения воздействий при проведении ТО или ремонта и предупреждения возникновения отказов и неисправностей;
- повышению долговечности агрегатов, узлов за счет сокращения числа частичных разборок;
- уменьшению расхода запасных частей, эксплуатационных материалов и трудовых затрат на ТО и ремонт за счет проведения последних по потребности (состоянию) на основании данных диагностирования.

Контрольные вопросы

1. Какие причины разного технического уровня поступающих в эксплуатацию машин?
2. Приведите конструктивные, производственные и эксплуатационные факторы, влияющие на надежность машин.
3. Какую роль в сохранении проектной надежности играет диагностирование машин?
4. Объясните по физико-вероятностной модели (рис. 2.4) влияние каждого энергетического воздействия на надежность и ресурс машины.
5. Какую роль среди множества факторов (рис. 2.4), снижающих надежность и ресурс машины, играет исходное техническое состояние?
6. Объясните классификацию надежности проектируемых машин по вибрационному критерию (рис. 2.3).
7. Приведите основные источники и причины вибрации механических систем машин.
8. Объясните формулу 2.1.
9. В чем заключаются недостатки среднестатистических показателей оценки технического состояния машин?
10. Объясните схему (рис. 2.7) протекающих деградационных процессов.

11. Почему изменение технического состояния машин в эксплуатации не протекает линейно?
12. Как надо понимать безопасный ресурс машины?
13. Чем объясняется разница в периодичности диагностирования элементов машины в жизненном цикле периода t_1-t_3 (рис. 2.10)?

3. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИН

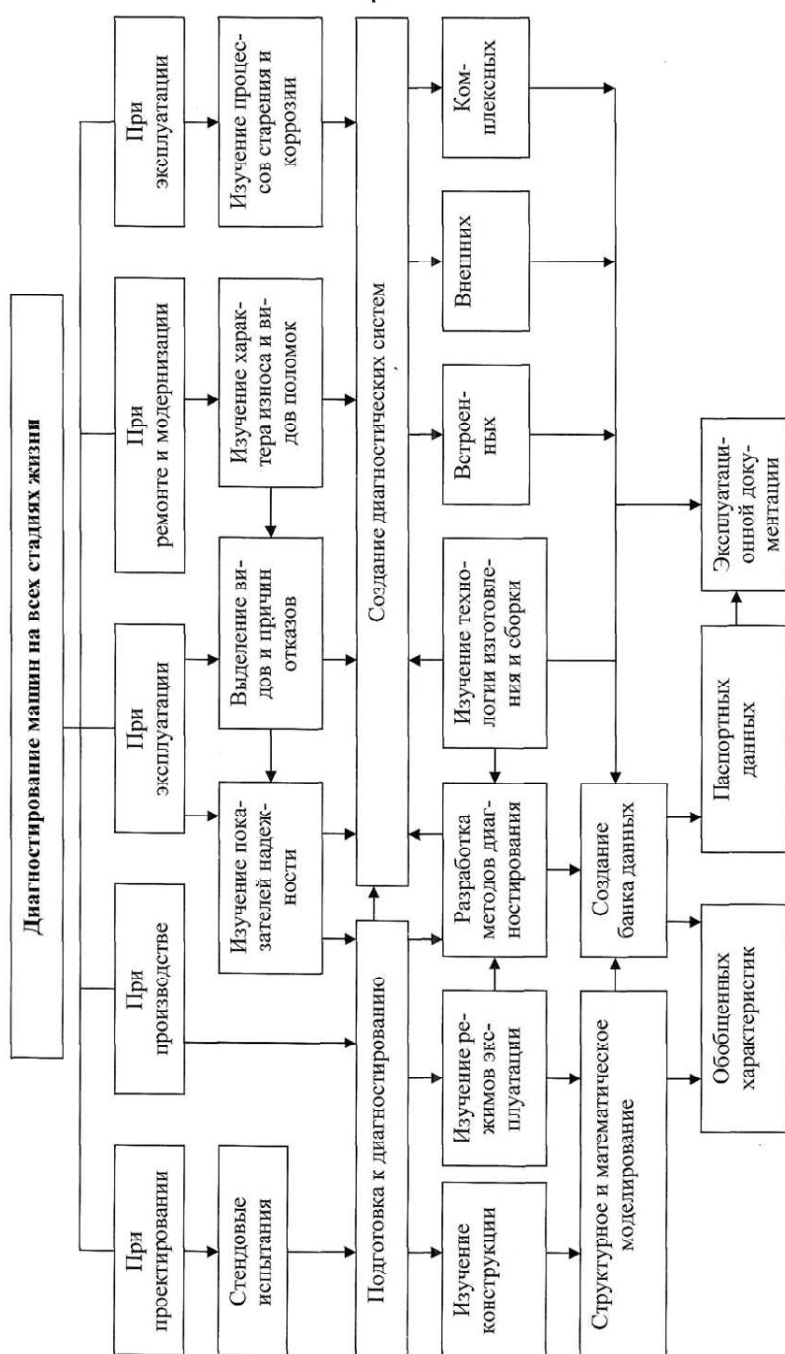
3.1. Диагностика в управлении техническим состоянием

Диагностирование – одно из основных мероприятий по управлению состоянием и обеспечения заданного ресурса технической и экологической надежности машин при доводке конструкции, сохранения проектного качества на стадиях производства и ремонта, выполнения требований безопасности и эффективности эксплуатации (рис. 3.1 [16]). На этих стадиях математические основы и экспериментальные методы прогнозирования сохраняются одинаковыми, но конкретные методики и алгоритмы являются разными.

Техническая диагностика рассматривает любой объект как потенциальный источник дефектов, неисправностей, отказов, которые должны быть выявлены и локализованы на любой стадии жизненного цикла машины. Поэтому техническая диагностика является своего рода индикатором качества и безотказности машин и систем управления. Основным выходом процесса диагностирования является информация о месте и причине неисправности или отказа, а также прогнозирование технического состояния. При диагностировании рассматриваются абстрактные модели на основе эмпирических исследований конкретных технических систем. Кибернетическое функциональное и информационное моделирование отказов приводит к значительным практическим результатам.

Требования к процессу управления техническим состоянием машин можно выполнить, снижая погрешности измерения и прогнозирования параметров состояния машин, безошибочно выполняя воздействия в зависимости от заданных значений управляющих показателей, получая точную информацию о показателях надежности и эффективности машин после технических влияний, снижая погрешность результатов сравнения, а также погрешность корректирования управляющих показателей машин.

Непременным условием управления состоянием машин служит знание динамики параметров состояния и прогнозирование их изменения. Теория прогнозирования технического состояния машин позволяет учитывать причинную связь элементов во времени, синтезировать отклонение параметров состояния и неисправности нескольких элементов, распространяя результаты на машину в целом (рис. 3.2).



3.1. Диагностирование машин на всех стадиях жизни

Обратная связь в процессе управления техническим состоянием машин служит для получения информации о показателях надежности и эффективности машин после управления, проверки результатов управления путем сравнения ожидаемых оптимальных значений показателей машин с фактическими показателями и корректированием управляющих влияний с целью минимизации отклонений, которые обнаруживаются при сравнении и достижении заданных или нормированных параметров технического состояния.

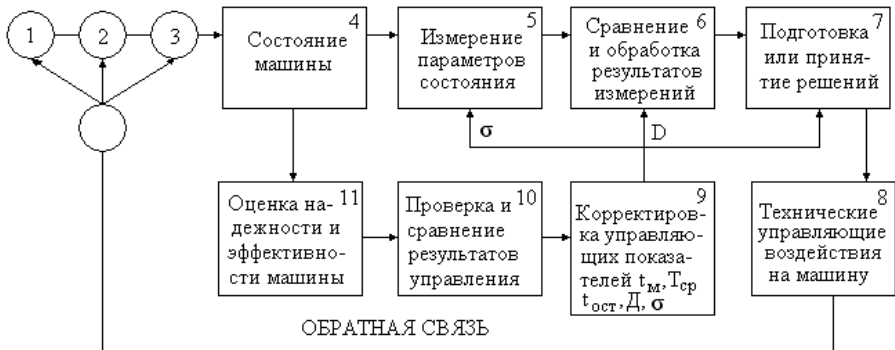


Рис. 3.2. Схема управления техническим состоянием машины

Задачи, связанные с необходимостью диагностирования машин на всех стадиях требуют разработки единых технических переносных, стационарных и бортовых средств диагностирования. Тогда повышается эффективность диагностирования машин и их надежность можно поддерживать в гарантийный период на уровне, заложенном при проектировании.

На рис. 3.2 показано: 1, 2, 3 – проектирование, изготовление (ремонт) и эксплуатация; D – допустимые без технического влияния отклонения параметров состояния; σ – погрешность измерения параметров; t_m – межконтрольная наработка; $t_{ост}$ – остаточный ресурс; $t_{ср}$ – средний ресурс. На стадии оценки технического состояния макетных и исследовательских образцов, качества изготовления и ремонта основными операциями при испытаниях являются 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8.

В процессе управления состоянием машин **техническое диагностирование выполняет** три основных функции (см. рис. 3.1, 3.2):

- получение информации о техническом состоянии конкретной машины;
- обработка и анализ информации;
- подготовка или принятие решения – командной информации с учетом настройки систем на оптимальную работу.

Суть первой функции состоит в измерении диагностических параметров, установлении качественных признаков состояния, а также наработки машины и ее составных частей; второй функции – в обработке и сравнении полученных значений параметров с допустимыми и предельными нормами параметров состояния, использовании полученных параметров и наработки для прогнозирования остаточного ресурса; третьей функции – в анализе ре-

зультатов сравнения, прогнозирования, а также качественных признаков состояния и установления характера управления оптимальной работой систем, агрегатов и узлов, объема и сроков проведения технического обслуживания и ремонта машины, то есть управляющих технических влияний.

Техническое диагностирование обеспечивает получение, обработку, анализ и выдачу информации – предмета и продукта процесса управления состоянием машины, как и любого другого процесса управления. Поэтому диагностирования представляет основное содержание управления повышением надежности, конкурентоспособности, экологической и технической безопасности машин.

Применения технического диагностирования обеспечивает направленные изменение не только технического состояния машин, но и самой системы их технического обслуживания и ремонта. Самодиагностирование – непереносимое условие перехода на прогрессивную систему технического обслуживания и ремонта машин по фактическому состоянию. То же относится к операциям технического обслуживания и ремонта машин.

В практическом аспекте диагностирования обеспечивает управление техническим состоянием машин, решая следующие задачи при техническом обслуживании: необходимость изменения режимов работы, регулировочных и ремонтных работ составных частей и компонентов, объем и характер технического обслуживания.

При ремонте машин решается задача установления составных частей, которые подлежат ремонту, восстановлению, а также оценки качества ремонтных работ.

Требование антиэнтропийности (минимальной неопределенности, высокой достоверности) установления, прогнозирования технического состояния машин, оценки показателей их надежности и работоспособности.

Диагностика является основой управления технической и экологической надежностью и безопасностью машин. Диагностика при эксплуатации направлена на поддержание машин проектом (заданном) исправном состоянии, которое позволяет сохранять:

- надежность экологической и техногенной безопасности химических и газообразных параметров, шумовых влияний, вибрационных влияний, радиационного и электромагнитного излучения;
- дорожную безопасность – снижение аварий и катастроф;
- техническую надежность – долговечность и безотказность, ремонтно-пригодность и сохраняемость;
- функциональную надежность – тягово-скоростные качества, проходимость и маневренность, топливную экономичность, плавность хода;
- высокую эффективность работы – производительность и себестоимость выполняемых работ, современное качественное выполнение задачи, сохранение нормативного производственного ритма;
- комфортабельность езды водителя, пассажиров и сохраняемость груза.

Поэтому диагностирования машин следует проводить на всех стадиях жизненного цикла (рис. 3.1, 3.3).



Рис. 3.3. Основные этапы создания машин и систем диагностирования в жизненном цикле:

СД – система диагностирования; ОП – обслуживающий персонал; ТС – техническое состояние; ОР – остаточный ресурс; ТО – техническое обслуживание

Для оценки надежности машин недостаточно проведения испытаний на соответствие проектируемой машины заданным функциональным и техническим характеристикам. Достижение заданной надежности машин при проектировании обеспечивается на основе обеспечения технической надежности (точности и стабильности технологических процессов), углубленного диагностирования аналога, макетных и серийных образцов: На основе углубленного диагностирования всех систем исследовательских образцов машины оценивают фактическое и будущее состояние, ресурс и надежность с заданной достоверностью. Здесь следует заметить, что надежность работы объекта выступает как целевая функция, который подчинены все характеристики и параметры системы контроля и диагностирования: стоимость, вес, прочность, габариты, КПД, долговечность, шум, вибрация и т. д. Это составляет проблему маркетинга транспортных машин, которую необходимо решать на всех этапах достижения целевой функции.

Без диагностирования невозможно создать конкурентоспособную машину, оценка качества которой представляется как совокупность основных частей: технических параметров, технологических характеристик, эксплуатационных свойств, потребительских показателей. Важными параметрами конкурентоспособности транспортных машин является: контролепригодность, технологическая приспособленность к диагностированию и эксплуатационная надежность и мобильность, способность противостоять внешним и внутренним воздействиям (отказная надежность).

Теоретические основы проблемы организации контроля, диагностирования и испытаний органически взаимосвязаны в рамках системного подхода с комплексом научных дисциплин, которые обеспечивают решение практически всех возникающих задач. Пример такой взаимосвязи в дополнении к контролю и диагностированию машин приведен на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Взаимосвязь научных дисциплин при решении проблемы организации контроля, диагностирования и испытаний машин

Практическое решение проблемы достигается путем разработки методического, аппаратного, программно-математического и метрологического обеспечения, которое учитывает особенности конкретного объекта.

3.2. Обеспечение контролеспособности объектов диагностирования

Контролеспособностью называется свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Под ранним обнаружением отказов и неисправностей понимается выявление дефекта или неисправности в начальной стадии, при которой еще не проявляются отрицательные последствия для надежности или работоспособности изделия. Контролеспособность создается конструкцией изделия и принятой системой технической диагностики.

Теория контролеспособности включает разработку средств и методов получения диагностической информации, автоматизированный контроль и поиск неисправностей.

Важное значение контролеспособность имеет для электронных систем, для которых теория автоматического контроля и поиска неисправностей составляет самостоятельный раздел технической диагностики.

Контролеспособность, в первую очередь, зависит от качества и объема диагностической информации, которая может быть получена при эксплуатации изделия и его техническом обслуживании, а также при специальных диагностических испытаниях (диагностических тестах). Поэтому важной задачей теории контролеспособности является изучение средств и методов получения диагностической информации. В сложных технических системах используется автоматизированный контроль состояния, которым предусматривается обработка диагностической информации и формирование управляющих сигналов. Методы проектирования автоматизированных систем контроля составляют одно из направлений теории контролеспособности. Наконец, очень важные задачи теории контролеспособности связаны с разработкой алгоритмов поиска неисправностей, разработкой диагностических тестов, минимизацией процесса установления диагноза.

Для синтеза контролепригодных объектов непрерывного действия наиболее удобной является логическая модель. Эта модель в основном используется для объектов, которые имеют четко выраженные функциональные блоки. Для объектов другой структуры может использоваться в качестве модели граф причинно-следственных связей.

Современную систему автоматизированного управления техническим состоянием сложного транспортного средства можно представить схемой на рис. 3.5. Для обеспечения надежности и безопасности транспортного средства необходим его постоянный и периодический контроль и проведение управляющих воздействий.

Для определения работоспособности машины, поиска неисправностей и прогнозирования состояния необходимо обеспечить контролепригодность, которая позволяет измерять диагностические параметры, управлять

рабочими процессами и техническим состоянием транспортного средства (рис. 3.5).

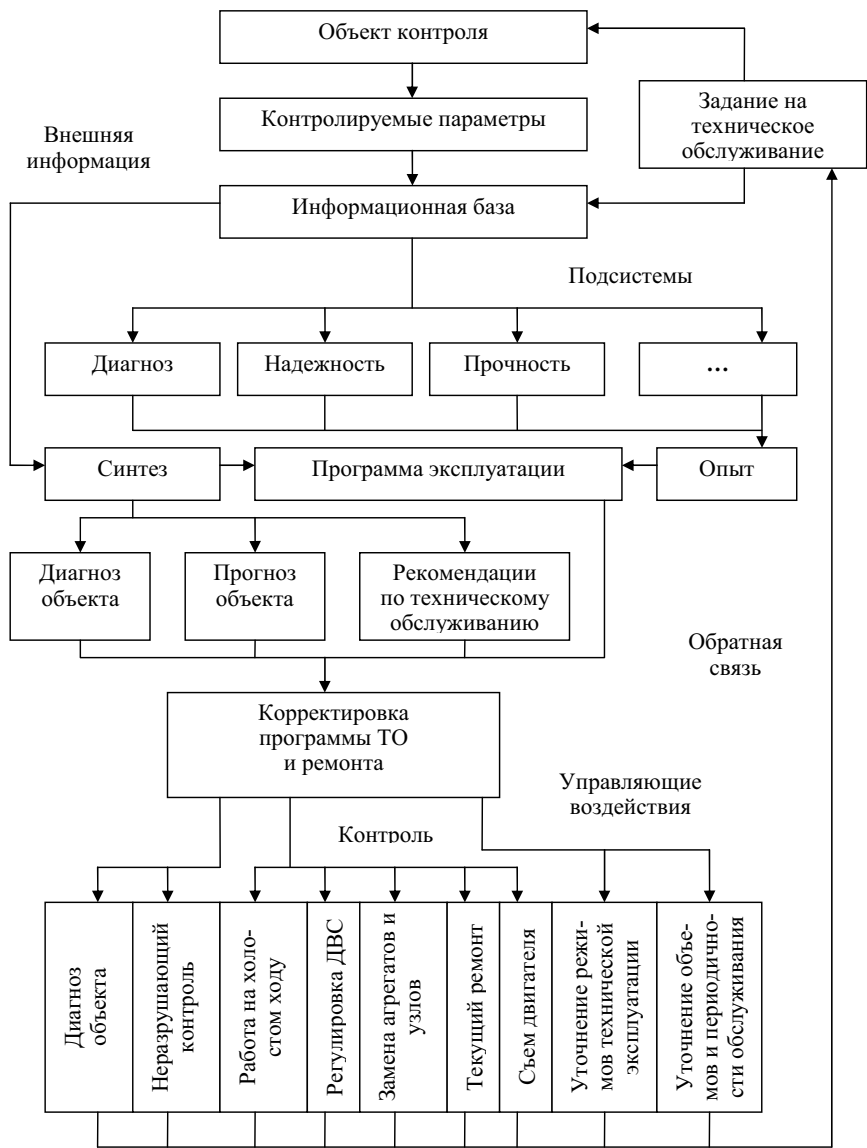


Рис. 3.5. Структурная схема автоматизированного управления техническим состоянием транспортного средства в эксплуатации

Для обеспечения контролепригодности отдельных агрегатов и бортовой системы автомобиля на этапе его эскизного проектирования разрабатывают конструкторский документ контролепригодности.

Требования контролепригодности устанавливаются в нормативных документах, например, в государственных и отраслевых стандартах, в технических заданиях на разработку автоматизированной системы контроля (АСК). На всех этапах разработки объекта контроля и АСК проводятся расчетные, экспериментальные и испытательные работы, по которым оценивают достигнутые уровни показателей контролепригодности и принимают меры относительно их улучшения.

Количественно контролепригодность объекта диагностирования можно оценить коэффициентом глубины поиска неисправности. Увеличение коэффициента глубины поиска неисправности приводит к увеличению коэффициента готовности объекта диагностирования.

В соответствии с ГОСТ 23563-79 «Контролепригодность объектов диагностирования» номенклатуру и значения показателей контролепригодности для каждого объекта диагностирования следует задавать с учетом технических требований к диагностическому обеспечению. Согласно ГОСТ 23563-79 показатели контролепригодности диагностируемых объектов разделены на четыре группы:

- показатели, характеризующие полноту диагностирования;
- показатели, характеризующие прямые затраты на диагностирование объекта;
- вспомогательные показатели, характеризующие отдельные элементы организации процесса диагностирования;
- показатели, характеризующие степень унификации объектов и технических средств диагностирования.

Реализация изложенных методов расчета нормативов контролепригодности автомобилей позволяет существенно снизить трудоемкость и стоимость диагностических работ, а также повысить их качество.

Для повышения контролепригодности необходимо располагать системой оценочных показателей, основанных на трудоемкости диагностических работ, и методикой применения этих показателей при проектировании, создании и испытании автомобилей. Трудоемкость диагностирования автомобиля складывается из трудоемкости подготовительных работ, то есть дополнительной трудоемкости T_d и трудоемкости собственно диагностирования, то есть основной трудоемкости T_o , включающей измерение диагностических параметров и постановку диагноза. Значение T_d главным образом зависит от совершенства конструкции автомобиля, а T_o – от совершенства методов и средств диагностирования. При этом и T_o , и T_d обусловлены показателями надежности автомобиля и стоимостными показателями. [17, 18]

Развитие диагностирования идет путем сокращения времени T_d , то есть путем обеспечения автомобиля встроенными приборами, непрерывно регистрирующими и накапливающими информацию о его техническом состоянии. Это вызывает соответствующие изменения методов и средств внешней диагностики, требует ее автоматизации в интересах снижения T_o .

Показатели контролепригодности делятся на основные и дополнительные. Основными показателями, характеризующими ее количественно, являются норматив контролепригодности N и коэффициент контролепри-

годности K автомобиля. Дополнительные показатели характеризуют контролепригодность качественно и количественно.

Норматив контролепригодности комплексно определяет свойства автомобиля в непосредственной связи с надежностью, условиями эксплуатации и системой контроля. Он предназначен для включения в техническое задание на проектирование автомобиля и выражается отношением

$$N = \frac{T_o + T_d}{L \cdot Q},$$

где T_o – основная трудоемкость контрольно-диагностических работ, связанных с измерением параметров и постановкой диагноза, чел.·ч; T_d – дополнительная трудоемкость, обусловленная обеспечением доступа к местам контроля, подключением и отключением датчиков, выходом на тестовые режимы и т. п., чел.·ч; L – назначенный ресурс автомобиля, $10^3 \cdot \text{км}$; Q – грузоподъемность автомобиля, т; N – норматив контролепригодности, чел.·ч/(10^3 км).

Коэффициент контролепригодности локально характеризует приспособленность конструкции автомобиля (его элементов и систем) к диагностированию. Он позволяет суммарно определять уровень конструкторских решений в области контролепригодности как в ходе проектирования, так и в ходе испытаний, но без анализа причин, то есть без качественной оценки контролепригодности. Коэффициент контролепригодности выражается отношением

$$N = \frac{T_o}{T_o + T_d}.$$

Выполненные расчеты показывают, что коэффициент контролепригодности отечественных грузовых автомобилей составляет около 0,54. Это свидетельствует о значительной доле дополнительных работ (они составляют почти половину общего объема), обусловленных несовершенством конструкций. Указанное подтверждается колебаниями контролепригодности для отдельных агрегатов и систем отечественных автомобилей в пределах от 0,5 до 0,74 (рис. 3.6). [17]

Из гиперболического характера кривой норматива контролепригодности видны границы, обуславливающие целесообразность увеличения K в целях повышения N . Уже за пределами $K=0,8$ рост контролепригодности становится незначительным, несущественным. Это означает, что для дальнейшего повышения контролепригодности необходимо снижение T_o путем автоматизации средств приставной диагностики.

Дополнительные показатели $X_1, \dots, X_n$ дифференцированно оценивают контролепригодность конструкции автомобиля качественно и количественно. Качественно – по связи с факторами, характеризующими трудоемкость диагностирования, количественно – по их влиянию (весомости) на основные показатели контролепригодности.

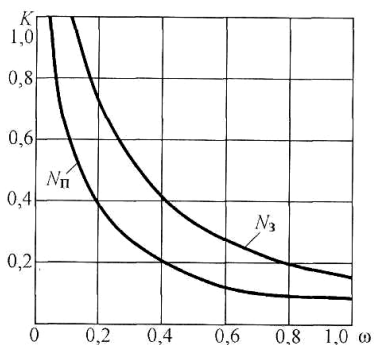


Рис. 3.6. Зависимость коэффициента контролепригодности K от относительной периодичности контроля ω : нормативные кривые K : N_{Π} – нижний предел; N_3 – заданный предел

Перечень наиболее важных дополнительных показателей включает: доступность диагностирования X_1 , легкость подключения приборов X_2 , возможность диагностирования без разрыва цепей X_3 , удобство работ X_4 , обеспеченность контроля встроенным датчиком X_5 , безошибочность подключения датчиков X_6 .

Для оценки дополнительных показателей используется метод экспертных оценок.

По данным [17, 18] дополнительные показатели контролепригодности автомобиля по четырехбальной шкале оцениваются так: $X_1=4$; $X_2=3,3$; $X_3=3$; $X_4=2,5$; $X_5=X_6=2,0$.

На рис. 3.7 приведена зависимость коэффициента контролепригодности от относительной периодичности контроля, которая определяется как

$$\omega = \frac{L}{L_d},$$

где L – назначенный ресурс автомобиля; L_d – периодичность контроля (например, ТО-2).

Указанная зависимость построена расчетным путем для грузовых отечественных автомобилей (см. рис. 3.7). Она имеет гиперболический характер. При увеличении ω происходит снижение значений K . Вполне очевидно, что для получения более стабильных значений K необходима автоматизация процесса диагностирования, то есть встроенное или бортовое оборудование с выводом значений диагностических параметров на дисплей бортового компьютера.

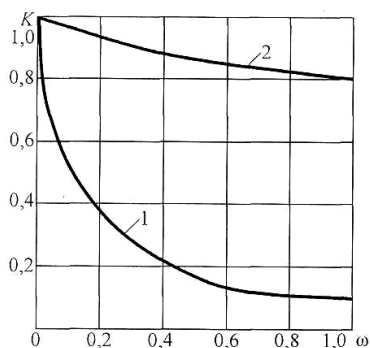


Рис. 3.7. Зависимость коэффициента K от относительной периодичности диагностирования ω :

1 – расчетная; 2 – при автоматизации процесса диагностирования

3.3. Показатели приспособленности объектов к диагностированию

Исследования в различных областях машиностроения показали, что повышение эффективности диагностирования может встроенными и внешними средствами быть достигнута оптимизацией:

- номенклатуры диагностических параметров, обеспечивающих достаточную точность диагноза при минимальных трудозатратах;
- выбор метода диагностирования;
- средств диагностирования и погрешностей измерения диагностических параметров;
- нормативных значений диагностических параметров и периодичности диагностирования;
- контролепригодности машин в том числе оснащение их встроенными системами диагностирования.

Приспособленность машин к техническому диагностированию и диагностическое обеспечение позволяет:

- контролировать оптимальные режимы и характеристики машин, которые могут нарушаться в следствие неисправностей или износа отдельных элементов;
- обеспечивать безаварийную работу машин;
- обеспечивать техническую и экологическую безопасность эксплуатации машин;
- обеспечить эффективное использование машин.

Конструкция объекта и его составных частей должна обеспечивать доступ к контрольным точкам без разборки узлов и механизмов, за исключением вскрытия технологических крышек, заглушек и т. д., открывающих доступ к местам сопряжений датчиков со средствами диагностирования (контроля) и исключать возможность повреждения сборочных единиц при присоединении средств диагностирования (контроля).

Конструктивное оформление мест присоединения средств диагностирования должно быть по возможности простым (резьбовые отверстия с заглушками, запорные устройства, крышки и т. п.).

Показатели и характеристики диагностирования, требования по приспособленности изделия к диагностированию и диагностическому обеспечению объекта должны включаться в ТТЗ или ТЗ, стандарты на конкретные виды машин и документацию, разрабатываемую в процессе проведения опытно-конструкторских работ. Контроль разработанных показателей и характеристик диагностирования осуществляется при проведении предварительных, приемочных и периодических испытаний по программам и методикам испытаний на транспортный объект.

Устанавливаются следующие показатели диагностирования: показатели достоверности и точности диагностирования, показатели технико-экономические. Показатели достоверности и точности диагностирования в соответствии с ГОСТ 25518-87 приведены в табл. 3.1.

Показатели достоверности и точности диагностирования

Задача диагностирования	Результат диагностирования	Показатели достоверности и точности
Определение вида технического состояния	Заключение в виде: 1. Изделие исправно и (или) работоспособно. 2. Изделие неисправно и (или) неработоспособно	Вероятность того, что в результате диагностирования изделие признается исправным (работоспособным) при условии, что оно исправно (работоспособно). Вероятность того, что в результате диагностирования изделие признается неисправным (неработоспособным) при условии, что оно исправно (работоспособно)
Поиск места отказа или неисправности	Наименование элемента (сборочной единицы) или группы элементов, которые имеют неисправное состояние и место отказа или неисправности	Вероятность того, что в результате диагностирования принимается решение об отсутствии отказа (неисправности) в данном элементе (группе) при условии, что данный отказ имеет место. Вероятность того, что в результате диагностирования принимается решение о наличии отказа (неисправности) в данном элементе (группе) при условии, что данный отказ отсутствует
Прогнозирование технического состояния	Численное значение параметров технического состояния на задаваемый период времени, в том числе и на данный момент времени. Численное значение остаточного ресурса (наработки). Численное значение остаточного ресурса (наработки) соответствующего заданной вероятности (для изделий специальной техники)	Среднеквадратическое отклонение прогнозируемого параметра. Среднеквадратическое отклонение прогнозируемого остаточного ресурса. Вероятность безотказной работы, показатели изменения прогнозируемого диагностического параметра по ГОСТ 27302-86. Доверительная вероятность

Достоверность определения номинальных значений диагностических параметров существенно зависит от технического уровня проектирования, технологических особенностей производства машин, экономических факторов и т. п. От уровня конструктивной технологичности изделий, качества изготовления и сборки отдельных агрегатов и комплектных машин зависит стабильность точностных параметров их систем.

Разброс исходных значений диагностических параметров механизмов машин на стадии изготовления является показателем статистического рассеивания их ресурса, который достигает для машин класса качества 3 и 4 (рис. 2.1, 2.3) до 30-50%. Поэтому первоочередной задачей проектирования

и технологии производства является снижение рассеивания исходных параметров машин. Повышение стабильности исходных и эксплуатационных параметров машин позволяет значительно повысить достоверность назначения исходных и предельных диагностических параметров.

Технико-экономические показатели включают:

- удельные затраты на диагностирование;
- среднюю оперативную трудоемкость диагностирования;
- среднюю оперативную продолжительность диагностирования;
- периодичность диагностирования.

Устанавливаются следующие характеристики диагностирования:

- при определении вида технического состояния объекта – номенклатура параметров изделия, позволяющая определять его техническое состояние;

- при поиске места неисправности или отказа, задаваемое уровнем конструктивной сложности составных частей изделия или перечнем элементов, с точностью до которых должно быть определено место неисправности или отказа;

- при прогнозировании технического состояния – номенклатура параметров объекта, позволяющих прогнозировать его техническое состояние.

Диагностическое обеспечение объекта в эксплуатационной документации должно включать:

- вид, периодичность и объем диагностирования при техническом обслуживании;

- номенклатуру диагностических параметров и их характеристик (исходные допустимые и предельные значения, точки контроля и т. д.) и зависимость величин диагностических параметров от наработки;

- методы диагностирования;
- средства технического диагностирования;
- требования к точности измерения параметров;
- правила и последовательность диагностирования;
- требования к контролю пригодности объекта диагностирования;
- требования к технике безопасности работы.

Номенклатура диагностических признаков должна удовлетворять требованиям полноты, информативности и доступности измерения при наименьших затратах времени и стоимости реализации.

Методы диагностирования должны определяться, исходя из установленных задач, и должны включать:

- диагностическую модель изделия, алгоритм диагностирования и программное обеспечение;

- правила измерения диагностических параметров, правила анализа и обработки диагностической информации и принятия решения.

По режиму работы методы диагностирования можно разделить на постоянно действующие (непрерывные), периодически действующие и разовые. Постоянно действующие методы характеризуются постоянным контролем за выбранными параметрами в процессе работы объекта, поэтому этими методами выполняется только функциональное диагностирование.

При периодически действующих методах контроль рабочих параметров при функциональном или тестовом диагностировании осуществляется через определенные, строго повторяющиеся промежутки времени, определенные эксплуатационными инструкциями. Разовые методы применяют только при необходимости получения дополнительной информации, когда информация от постоянного и периодического контроля недостаточна.

Задача прогнозирования технического состояния формулируется следующим образом: по наблюдению реализации случайных процессов изменения показателей качества функционирования на определенном интервале времени предсказать значение реализации в некоторый будущий момент времени. Для решения этой задачи составляют алгоритмы обработки наблюдаемых реализаций параметров, дающих их экстраполированное значение.

Реализация диагностирования содержит следующие этапы:

- выбор существенных параметров для прогноза; выбор и составление моделей прогноза;
- определение и назначение технических средств, обеспечивающих измерения и наблюдение за выбранными показателями;
- оценка эффективности выбранных средств;
- корректировка ранее выбранных параметров и состава технических средств.

Средства технического диагностирования (СТД, встроенные и внешние, аппаратные и стендовые) должны обеспечить определение (измерение) или контроль диагностических параметров в режимах работы объекта, установленных в технологической документации приемо-сдаточных испытаний, технического обслуживания, эксплуатационной документации.

СТД в эксплуатации должны выполнять следующие задачи: оценивать изменение диагностических параметров, сравнивать их с предельными значениями и при необходимости включать визуальную аварийную сигнализацию; определять и прогнозировать техническое состояние; выдавать рекомендации обслуживающему персоналу на ремонт и регулировку.

Правила диагностирования должны включать:

- указания по применяемым аппаратным и стендовым средствам технического диагностирования;
- указания по режиму работы изделия при диагностировании;
- последовательность диагностирования;
- указания по регистрации и обработке результатов диагностирования и выдачи заключения (диагноза) в соответствии с решаемыми задачами;
- требования безопасности процессов диагностирования и другие требования в соответствии со спецификой эксплуатации объекта.

Контрольные вопросы

1. Какая роль диагностики в обеспечении надежности машин в жизненном цикле?
2. Объясните по рис. 3.2 схему управления техническим состоянием машины.

3. Как влияет диагностирование на систему технического обслуживания и ремонта машин?
4. Приведите перечень диагностических процедур, позволяющих обеспечить высокий технический уровень доводки машин.
5. Что значит обеспечение контролепригодности объекта диагностирования?
6. Объясните по рис. 3.5 как обеспечивается автоматическое управление техническим состоянием машины.
7. Приведите показатели достоверности и точности диагностирования.
8. Какие технико-экономические показатели диагностирования?
9. Какие показатели диагностического обеспечения объекта машины должны быть указаны в технической эксплуатационной документации?
10. Какие основные технические требования к средствам диагностирования?
11. Какие требования должны быть включены в диагностирование объекта?

4. ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИН В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

4.1. Знания, необходимые для эффективного проектирования диагностического обеспечения

В системе диагностирования машин человек является основным звеном. В качестве его средств диагностирования выступают органы чувств человека. Оценка технического состояния интеллектуальными методами и логического анализа структурных и входных параметров рабочих процессов является неотъемлемой частью первого этапа разработки диагностического обеспечения. Интеллектуальные системы человека по многим свойствам комплексного анализа и гибкости алгоритмов превосходят технические аналоги.

В современных сложных системах автомобилей количество типов неисправностей может достигать 2000. В связи с быстрым усложнением автомобиля рост технических знаний проектировщиков отстает от понимания уровня решаемых задач диагностирования, знаний электрических и гидрогазодинамических процессов, систем автоматизации управления техническими системами автомобиля.

Интеллектуальные методы принятия решений конструктора и диагноста основаны на знаниях и опыте, совершенстве их чувств и разума. При этом интуитивно выполняется классификация совокупности признаков и некоторые действия по получению и интеллектуальной обработке информации, на основе которой делаются выводы о будущем состоянии объекта. Скорость и эффективность классификации образов технического состояния зависит от того, насколько хорошо (точно) подобраны основные признаки неисправностей (дефектов) на первом этапе мыслительного диагностирования.

Эффективность принимаемого решения человеком в значительной степени определяется его знанием объекта, типовых неисправностей, его опытом и интуицией. До настоящего времени отсутствуют доступные приборы и средства, способные реализовать все функции, выполняемые человеком.

Знание теоретических основ диагностики необходимо специалисту для создания и использования встроенных и внешних систем диагностирования, выбора наиболее информативного перечня диагностических параметров, их предельных значений, разработки алгоритма поиска неисправностей и отказов, разработки оптимальных режимов диагностирования при техническом обслуживании транспортных машин. Для подготовки таких специалистов к практической деятельности необходимы знания процессов изменения свойств транспортных машин на протяжении эксплуатации, умение оценивать влияние этих свойств на снижение эффективности эксплуатации, технической и экологической надежности машин, прогнозировать остаточный ресурс.

Достижение этих требований невозможно без знания [9, 12, 19-23]:

- принципов обеспечения надежности машин, свойств измеряемых сигналов физических величин, зависимостей изменения состояния транспортных машин в эксплуатации;
- построения диагностических моделей рабочих процессов с обратной связью, разработки алгоритмов диагностирования и диагностического обеспечения;
- методов выбора диагностических признаков и параметров, взаимосвязи структурных и диагностических параметров, определения изменений диагностических параметров по наработке;
- методов нормирования исходных и предельных диагностических параметров, нормирования классов качественной и количественной оценки технического состояния объектов диагностирования;
- методов определения периодичности диагностирования и технического обслуживания, оценки погрешностей при диагностических измерениях, оптимизации периодичности диагностирования;
- методов и средств диагностирования, форм организации диагностирования, систем технического диагностирования внешними и встроенными средствами;
- процессов диагностирования и постановки диагноза, построения алгоритма диагностирования, постановки диагноза по нормативным значениям и комплексу диагностических параметров, оценки достоверности результатов диагностирования, принципов самоконтроля неисправности встроенными средствами;
- прогнозирование состояния транспортных машин, критерии и этапы прогнозирования остаточного ресурса, методов аналитического и линейного прогнозирования, прогнозирования по среднестатистическому изменению диагностического параметра, допустимым значениям параметров и по реализации, индивидуального прогнозирования.

Для эффективного использования теоретических знаний диагностирования автомобиля и принятия решений диагносту необходимы знания:

1. Конструкции объектов диагностирования автомобилей, понимания их внутренних свойств и принципов диагностирования технических систем, взаимодействия с окружающей средой, влияние их технического состояния,

рабочих процессов и микропроцессорных систем управления ими на техническую и экологическую безопасность автомобиля. [12, 13, 19, 32, 34]

2. Закономерностей изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации. [12, 14, 22, 28, 30]

3. Дефектов материалов, конструкции, технологии производства отдельных узлов и комплектного автомобиля. [22, 29]

4. Неисправностей механических, газогидроаэродинамических, электрических и электронных систем, протекания рабочих процессов и систем управления автомобилями. [22, 29]

5. Диагностических параметров технических систем автомобилей. [9, 28]

6. Методов диагностирования технических систем автомобиля. [21, 25, 26, 27]

7. Средств диагностирования (приборов и технологического оборудования) технических систем автомобиля. [20, 23, 29, 30, 33, 34]

Такое понимание знаний, необходимых для освоения технической диагностики автомобилей и определило структуру настоящего учебного пособия.

4.2. Уровень диагностического обеспечения

Диагностирование позволяет достигать заданной технической и экологической надежности машин, с необходимой степенью достоверности оценить показатели ее качества. А поскольку надежность машин закладывается при проектировании, реализуется при изготовлении и расходуется при эксплуатации, естественными являются задачи диагностирования машин на этих трех стадиях их жизненного цикла. Выявление и устранение на этих стадиях дефектов конструкции, технологии производства и неисправностей в эксплуатации позволяет продолжительно поддерживать проектную надежность машин.

В общем случае задачей диагностического обеспечения является разработка методов и средств периодического или в реальном времени диагностирования, установление степени соответствия технического объекта предъявляемым к нему требованиям в жизненном цикле автомобиля.

Требования к контролепригодности объектов диагностирования. Оптимальное решение задач оценки технического состояния объектов диагностирования автомобиля требует тщательного анализа его оборудования уже в период проектирования. Недооценка такого подхода может обернуться тем, что оборудование окажется неконтролепригодным, то есть таким, что не поддается эффективному контролю, а это резко снизит технико-экономическую эффективность эксплуатации автомобиля и может быть причиной снижения безопасности. Чтобы этого не случилось, на каждую бортовую систему, начиная с этапа ее эскизного проектирования, разрабатывают специальный конструкторский документ, который называется характеристикой контролепригодности.

Требования контролепригодности устанавливают в нормативных документах, например, в государственных и отраслевых стандартах, в техни-

ческих заданиях на разработку АСК. На всех этапах разработки объекта контроля и АСК проводятся расчетные, экспериментальные и испытательные работы, по которым оценивают достигнутые уровни показателей контролепригодности и принимают меры по их улучшению.

Решение проблем контролепригодности вновь создаваемого объекта должно вестись одновременно с разработкой средств его диагностирования. Проектирование контролепригодных объектов состоит во включении в проект таких схемных решений, которые давали бы возможность легко диагностировать объект, находить неисправности, настраивать и налаживать его. Один из эффективных методов обеспечения контролепригодности заключается в определении множества диагностических параметров, позволяющих сократить затраты времени на обслуживание и восстановление объекта. Существует ряд показателей, характеризующих конструкционную приспособленность объекта к поиску неисправностей которые вводятся для количественной оценки контролепригодности.

В зависимости от особенностей использования и эксплуатации объект диагностирования может характеризоваться различным уровнем контролепригодности, который определяется по значениям показателей контролепригодности:

- показатели, характеризующие полноту диагностирования;
- показатели, характеризующие прямые затраты на диагностирование объекта;
- вспомогательные показатели, характеризующие отдельные элементы организации процесса диагностирования;
- показатели, характеризующие степень унификации объектов и технических средств диагностирования.

Реализация изложенных методик расчета нормативов контролепригодности автомобилей на стадии их проектирования позволит существенно снизить трудоемкость и стоимость диагностических работ, а также повысить их качество. Одновременно будут определены наиболее эффективные области и направления дальнейшего развития методов и средств диагностирования.

Системный подход к разработке механических и электронных систем диагностирования требует, чтобы нормы диагностических параметров, точки их контроля, назначение средств и технологии диагностирования машин производились на стадии проектирования, а реальные величины диагностических параметров индивидуально определялись для каждой машины на стадии производства машин. При таком подходе в эксплуатацию должны поступать доведенные машины до требований заданных норм качества проектирования и изготовления с индивидуальными значениями диагностических параметров. В результате значительно сокращается разброс значений исходных диагностических параметров машин, что позволяет повышать достоверность диагностирования.

Заданный уровень диагностического обеспечения конкретной машины определяется на стадии проектирования техническим заданием и техническим проектом с высоким уровнем системного подхода (рис. 4.1).[35]



Рис. 4.1. Структурная схема задач и системного подхода к их решению при проектировании машин

На схеме рис. 4.1 подчеркнуто, что разрешение не только задачи 7 решаются с требованиями 8-11, но и другие задачи 4, 5, 6 осуществляются с учетом этих требований и особенно 8.

Обеспечение качества проектирования машины является основой снижения объема, средств, трудоемкости и достоверного диагностирования. Здесь под качеством, как собирательным термином, понимается те составляющие проектирования, которые определяют надежность, ресурс, контролепригодность, техническую и экологическую безопасность машины. Эти показатели качества определяются на стадиях разработки документации,

конструирования и доводки машины. Оценка технического состояния и оптимизация параметров качества (см. рис. 4.2) должны производиться на базе углубленного комплексного диагностирования машин на всех этапах испытаний.

При разработке методов и средств диагностирования на стадии проектировании машин решают такие задачи. Изучают объекты диагностирования – определяют все процессы и явления, которые сопровождают работу машины и их взаимосвязь, изучают источники и возможные причины неисправностей и отказов, выделяют из огромного количества структурных параметров основные. Выбранные для контроля структурные параметры группируют по признакам их возможного диагностирования универсальными методами, бортовыми и внешними системами, что позволяет уменьшить количество контрольных точек и трудоемкость диагностирования. Обязательными объектами диагностирования являются элементы, узлы и агрегаты, которые обеспечивают техническую и экологическую безопасность движения, вибрационную безопасность машины и безопасность работы.

Для проектирования системы диагностирования необходимо, во-первых, спроектировать ее приспособленной к оценке состояния с необходимой глубиной и достоверностью; во-вторых, создать технические средства бортового и внешнего диагностирования, которые разрешили бы оценивать состояние машин в заданных условиях; в-третьих, определить роль и функции человека (водителя, диагноста, оператора технического обслуживания), которые принимают участие в процессе диагностирования и использования машины в назначенных режимах. Наибольший эффект при диагностировании будет достигнут только в том случае, если решения, принятые при проектировании отдельных элементов системы диагностирования будут согласованы между собою.

Методы диагностирования следует определять, исходя из установленных задач. Они должны включать:

- диагностическую модель машины;
- алгоритм диагностирования и программное обеспечение;
- правила измерения диагностических параметров;
- правила определения структурных параметров;
- правила анализа и обработки диагностической информации и принятие решения.

Основными методами диагностирования являются тестовые и функциональные (рабочие). Для углубленного диагностирования необходимо использовать диагностические сигналы и параметры объектов, которые позволяют комплексно оценивать состояние структурных, функциональных и динамических параметров контролируемых объектов. Определяют номенклатуру контролируемых диагностических параметров, которая позволяет получить полную и достоверную информацию о функциональных и структурных параметрах, определяющих техническое состояние составных частей машины. Определяют корреляционную связь контролируемых дефектов.

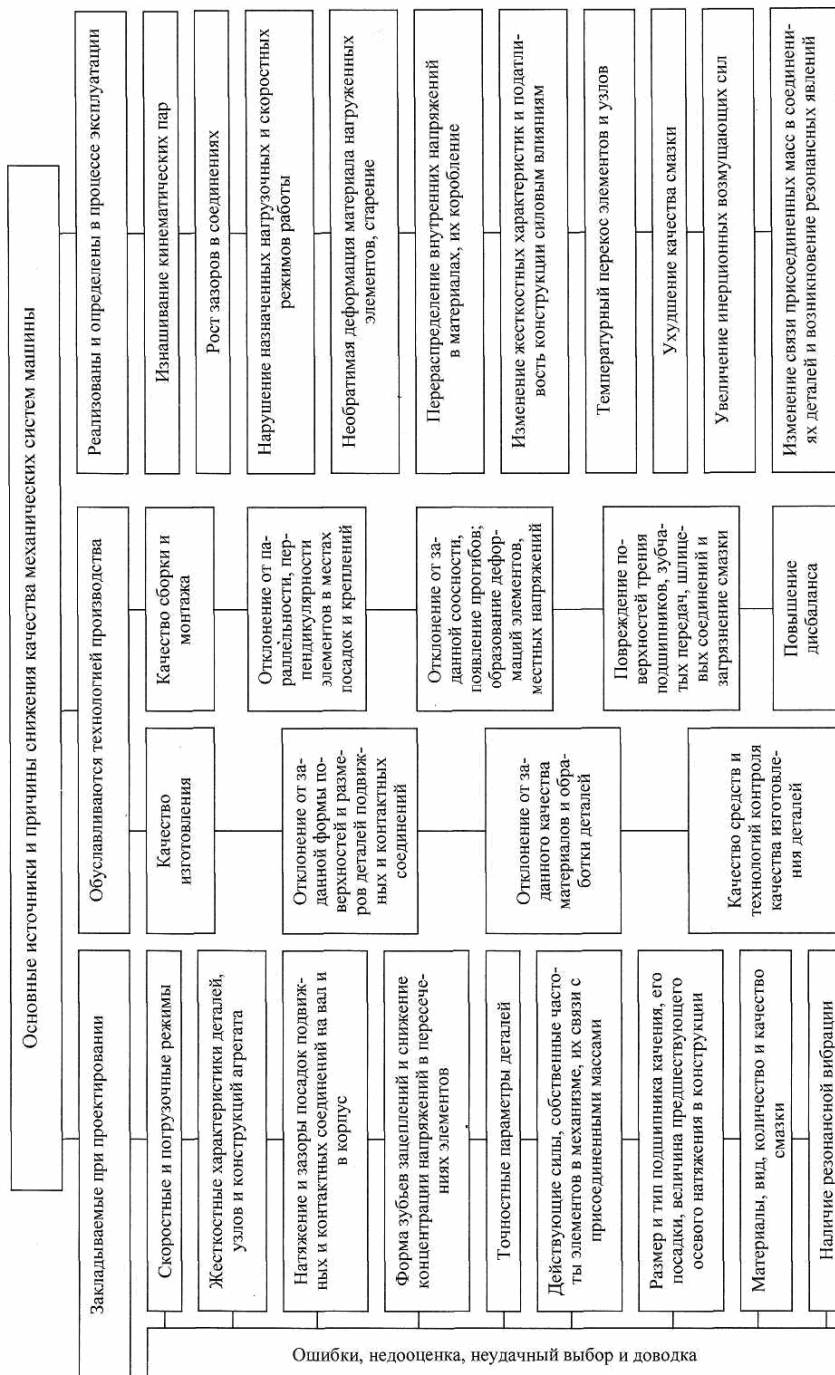


Рис. 4.2. Основные конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы механического происхождения, определяющие техническое состояние машины

Далее назначают техническое средство диагностирования, которое позволяет определять отдельные размеры, технические параметры, значения диагностических сигналов, использовать встроенные, внешние и бортовые аппаратные средства автоматизированных вычислительных систем. Устанавливают требования к метрологическому обеспечению. Определяют технико-эксплуатационные показатели:

- удельные затраты на диагностирование внешними средствами;
- среднюю оперативную трудоемкость диагностирования;
- среднюю оперативную продолжительность диагностирования.

Разрабатывают технологию диагностирования для отдельных агрегатов и комплектной машины. Определяют испытательные стенды, режимы и последовательность испытаний и операций диагностирования, диагнозов и точность измерений технических параметров и диагностических сигналов. Указывают методы диагностирования и правила регистрации и обработки статистических данных результатов диагностирования и выдачи заключения (диагноза). Основным требованием для обеспечения высокой точности и достоверности измерений диагностических параметров является соблюдение одинакового воспроизведения режимов работы объекта диагностирования и средств измерений по сравнению с теми, по которым устанавливались исходные и предельные параметры. В нормативной технической документации по технологии диагностирования отдельным разделом указывают требования по технике безопасности работы при диагностировании.

Далее изучают режимы диагностирования, которые обеспечивают наибольшее проявление связи структурных и диагностических параметров. Например, нагрузка, скорость вращения, давление, поочередная подача топлива и т. д. Получают и обрабатывают статистические данные об измерении структурных и диагностических параметров по времени наработки и сравнивают их с исходными динамическими и предельными значениями. Без таких данных нельзя прогнозировать, обеспечивать оптимальные сроки технического обслуживания и периодичность диагностирования.

Также проводят расчеты оптимальной периодичности контроля, сроков обслуживания, ремонта и прогнозирования остаточного ресурса. Устанавливают номенклатуру исходных (номинальных), допустимых предельных значений структурных и диагностических параметров, оптимальных значений регулировок и эксплуатационных показателей; зависимости параметров от наработки.

Процесс проектирования технических средств диагностирования состоит из двух этапов. На первом этапе последовательно определяют:

- задачи, решаемые техническими средствами диагностирования;
- вид и требования к безопасности технических средств диагностирования;
- метод диагностирования и метрологическое обеспечение.

В первую очередь определяют совокупность задач, которые решает система диагностирования. При этом рассматривают различные возможные сочетания решения этих задач; проверки работоспособности, поиска дефектов и прогнозирования изменения состояния механизмов машины. Затем

определяют вид технических средств диагностирования, то есть степень связи технических средств с машиной. В этом случае могут быть приняты решения о разработке внутренних или внешних технических средств диагностирования и уточняют требования к безотказности технических средств диагностирования, поскольку встраиваемые средства диагностирования в механизмы машин сказываются на показателях безотказности как машины, так и самих средств диагностирования.

Выбирают метод диагностирования, определяют процесс диагностирования (время, достоверность, стоимость и др.) и показатели механизмов машин (вид, число входов и выходов, возможность тестового воздействия, режим использования и др.). Предусматривают разработку метрологического обеспечения, в результате которого формируют требования к точности оценки диагностических показателей и достоверности определения технического состояния машин при диагностировании.

На втором этапе проектирования технических средств диагностирования составляют алгоритмы и программы функционирования технических средств диагностирования, необходимые при разработке диагностического обеспечения машин. При этом учитывают как условия эксплуатации машины, так и условия диагностирования. На заключительном шаге второго этапа проектирования средств диагностирования оценивают инструментальную достоверность, значение которой в дальнейшем применяют при оценке эффективности системы диагностирования и контроля качества изготовления технической системы диагностирования и машины.

4.3. Диагностика на стадии проектирования машин

4.3.1. Назначение диагностики при проектировании и доводке

Основное назначение диагностики при проектировании состоит в обеспечении заданной функциональной и эксплуатационной надежности и ресурса машин за счет оптимизации технологических параметров, требований к материалам и действующих технологических и эксплуатационных процессов, доводке диагностического обеспечения.

Необходимо выделять следующие задачи диагностирования на стадиях доводки объекта в лабораторных условиях:

- обнаружение слабых и потенциально ненадежных элементов и узлов;
- обнаружение дефекта – определение факта его наличия и времени его проявления. Решение этой задачи осуществляется посредством контроля правильности функционирования системы, показателем качества решения является полнота контроля. Она может характеризоваться перечнем обнаруживаемых дефектов и минимальной величиной дефекта, при которой гарантируется его обнаружение;
- диагностирование дефекта – определение вида, величины, места и времени его возникновения. Обнаружение дефекта включает в себя его локализацию и идентификацию;

- локализация (поиск) дефекта – определение вида, места и времени дефекта. Показателем качества решения этой задачи является глубина поиска дефекта. Она характеризуется перечнем дефектов, в отношении которых может быть обеспечена локализация, и минимальной величиной дефекта, при которой гарантируется его локализация. Часто в качестве косвенной характеристики глубины поиска дефектов приводится описание эквивалентных классов (не различимых в рамках данной процедуры диагностирования);

- идентификация дефекта – определение величины дефекта и его поведения во времени; следует за локализацией дефекта. Показателем качества решения этой задачи является точность определения величины дефекта.

Проблему повышения ресурса, надежности и достоверности диагностирования сложных машин необходимо решать методами разработки таких комплексных критериев технического состояния структурных параметров, функциональных и диагностических характеристик, которые можно задавать числовыми значениями, например, уровнями вибрации, вычислять при конструировании и упрощенно без разборки в реальном времени контролировать их аппаратными средствами для оценки технического уровня проектирования, качества изготовления и диагностирования машин в эксплуатации.

Техническое диагностирование допускает измерение, контроль и испытание механизмов, машин и отдельных блоков управления технических систем машины. Измерение, контроль и проверка заложенных при проектировании функциональных и технических параметров выполняется на макетных, опытных и серийных машинах, на лабораторных (заводских) испытательных стендах, полигонах, при дорожных и в эксплуатационных условиях с целью выявления и получения информации о техническом состоянии, слабых, потенциально ненадежных элементах и узлах с целью их доработки, определения оптимальных структурных параметров машин, которые обеспечивают заданную функциональную, техническую и эксплуатационную надежность. Испытания машин и диагностического обеспечения заключается в воссоздании в заданной последовательности определенных рабочих процессов режимов работы и других воздействий, в измерении реакции объекта контроля на эти воздействия и регистрацию этих воздействий. На следующих стадиях жизненного цикла машин измерение и контроль параметров отдельных деталей, узлов и комплектных машин выполняется для сохранения проектного качества на стадиях изготовления и ремонта, выполнения требований безопасности и эффективности эксплуатации.

Целью контрольно-диагностических работ является идентификация дефектов и оптимизация структурных параметров для достижения установленного проектного уровня надежности по заданному критерию оценки технического состояния объекта проектирования и заданного диагностического обеспечения. Диагностика и доводка технических характеристик и параметров машин до заданных норм безопасного функционирования и диагностического обеспечения на стадии проектирования позволяет обеспечить в лабораторных условиях заданный ресурс и надежность машин, оцен-

ку технического уровня конструкции при сертификации машины на период начала их серийного выпуска и этим в несколько раз сократить сроки ввода проектируемых машин в эксплуатацию. Для диагностирования систем автомобилей на стадии проектирования разрабатываются виды контролируемых неисправностей, диагностические параметры, нормы их исходных и предельных значений, классы качественной оценки технического состояния систем автомобиля. [9, 14, 22, 29]

Проверка заложенного при проектировании диагностического обеспечения выполняется на макетных, исследовательских и серийных машинах при лабораторных и стендовых испытаниях отдельных составных единиц и комплектных машин на полигонах, при дорожных испытаниях и в эксплуатационных условиях. Особенностью испытаний являлось периодическое измерение кинематических, динамических и точностных параметров (скоростей, ускорений, малых перемещений, точности позиционирования). Доводку машин по результатам диагностирования проводят и при проверке паспортных характеристик в ходе стендовых испытаний (рис. 4.3). В процесс доводки надежности конструкции и диагностического обеспечения включают оценку контролепригодности, достоверности диагностирования бортовыми и внешними средствами отдельных элементов и машины в целом при изготовлении и в эксплуатации. На самом начальном этапе проектирования системы диагностирования необходимо решить задачу выбора методов и организации процесса диагностирования при производстве и эксплуатации машины.

В ряде случаев при решении этих задач могут быть получены рекомендации по измерению и назначению контроля режимов использования объекта в эксплуатации. Контроль показателей и характеристик диагностирования, требований по приспособлению машин к диагностированию и диагностического обеспечения осуществляется при проведении приемочных испытаний, сравнительных испытаний на соответствие требованиям ТУ, испытаний на надежность, определяющих испытаний, ресурсных, контрольных и периодических испытаний.

На стадии проектирования и доводки экспериментальных образцов машин **разрабатывают систему технологической подготовки производства** проектного и эксплуатационного диагностического обеспечения.

На стадии проектирования новых конструкций машин выбор системы диагностирования (см. рис. 3.3) представляет наибольшие трудности, так как отсутствует предшествующий опыт и данные, характерные для исправных и работоспособных состояний машин. Поэтому приходится прибегать к параметрическим методам диагностики и использованию обобщенных характеристик, основанных на данных испытаний родственных конструкций машин, узлов и механизмов, а также на результатах натурного и математического моделирования динамических процессов, определяющих надежность машины. На этом этапе много времени занимает подготовка к диагностированию и созданию базы данных (см. рис. 3.3, 4.3).

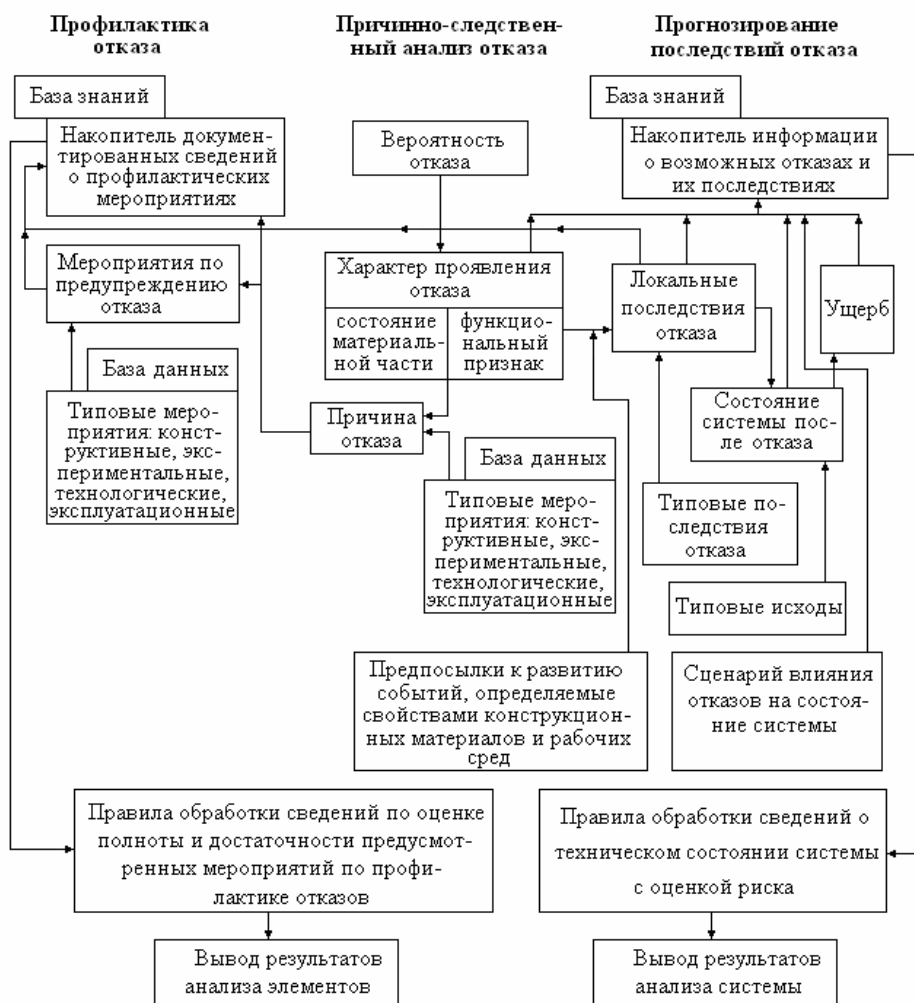


Рис. 4.3. Схема алгоритма анализа возможных отказов, последствий и предупредительных мероприятий

4.3.2. Создание системы распознавания образов технического состояния

Техническую диагностику можно условно представить в виде двух направлений: теории распознавания и теории контролепригодности (рис. 4.4).

Теория распознавания образов (идентификация) является фундаментом в технической диагностике и включает построение алгоритмов распознавания, правил решения и диагностические модели. Порядок последова-

тельности действий при распознавании называется алгоритмом распознавания.



Рис. 4.4. Структура технической диагностики

Распознавание образов применяется для автоматического распознавания текстов, рисунков, графиков, схем, осциллограмм и выявления технического состояния объектов машин, их аварийных ситуаций, прогнозирования остаточного ресурса, выдачи соответствующих рекомендаций. Распознавание определяется как процесс отнесения ситуаций, явлений, образов к одному из нескольких или многих заранее определенных классов технического состояния на основе анализа их характеристик. При распознавании возникают взаимосвязанные задачи выбора параметров распознавания и задачи нахождения и оценки качества решающей функции.

Теория распознавания образов эффективно применяется для решения логических задач технического диагностирования. Под термином «образ» подразумевается совокупность воспринимаемых параметров объекта или явлений, принадлежащих одному классу. Параметры образа могут изменяться, тогда как образ будет относиться к одному и тому же заранее определенному классу. Задача теории состоит в том, чтобы построить узнающую систему, которая бы по описанию произвольного объекта из начального множества на основе анализа характеристик (процесса, явления, образа) устанавливала его принадлежность к соответствующему классу.

Методы теории распознавания образов используются для задач классификации и основаны на определении расположения классов в пространстве признаков на основе кластер-анализа или дискриминантных функций, требуют предварительного задания вида функции расстояния или дискриминантной функции, являются итеративными, но в то же время логически прозрачными.

Согласно теории распознавания образов сначала устанавливаются варианты различаемых состояний, а затем выбирают такие признаки, по которым можно судить о том, какой из установленных вариантов состояния имеет в данный момент диагностируемый объект. Для выбора параметров предварительно выделяют совокупность параметров (признаков), характе-

ризующих рассматриваемый образ (сигнал, размер, форму и т. д.). Эти признаки могут быть представлены в виде нормируемых значений или в виде точки в многомерном пространстве, которое называется пространством объекта, а вектор $\bar{X}$ – вектором объекта. Задача нахождения решающей функции должна рассматриваться с учетом сведений об объектах.

Критерием распознавания называется правило, по которому строится гиперповерхность, разделяющая распознаваемые образы на классы в пространстве признаков (объектов). Классификатор выполняется в виде сети из линейных пороговых элементов или вычислительного устройства.

Сравнение действительного образцового описания распознаваемых классов и выработка сигналов ошибки производятся в устройстве сравнения.

Для функционирования распознающей системы необходимым условием является наличие сведений о классах совокупностей объектов. Эти сведения задаются заранее или возникают в процессе обучения, который в этом случае предшествует процессу классификации. В процессе обучения на вход распознающей системы последовательно подаются признаки образов каждого класса и, если система при этом сообщает, к какому классу принадлежит образ, процесс называется обучением с учителем. Если же система не сообщает, к какому классу принадлежит образ, процесс называется обучением без учителя или самообучением.

Система информативных признаков определяется с помощью метода распознавания образов. Такая задача интерпретируется как задача определения системы признаков, которые при использовании в алгоритме обеспечивают наилучшее разделение классов. Желание оптимизировать набор признаков так, чтобы обеспечить наилучшее разделение классов при выбранном алгоритме приводит к необходимости полного перебора всех подмножеств исходной системы признаков. В большинстве случаев для этой цели при обучающей выборке требуется чрезмерно большой объем машинного времени из-за того, что для каждого подмножества признаков требуется произвести процесс обучения.

При прогнозировании по признакам с классификацией задача состоит в разделении исследуемой совокупности неисправностей или изделий на классы и нет необходимости в оценке конкретного значения прогнозируемого параметра. В большинстве практических приложений этого метода число классов равно двум. Так бывает, например, когда исследуемую совокупность необходимо по заданному правилу разделить на класс годных и дефектных изделий, работоспособных и неработоспособных объектов диагностирования.

Для решения задачи прогнозирования методами теории статистической классификации необходимо располагать условными многомерными плотностями распределения признаков для каждого класса, тогда задача заключается в отыскании способа принятия оптимального решения о принадлежности проверяемого объекта к тому или иному классу в условиях неопределенности, то есть в условиях действия случайных факторов, маскирующих связь между признаками и классом объекта.

Автоматизация процессов принятия решений является средством повышения эффективности процедур технической диагностики, поскольку снижает негативное влияние человеческого фактора (усталость, невнимательность), повышает производительность труда, а также делает процесс принятия решений хорошо формализованным, понятным и предсказуемым.

Системы распознавания образов по методам, положенным в основу их математического, логического и программного обеспечения можно подразделить на следующие: [14, 36, 37, 38]

1. Детерминированные системы, использующие для построения алгоритмов распознавания «геометрические» меры близости, основанные на измерении расстояний между количественными признаками объекта и эталонов классов.

2. Вероятностные системы, использующие для построения алгоритмов распознавания вероятностные методы теории статистических решений. Для этого нужно иметь вероятностные зависимости между признаками объектов и классами.

3. Логические системы, основанные на дискретном анализе и вычислении высказываний. Их применение сводится к решению системы булевых уравнений с использованием логических признаков объектов и нахождению неизвестной величины – класса, к которому эти объекты относятся.

4. Структурные системы, использующие для построения алгоритмов распознавания системы, каждая из которых описывает структуру (строение) объекта из простых элементов. Эти элементы составляют один объект. Классификация объекта выполняется путем сравнения неизвестного объекта с эталонными классами. Такой подход часто используется при построении электронных моделей, а также в лингвистике для распознавания классов.

5. Нейронные и нейронечеткие сети, использующие модели нейронов для распознавания образов. В настоящее время создан ряд искусственных нейронных сетей, которые моделируют работу мозга человека с учетом его особенностей таких, как:

- возможность обучения и самообучения;
- запоминание информации, которая изменяется;
- укрепление связей, которые касаются верной информации и ослабление всех других связей;
- забывание старой информации;
- параллельность процессов и многоуровневость логических рассуждений;
- иерархичность;
- нетребовательность к высокой точности;
- модульность (распределение на модуле в зависимости от типа сигналов и функционального выхода).

Вместе с тем не следует слишком высоко оценивать возможности нейронных сетей, так как реальный интеллект самой сложной нейронной сети не превышает уровня дождевого червя. За исключением простейших случаев, традиционные искусственные нейронные сети из-за сложности обучения не в состоянии «объяснить», как они решают задачу.

Нечеткологические модели используются для задач классификации и оценивания, имеют низкий уровень обобщения, тем не менее, характеризуются высокой логической прозрачностью.

Нейронечеткие сети объединяют преимущества нейронных сетей и нечеткой логики, используются для задач классификации и оценивания, имеют высокий уровень обобщения данных и иерархическую структуру, а также характеризуются высоким уровнем логической прозрачности.

Поскольку нейронным и нейронечетким сетям присущи такие свойства, как способность к обучению и самообучению, адаптивность, способность извлекать знания из данных, изоморфизм топологии обучающих данных, массовый параллелизм вычислений, стойкость к отказу отдельных элементов, иерархичность процесса вычислений, однородность и легкость реализации основных вычислительных элементов, а также то, что они являются универсальными аппроксиматорами (то есть принципиально способны аппроксимировать любую вычислимую зависимость), задача построения нейронных и нейронечетких моделей является весьма актуальной.

Построение нейросетевой модели – это способ представления нелинейного преобразования в виде композиции многомерных линейных и одномерных нелинейных преобразований. Однако методы нахождения оптимальной структуры искусственных нейронных сетей на сегодня весьма сложные.

6. Системы с использованием метода потенциалов – признак объекта рассматривается как его электрический потенциал, который уменьшается с ростом расстояния до объекта. При этом области классов объектов имеют большое числовое значение потенциала.

7. Экспертные системы распознавания образов. Их применяют там, где существуют эвристические или интуитивные методы решений и нет точных алгоритмов или расчетов. Экспертная система – это совокупность компьютерных программ, которая содержит накопленные знания многих экспертов в определенной предметной области и способна в рамках этой области классифицировать объекты, давать ответы, рекомендации, советы, спрашивая при необходимости дополнительную информацию. [21, 39, 40]

Чаще всего экспертная система использует правила, которые имеют форму: «если... тогда... иначе...». Утверждения, как правило, имеют вероятностную оценку.

Верхний уровень этих систем является логическим, но выводы в этом делаются не методом сравнения (сравнение полученной апостериорной информации с априорной), а методом дедукции, индукции, аналогии, то есть методами, свойственными лишь человеку. При этом полученные логические выводы должны порождать новые предложения, новые знания, которые пополняют базу данных и знаний.

При построении моделей распознавания образов и автоматизации принятия решений применяются также:

- ассоциативные правила, которые используются преимущественно для классификации, могут быть противоречивыми, имеют низкий уровень обобщения данных, процесс их выделения является весьма медленным;

- деревья решений высокоиерархических моделей для классификации и оценивания, являются эффективными при небольшом количестве высокоинформативных признаков, имеют высокий уровень логической прозрачности, тем не менее, строятся в итеративном режиме;

- полиномиальные регрессионные модели используются для задач оценивания, требуют предварительного задания пользователем структуры зависимости, большого объема экспериментальных данных и итеративной оптимизационной коррекции параметров модели.

Если в качестве принципа классификации использовать характер информации о признаках распознаваемых объектов, которые подразделены на детерминированные, вероятностные, логические и структурные, то в зависимости от того, на языке каких признаков производится описание этих объектов, иначе – в зависимости от того, какой алгоритм распознавания реализован, системы распознавания могут быть подразделены на детерминированные, вероятностные, логические, структурные и комбинированные.

Детерминированные системы. В этих системах для построения алгоритмов распознавания используются «геометрические» меры близости, основанные на измерении расстоянии между распознаваемым объектом и эталонами классов. В общем случае применение детерминированных методов распознавания предусматривает наличие координат эталонов классов в признаковом пространстве либо координат объектов, принадлежащих соответствующим классам.

Вероятностные системы. В данных системах для построения алгоритмов распознавания используются вероятностные методы распознавания, основанные на теории статистических решений. В общем случае применение вероятностных методов распознавания предусматривает наличие вероятностных зависимостей между признаками распознаваемых объектов и классами, к которым эти объекты относятся.

Логические системы. В этих системах для построения алгоритмов распознавания используются логические методы распознавания, основанные на дискретном анализе и базирующемся на нем исчислении высказываний. В общем случае применение логических методов распознавания предусматривает наличие логических связей, выраженных через систему булевых уравнений в которой переменные – логические признаки распознаваемых объектов, а неизвестные величины – классы, к которым эти объекты относятся.

Нейросетевые системы. Эти системы основаны на использовании моделей и методов вычислительных структур, подобных в некотором смысле биологическим нейронным сетям. Достоинством этих систем являются высокие адаптивные и аппроксимационные способности.

Структурные (лингвистические) системы. Применение структурных методов распознавания требует наличия совокупностей предложений, описывающих все множество объектов, принадлежащих всем классам алфавита классов системы распознавания. При этом множество предложений должно быть подразделено на подмножества по числу классов системы. Элементами подмножеств и являются предложения, описывающие объекты,

принадлежащие данному подмножеству (классу). Таким образом, априорными описаниями классов являются совокупности предложений, каждое из которых соответствует конкретному объекту, принадлежащему данному классу.

Комбинированные системы. В этих системах для построения алгоритмов распознавания используется специально разработанный метод вычисления оценок. Такие алгоритмы распознавания называют алгоритмами вычисления оценок. Их применение требует наличия таблиц, где содержатся объекты, принадлежащие соответствующим классам, а также значения признаков, которыми характеризуются эти объекты. Признаки могут быть детерминированными, логическими, вероятностными и структурными.

Сравнительная характеристика рассмотренных подходов на основе ряда критериев приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сравнительная характеристика подходов к отбору информативных признаков

Критерии сравнения	Подходы к отбору признаков				
	эвристический	информационный	статистический	вероятностный	нейросетевой
Математическое обоснование	низкое	высокое	среднее	среднее	низкое
Относительная сложность реализации	низкая	средняя	высокая	низкая	высокая
Относительная скорость работы процедур	низкая	высокая	низкая	высокая	средняя
Требования к данным	низкие	высокие	низкие	низкие	средние

Нормализация – приведение образа к нормальным условиям с целью сравнения его с эталоном или классом технического состояния. На базе признаков, например, класса технического состояния, описывается алгоритм разделения объектов на классы технического состояния, причины неисправностей и т. п.

В этих системах задается алфавит классов индивидуально выбранной задачи (например, распознавания технического состояния или прогнозирования остаточного ресурса). Определяются датчики, которые необходимо использовать для определения признаков объектов, устанавливаются требования к нормализации и квантованию сигналов.

Задача распознавания размытых множеств является частным случаем решения задачи распознавания образов. Обнаружение дефектов в объекте с использованием теории размытых множеств осуществляется следующим образом:

- составляется граф-модель и проводится предварительная минимизация числа точек снятия диагностической информации;

- определяется значение контролируемых параметров;
- определяются техническое состояние и значение функций принадлежности к заранее составленному перечню классов состояний;
- определяется класс состояний, соответствующий неизвестной входной ситуации, поиском наибольшей степени делимости классов.

Задачи распознавания образов решаются в основном с использованием микропроцессорных устройств.

4.4. Диагностика на стадии производства машин

На стадии изготовления и сборки целью диагностирования является выявление и устранение дефектов по критерию сохранения проектного качества. Контроль технического состояния машин на стадии производства и ввода в эксплуатацию на соответствие нормам проектных параметров качества позволяет сохранять проектные характеристики машин. В процессе производства по параметрам качества контролируют на правильность сборки и монтажа, проведенных регулировочных работ, наладки и испытания на соответствие требованиям технической документации.

На стадии производства обеспечивается диагностический контроль технологического оборудования, качества материалов, технологических процессов, фактических значений индивидуальных начальных диагностических параметров и норм вибрации, которые необходимы для технической документации на введение машины и диагностических систем в эксплуатацию.

На всех стадиях проведения ресурсных и производственных диагностических испытаний получают информацию о стабильности назначенных диагностических параметров и характеристик. Эти данные накапливаются в банке данных и сравниваются с результатами испытаний на стадии проектирования и с предъявляемыми рекламациями (см. рис. 4.3).

На этапе производственных испытаний могут уточняться периодичность и последовательность диагностирования, рекомендуемые для условий эксплуатации. Уточняются также сроки и режимы обкатки узлов и собранной машины (с использованием диагностической информации). Для диагностирования используются как встроенные, так и внешние средства, входящие в оборудование стендов или периодически доставляемые к сборочным участкам.

4.5. Диагностическое обеспечение стадии эксплуатации машин

Равнопрочность элементов автомобиля практически невозможна. Поэтому первоочередным объектом диагностирования являются те элементы, отказы которых наиболее вероятны.

Задачами технического диагностирования согласно ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення» является (рис. 4.5):

- контроль технического состояния;
- поиск места и определение причины отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

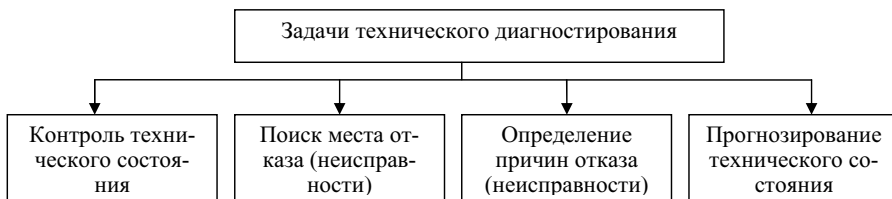


Рис. 4.5. Задачи технического диагностирования

Термин «Техническое диагностирование» применяют в наименованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи технического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправности).

Термин «Контроль технического состояния» применяют, когда основной задачей технического диагностирования является определение вида технического состояния.

В практике эксплуатации объектов отдельно каждая задача технического диагностирования решается редко, обычно задачи сочетаются. Например, определение работоспособности объекта и идентификация неисправности, приведшей к частичной потере работоспособности, в результате чего оценивается степень работоспособности объекта и локализуется причина, вызвавшая неисправность. Может быть и такой вариант: после идентификации неисправности переходят к решению задачи перспективного развития ситуации при условиях дальнейшего развития «неисправности», то есть прогнозируют тенденцию изменения технического состояния объекта диагностирования.

Контроль технического состояния является неперменной первой процедурой технического диагностирования. Именно на результатах контроля базируются две последующих задачи технического диагностирования – поиск места отказа и прогнозирование технического состояния. Итак, любая система диагностирования должна содержать систему контроля объекта его соответствии техническим требованиям норм (при доводке или в эксплуатации машины) в качестве основной составляющей, как информационную основу для выполнения задач технического диагностирования. Эта характеристика должна быть выражена в качественной форме – исправное, неисправное и т. д. (ГОСТ 27002-89), а прогнозирование в количественной форме – численными значениями располагаемого ресурса работоспособности. Если средствам контроля придавать также функцию поиска места отказа и функцию прогнозирования технического состояния, то различия между средствами контроля и средствами диагностирования исчезают. Этим объясняется тот факт, что в научно-технической литературе эти понятия нередко используют как синонимы. Поэтому «средства контроля» и «средства

диагностирования» также часто не отличаются одна от другой по своим функциональным возможностям.

Разница между техническим диагностированием (ТД) и техническим контролем (ТК) на практике состоит в следующем:

- ТК применяется в основном для измерения параметров материалов, деталей и узлов конструкций, тогда как объектами ТД являются более сложные агрегаты и механизмы, для которых необходимо определять остаточный ресурс и риск эксплуатации;

- при проведении ТК характер и размеры допустимых дефектов регламентированы заранее установленными нормами, а при ТД результаты анализируются с учетом влияния дефектов (неисправностей) на работоспособность в соответствии с конкретными методиками, программами и стандартами по расчету остаточного ресурса и риска эксплуатации на основании данных ТК.

Прогнозирование, как качественное предсказание безотказной работы до следующей операции контроля, является неотъемлемой частью любой операции контроля, так как иначе любой контроль утратил бы смысл, поскольку во время контроля работоспособности изделия всегда предполагают, что на протяжении некоторого времени после окончания контроля изделие будет выполнять свои функции. Подобно этому, пребывание значения параметра в границах допуска воспринимается таким, что на протяжении некоторого времени оно не выйдет за эти пределы. Процесс поиска места отказа также связан с предположением, что некоторое время те части изделия, в которых не было отказов во время контроля, не выйдут из строя и после его окончания.

Контролю подлежат геометрические размеры и механические перемещения, угловые и линейные ускорения, частота вращения, давление жидкостей и газов, температура, расход и уровень жидкостей, химический состав жидкостей и газов, электрические сигналы, радиосигналы и т. п.

Решение любой из перечисленных задач возможно лишь в случае применения соответствующих средств технического диагностирования, включающих аппаратуру и программы, с помощью которых осуществляется процедура диагностирования, а также наличия диагностической модели – формализованного описания объекта.

В зависимости от того, для какого времени проводится диагностирование, различают три типа решения диагностических задач (рис. 4.6).

Первый тип – это задачи определения технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом – задачи генезиса. Этот тип задач решается при расследовании автомобильных аварий, определение их первопричин (состояния в прошлом), включая использование бортовых записей контроля технического состояния и режимы эксплуатации автомобиля в реальном времени.

Второй тип – это задачи определения технического состояния объекта в данный момент времени, которые называются задачами диагностирования. Этот тип задач важен при выполнении технического обслуживания и принятии решения о дальнейшей эксплуатации.



Рис. 4.6. Три типа задач технической диагностики

Третий тип – это задачи предсказания технического состояния, в котором окажется объект в будущий момент времени – задачи прогнозирования. Этот тип задач важен для предсказания (прогнозирования) остаточного ресурса.



Рис. 4.7. Эксплуатационные задачи технической диагностики

В целом технические службы диагностики на всех этапах эксплуатации автомобилей решают большой комплекс задач (рис. 4.7):

- определение вида технического состояния (ТС) изделия на стадии доводки макетных и опытных образцов;
- контроль качества технологических процессов и оборудования на стадии производства машин;
- определение места и причин появления отказов и неисправностей, выдача рекомендаций по их устранению в условиях ТО и ремонта и по предотвращению их в дальнейшем;

- прогнозирование ТС изделия на заданный период с целью определения предотказного состояния;
- оценка выработки ресурса с целью установления остаточного ресурса;
- контроль правильности эксплуатации автомобиля и информирование водителя об изменениях в техническом состоянии автомобиля для принятия мер по предотвращению или парированию опасной ситуации;
- установление причин автомобильных происшествий или предпосылок к ним;
- накопление статистических материалов для обобщения опыта и совершенствования систем контроля и диагностики автомобиля и его системы эксплуатации.

В эксплуатации целью диагностирования является оценка работоспособности и эксплуатационных показателей машины. Необходимо своевременное предупреждение отказов и применение таких рабочих условий и обслуживания машины, которые лучше всего отвечают задаче обеспечения заданной надежности и эффективности.

Повышение надежности автомобилей в эксплуатации обеспечивается улучшением таких показателей, как техническая готовность, время восстановления работоспособного состояния, а также ресурс, срок службы, наработка на отказ или время восстановления. Кроме того, диагностическое обеспечение позволяет обеспечить высокую вероятность правильного функционирования объектов машины.

Диагностирование в эксплуатации машин направленно на оптимизацию ее рабочих процессов, выявление неисправностей и причин отказов, оценки качества проведения регулировочных и ремонтных работ, определение остаточного ресурса. Техническая диагностика на стадии эксплуатации является высшим уровнем технического контроля и дает ответ на главные вопросы: когда должна быть прекращена эксплуатация машины и что необходимо делать для ее продления. Получение информации о действующих процессах и техническом состоянии автомобиля в реальном времени позволяет определять оптимальную стратегию эффективного технического обслуживания, обеспечения готовности, технической и экологической безопасности машин, контроля качества регулировочных и ремонтных работ (рис. 4.8, 4.9).

Сохранение проектного технического состояния в эксплуатации достигается целенаправленными воздействиями на управляемые системы машины при проведении ТО и автоматическими системами с целью возобновления номинальных проектных параметров. Возможность качественного управления техническим состоянием машины определяется техническим уровнем заложенного при проектировании диагностического обеспечения. Оно должно позволять уже на стадии эксплуатации выявлять отклонение параметров от нормы и определять технические влияния ради поддержания начального состояния машины, рабочих режимов и предупреждения отказов. Технические воздействия с целью приведения систем в начальное со-

стояние могут осуществляться заложенными автоматическими средствами или обслуживающим персоналом внешними средствами.

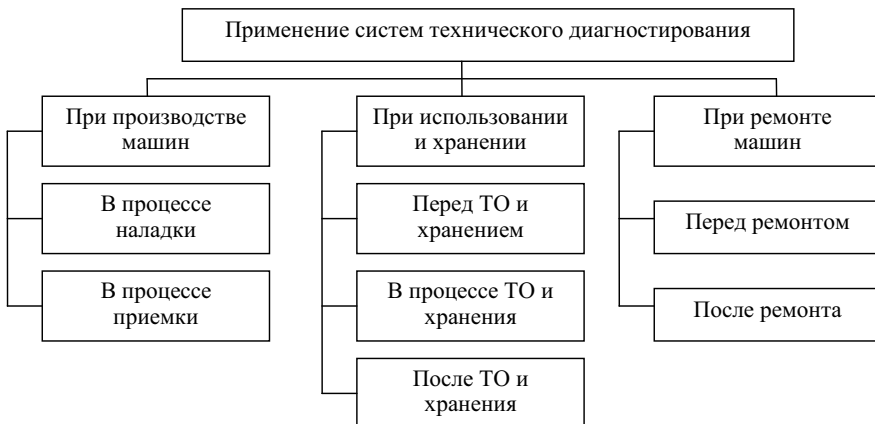


Рис. 4.8. Области применения систем технического диагностирования



Рис. 4.9. Результаты технического диагностирования машин

Для нормирования периодичности диагностирования встроенными и внешними средствами при характерных случаях его проведения следует учитывать [14]:

- при плановом ТО в целях выявления потребности в регулировочных работах отдельных агрегатов и элементов ТС;
- с целью выявления потребности в ремонтных работах, когда диагностирование может совмещаться или предшествовать ТО (или ремонту);

- как самостоятельное техническое воздействие с целью определения технического состояния или прогнозирования остаточного ресурса агрегатов и элементов ТС.

При совмещении ТО с диагностированием необходимо учитывать периодичность их проведения. При этом изменение общих затрат на обслуживание, ремонт и диагностирование агрегата, в зависимости от периодичности диагностирования должно рассчитываться с учетом минимальных затрат.

При эксплуатации автомобильной техники необходимо применение ранней диагностики, позволяющей обнаружить неисправности с упреждением по времени, которое допускает длительное и безопасное продолжение эксплуатации. Недостаточно содержание и режимы проведения профилактических и ремонтных работ проводить только адресно по надежности элементов и узлов: провести смазывание конкретного соединения или узла, проверить затяжку конкретного крепежного соединения, отрегулировать зазор (люфт, ход) конкретного механизма, заменить конкретную деталь или агрегаты и др. Часто диагноз про явно неудовлетворительную работу технического устройства по основным производственным показателям ставится легко, но всегда с недопустимым опозданием. Постановка диагноза на основании жалобы владельца автомобиля часто является грубо поставленным диагнозом.

Связь диагностики с повышением надежности заключается в улучшении таких показателей, как коэффициент готовности, время восстановления работоспособного состояния, остаточный ресурс, наработка на отказ.

Задачи диагностического обеспечения стадии эксплуатации неразрывно связаны с задачами классификации, поскольку по имеющейся информации необходимо установить диагноз, то есть указать класс технического состояния, к которому относится объект диагностирования. Для классификации необходимо знать классы (диагнозы), которые устанавливаются до начала диагностирования на основе анализа самого объекта, его функций и отказов, возникающих в нем. В принципе количество классов может быть бесконечно велико. Но существуют достаточно общие принципы классификации, известные из теории надежности. В теории надежности введены понятия для четырех видов технического состояния:

- работоспособное;
- неработоспособное;
- исправное;
- неисправное.

В технической диагностике функционирования машин вводится два вида технического состояния:

- состояние правильного функционирования;
- состояние неправильного функционирования.

Состояние правильного функционирования означает, что объект в текущий момент времени выполняет предписанный ему алгоритм функционирования.

Состояние неправильного функционирования означает, что объект в текущий момент времени не выполняет предписанный ему алгоритм функционирования.

В технической диагностике прогнозирования остаточного ресурса вводятся параметры технического состояния:

- исходные значения диагностического параметра;
- предельные значения изменения диагностического параметра в эксплуатации.

Допускаемое изменение диагностического параметра от исходного до предельного может быть разбито на несколько классов технического состояния, например:

- хорошее состояние;
- допустимое состояние;
- требует принятия мер;
- недопустимое состояние.

Необоснованные переборки нарушают приработку узлов и деталей и тем самым ускоряют их износ, вносят новые непредвиденные неисправности в виде перекосов осей, повышенных или пониженных зазоров, загрязнений и прочих технологических дефектов, сокращающих срок службы машины и требующих новых ремонтных работ, образуя, таким образом, порочный замкнутый круг. Разорвать этот круг как раз и призвана диагностика.

Контрольные вопросы

1. Какие необходимы знания для эффективного проектирования диагностического обеспечения?
2. Какие требования контролепригодности устанавливаются в нормативной документации на объект диагностирования?
3. Какая необходимость установления фактических величин исходных диагностических параметров на стадии производства?
4. Чем объясняется снижение объема средств, трудоемкости и достоверности диагностирования при высоком уровне диагностического обеспечения машины на стадии проектирования?
5. Объясните по схеме рис. 4.1. требования системного подхода к диагностическому обеспечению машины.
6. Приведите основные источники и причины снижения качества механических систем машин.
7. Какие решают задачи при разработке методов и средств диагностирования на стадии проектирования?
8. Какое назначение диагностирования машин на стадии проектирования и доводки?
9. Почему на стадии проектирования и доводки машин возникает необходимость разрабатывать системы технологической подготовки их производства?
10. Какие задачи решают при создании системы распознавания образов?
11. Приведите критерии распознавания образов.
12. Какие существуют примеры систем распознавания образов?
13. Какая цель диагностирования машин, их узлов и агрегатов на стадии производства?
14. Какая цель диагностирования машин на стадии эксплуатации?

15. Приведите типы задач технической диагностики на стадии эксплуатации машин.

16. Как достигается сохранение проектного технического состояния машин в эксплуатации?

5. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ МАШИНЫ

5.1. Принципы организации диагностического обеспечения

Диагностика только внешними средствами не обеспечивает предотвращения эксплуатации автомобилей с неисправностями, аварийных дорожных отказов, оптимизации выбора режимов движения и проведения ТО и ТР. Она не устраняет накопления неисправностей на грани контрольного пробега, так что в среднем более 20% парка эксплуатируется с такими неисправностями. Ухудшение технического состояния автотранспортных средств является причиной дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и дорожных отказов. Более частому проведению диагностики препятствуют ограничения экономического характера. Кроме того, значительная часть парка эксплуатируется вообще без диагностики, нередко в отрыве от АТП и станций технического обслуживания, в ведомственных и личных плохо оснащенных гаражах.

Лучшими возможностями минимизировать отмеченные ограничения, является обеспечение непрерывного контроля наименее надежных узлов, встроенными средствами диагностики. Ведущие автомобилестроительные фирмы применяют на автомобилях разветвленные микропроцессорные бортовые системы контроля (БСК), которые обеспечивают контроль состояния всех технических систем машины. Многообразие функциональных возможностей, аппаратного построения и форм выдачи результатов отображает классификация встроенных средств диагностики по функциональным и структурным параметрам.

Число датчиков определяет стоимость и надежность БСК. Последующее развитие микропроцессорных БСК связано не с наращиванием числа контролируемых параметров, как когда-то, а с усовершенствованием обработки данных, получаемых в итоге измерений, их накоплением, вторичной переработкой по вычислительным алгоритмам с выдачей результатов не только водителю, но и через накопитель – персоналу технической службы при возвращении автомобиля в АТП. Такие автономные или функционирующие в комплексе со стационарными информационно-управляющими центрами (ИКЦ) микропроцессорные системы непрямого контроля, накопления и переработки результатов встроенными системами диагностики (ВСД). Вместо контроля структурных параметров, которые непосредственно и однозначно отражают уровень изнашивания детали или работоспособность узла, по результатам измерения функциональных параметров вычисляются обобщенные комплексные показатели работоспособности агрегатов и эксплуатационных качеств автомобиля.

Общая методика получения диагностического обеспечения состоит из следующих этапов:

- составление математического описания объекта;
- получение диагностической модели;
- составление и анализ диагностической модели и выбор совокупности контролируемых показателей признаков наличия неисправностей;
- оценка достоверности выбранных показателей;
- разработка алгоритмов и программ тестирования;
- разработка средств для подготовки процесса диагностирования;
- разработка средств проведения процесса диагностирования, в том числе выбор точек контроля и средств диагностирования и связи.

На современном этапе наиболее характерным является объединение разных автомобильных систем контроля и диагностики на структурном и алгоритмическом уровнях в единую информационную систему автомобиля с общей сетью датчиков и микропроцессорным блоком с накопителем в комплексе со стационарными ИКЦ АТП. Этим обеспечивается не только рациональное построение бортового комплекса, но и новый, качественно более высокий уровень оптимизации оперативного управления в технической и коммерческой эксплуатации.

При интеграции ВСД с комплексными системами управления двигателем, трансмиссией и другими агрегатами сами эти системы управления также подлежат контролю встроенной системой. При этом отдельно контролируются исходные сигналы встроенных датчиков, электронных блоков, исполнительных механизмов и состояние управляемого ими узла автомобиля. Как правило, ВСД легковых автомобилей обеспечиваются бортовым накопителем, а процедура отображения результатов программируется. В зависимости от приоритета неисправности автоматически включается одна из форм индикации (синхронная, цепная, по запросу, по опорным сигналам режима работы автомобиля) наличия и места неисправностей. Такое усложнение процедуры отображения результатов при сравнительно простых алгоритмах допустимого контроля обеспечивает адаптацию ВСД к жестким условиям информационных перегрузок водителя, значительно упрощает использование результатов как водителем, так и ремонтным персоналом АТП и СТО.

В ВСД происходит не только аппаратная интеграция систем, но и объединение процедур обработки зафиксированных ими результатов различного содержания: диагностики, контроля выполненной транспортной работы (по показателям тахографа), учета выработки ресурса агрегатов и выполненных технических влияний, расхода топливных ресурсов и др. Алгоритмы общей обработки реализуются на ЭВМ стационарных информационно-управляющих центров АТП. На борту данные фиксируются по опорным сигналам пробега, даты, времени и событий (номером поездки или рейса, причинами простоев, случаями ТО, ПР и др.). Выдача информации обеспечивается сразу по нескольким адресам – диспетчерским службам перевозок, группе учета топливных и материальных ресурсов, анализ технического со-

стояния и обслуживание подвижного состава, управление производством ТО и ПР, механикам и руководителям АТП.

На стадии аванпроекта должны быть определены:

- этапы и характерные периоды «жизненного» цикла разрабатываемого объекта;

- понятие исправности, работоспособности, правильности функционирования, относительно конкретных функций и условий применения объекта;

- типы и перечни возможных неисправностей, которые подлежат обнаружению и поиску при диагностировании, а также способы их устранения;

- распределение задач проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования, поиска неисправностей (дефектов), которые нарушают исправность, работоспособность, правильность функционирования на всех стадиях жизненного цикла объекта;

- диагностические параметры, их исходные и предельные значения;

- значения контролируемых диагностических сигналов;

- контрольные точки контролируемых параметров и сигналов;

- целесообразные виды диагностирования (тестовое, функциональное) и соотношения между ними;

- состав локальных систем диагностирования для отдельных составных частей и способ объединения локальных систем в общую систему диагностирования объекта в целом;

- алгоритмы диагностирования для каждой задачи диагностирования с оценкой полноты обнаружения и (или) глубины поиска неисправностей (дефектов), которая ими обеспечивается;

- средства тестового и функционального диагностирования (аппаратурные или программные, автоматические или ручные, специализированные или универсальные, внешние или встроенные).

В других разделах проектов должна быть информация о принципах действия и устройстве внешних и встроенных средств диагностирования, о требованиях относительно подготовки объекта и средств диагностирования, оформления результатов диагностирования и других сведений, необходимых персоналу ТО для организации и проведения диагностирования.

В автоматизированных средствах технического диагностирования с помощью специального логического устройства, микропроцессора, который функционирует на их базе, выполняется автоматическая постановка диагноза и в нормативной форме выдаются рекомендации о возможности последующей эксплуатации или необходимости проведения ремонтно-регулирующих операций и замен неисправных элементов.

При разработке принципов организации контроля и диагностирования сложных технических систем в их структуре выделяется несколько уровней иерархии подсистем. Это служит основой для исследования объекта с целью создания средств контроля и диагностирования. При диагностировании возникает задача распознавания состояния сложной технической системы, для решения которой необходимо построить диагностическую модель и ал-

горитм диагностирования. Основная трудность при этом связана со сложностью математического описания объекта, так как сложные технические системы содержат большое число разнородных узлов и элементов и отличаются сложными функциональными связями между ними. В подсистемах объекта реализуются различные алгоритмы функционирования, поэтому для их описания требуются различные математические модели. При этом возникает проблема сопряжения этих моделей между собой. В итоге модель всей системы получается весьма сложной и часто малоприспособленной для построения диагностической модели.

В настоящее время в теории систем выделилась методологическая концепция, называемая концепцией пространства состояний. Состояние системы описывается совокупностью переменных, которые в каждый рассматриваемый момент времени адекватно отражают ее поведение. Исходя из этого, сложную техническую систему можно представить как математический объект в виде упорядоченного множества

$$S = \{T, U, X, Y, F, L\}, \quad (5.1)$$

где T – множество моментов времени; $U(t)$, $Y(t)$ – векторы входных и выходных переменных, соответственно; $X(t)$ – вектор переменных состояния; F – оператор переходов, отражающий изменение состояния системы под воздействием возмущений, L – оператор выходов, описывающий механизм формирования выходного сигнала.

Выражение (5.1) является общим и недостаточно определенным. Для конкретного описания рассматриваемой задачи необходимо наложить ограничения на его элементы, которые вытекают из особенностей данного объекта диагностирования.

Состояние объекта диагностирования есть вектор, составляющие которого не позволяют установить, работоспособен или неработоспособен объект в данный момент времени. Для этого необходимо задать виды технического состояния объекта диагностирования, указав граничные условия по каждой переменной состояния $x_i(t)$ и проверив их выполнимость. Условие работоспособности по некоторой переменной $x_i(t)$ представляется обычно в виде неравенства

$$x_{in} \leq x_i \leq x_{ig}, \quad (5.2)$$

где x_{in} , x_{ig} – нижнее и верхнее допустимые значения переменной $x_i(t)$. Выход значений $x_i(t)$ за указанные пределы фиксируется как отказ, а соответствующее состояние объекта диагностирования как неработоспособное.

Таким образом, задача диагностирования заключается в определении состояния объекта (задача наблюдения) и отнесении его к одному из заданных видов технического состояния (задача классификации). Сформулированная в таком виде задача диагностирования сложной технической системы является задачей распознавания образов, причем объектами распознавания являются состояния объекта диагностирования (рис. 5.1).

Формально распознаваемое состояние (изображение) представляется в виде упорядоченного набора некоторых переменных, называемых призна-

ками. В качестве признаков используются значения измеряемых параметров (сигналов с объекта диагностирования). При диагностировании могут быть использованы самые разнообразные физические параметры: температура, уровень вибраций, ток, напряжение и многие другие. Граничные значения перечисленных параметров могут быть довольно просто заданы для различных состояний объекта диагностирования. При автоматизированном распознавании очень часто используются бинарные признаки, когда значение 1 соответствует нахождению значения параметра в допустимых пределах (работоспособное состояние), а значение 0 – значению параметра в недопустимых пределах (неработоспособное состояние).

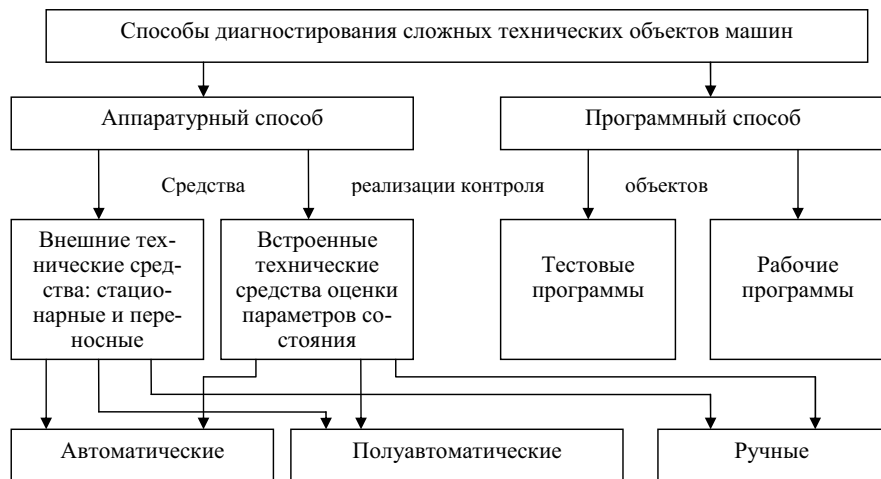


Рис. 5.1. Способы диагностирования сложных объектов машин

Для решения задач, связанных с анализом данных при наличии случайных и непредсказуемых воздействий, необходимо использовать арсенал методов математической статистики и теории принятия решения. Эти методы позволяют выявлять закономерности на фоне случайностей, делать обоснованные выводы и прогнозы.

Использование физических средств неразрушающего контроля и методов первичной статистической обработки данных не всегда оказывается достаточным при построении надежных автоматизированных систем принятия решений в задачах технической диагностики, поскольку эти средства не позволяют строить высокоточные многомерные диагностические модели нелинейных процессов, а также извлекать знания из экспериментальных данных и адаптироваться к изменениям во внешней и внутренней среде диагностируемого объекта.

Использование методов многомерной статистики предполагает обращение к системному анализу рассматриваемого явления, основных его составляющих и их связей, принятие решения о характере установленных закономерностей. Кроме того, программно-алгоритмическое обеспечение такого анализа имеет отношение к методам искусственного интеллекта.

5.2. Структура систем диагностирования

При разработке системы контроля и диагностирования решают комплекс взаимосвязанных задач (конструкторских, системотехнических, технологических, математических, программных и др. (рис. 3.5, 4.1). Это возможно в рамках системного подхода, поскольку он позволяет представить взаимосвязь различных направлений решения проблемы, а также выявить пути решения задач междисциплинарного характера и определить конкретные технические решения.

Разработка системы контроля и диагностирования выполняется в несколько этапов в следующей последовательности:

1. Исследование объекта контроля, то есть принципа его работы, структуры, конструкции, выполняемых функций и т. п.

2. Разработка перечня или классов возможных неисправностей, условий и признаков их проявления, передачи признаков в контрольные точки (для малоизученных объектов может потребоваться физическое моделирование неисправностей).

3. При необходимости формализованного решения задач диагностирования выбор известной или построение новой математической модели объекта и соответствующей ей диагностической модели.

4. Выбор метода и построение алгоритма диагностирования на основе анализа диагностической модели или при отсутствии модели – интуитивно на основе опыта.

5. Оценка качества полученного алгоритма диагностирования с точки зрения полноты и глубины обнаружения неисправностей, разработка программно-математического обеспечения, выбор из известных или разработка новых средств диагностирования, которые реализуют алгоритм диагностирования.

6. Оценка характеристик выбранных или разработанных средств диагностирования (габариты, масса, надежность, стоимость, глубина диагностирования и другие).

7. Исследование, в том числе экспериментальное, средств контроля и диагностирования в целом, при необходимости модернизация системы и доработка программно-математического обеспечения.

8. Приемочно-сдаточные производственные испытания.

При разработке средств контроля и диагностирования реального объекта отдельные этапы могут быть выполнены не в полном объеме или вообще исключены. Следует учитывать, что дополнительная аппаратура снижает надежность объекта в целом.

Результаты измерений различных параметров технических объектов при контроле, диагностировании и испытаниях являются основным источником информации об их реальном состоянии и функциональных возможностях, в связи с чем очень существенным становится вопрос достоверности получаемых результатов. Диагностирование реализуется путем использования научно обоснованного метрологического обеспечения, под которым понимается совокупность метрологических методов и средств, обеспечиваю-

щих сбор и обработку результатов измерений с погрешностями, не превышающими допустимых, и меры надзора за выполнением этих операций на производстве. Разработка адекватного метрологического обеспечения для конкретных видов измерений является одной из важнейших задач. Для операции контроля главное – информация о соответствии значений параметров состояния объекта и его узлов номинальным (регламентированным) значениям. При диагностировании важна информация о неисправности и причинах ее появления. При испытаниях выявляется информация о возможных состояниях и режимах работы объекта и характере взаимосвязи между ними. Отсюда следует, что наиболее полной информативностью обладают операции диагностирования, а наименьшей – операции контроля. Следствием этого является техническая и экономическая целесообразность применения различных по принципам действия и характеристикам датчиков физических величин как основы при выполнении любых измерений в зависимости от конкретной решаемой задачи. При метрологической оценке результатов измерений существенным является наиболее полный учет на основе системного подхода всех внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на реальную погрешность измерений, иначе нельзя будет вести речь об их точности и достоверности. Это требует создания информационно-измерительных систем, представляющих собой высший уровень интеграции электроизмерительной техники. Информационно-измерительные системы – это совокупность средств измерений, вычислительной техники и вспомогательных средств, соединенных каналами связи и имеющих общее управление.

По назначению различают следующие типы информационно-измерительных систем:

- измерительные системы, выполняющие прямые и косвенные измерения с соответствующей обработкой;
- системы автоматизированного контроля, предназначенные для получения информации об отклонениях значений контролируемых параметров от установленных нормальных значений;
- системы технической диагностики, предназначенные для получения информации о неисправностях, на основании которой решается задача их отыскания и установления причины отказа.

В структуру информационно-измерительных систем обязательно входят первичные и вторичные измерительные преобразователи. Первичные – датчики – осуществляют преобразование входной физической величины в унифицированное выходное значение электрического параметра, вторичные реализуют определенную функциональную зависимость между входным и выходным значениями электрических унифицированных параметров, обеспечивая сопряжение с другими приборами в составе информационно-измерительных систем.

Обобщенная структура системы контроля и диагностирования, отражающая основную задачу диагностирования, представлена на рис. 5.2. Состояние объекта диагностирования определяется с помощью системы датчиков, формирующих сигналы о функциональных и параметрических отка-

зах на различных уровнях подсистем. Далее сигналы поступают в многоканальное устройство измерения, которое нормализует сигналы и преобразует их в код. Кодированная информация поступает в устройство сравнения, где производится соответствующая обработка и сравнение с эталонными значениями параметров. На основании сравнения осуществляется распознавание состояния объекта диагностирования. При выявлении отказа устройство сравнения выдает управляющее воздействие на объект диагностирования и соответствующее сообщение на устройство индикации. Так организуется функциональное диагностирование. Для повышения степени локализации отказов и контроля управляющей подсистемы применяется тестовое диагностирование. В качестве устройства сравнения в средствах контроля и диагностирования используется микро-ЭВМ или микропроцессор.



Рис. 5.2. Обобщенная структура средств контроля и диагностирования

Обобщенная структура средств контроля и диагностирования устанавливает также конструктивную принадлежность средств диагностирования. Часть средств диагностирования, с помощью которых оценивается состояние объекта в реальном времени, встраивается в объект диагностирования. Эти средства диагностирования называются встроенными. Другая часть средств диагностирования конструктивно выполняется в виде отдельных блоков и предназначена для выявления некоторых отказов на верхнем уровне иерархии, вычисления интегральных оценок, формирования и обработки сигналов при тестовых воздействиях, а также при углубленном диагностировании. Эти средства диагностирования называются внешними. Встроенные средства диагностирования управляются от микропроцессора самого объекта, а внешние — от дополнительного микропроцессора или микро-ЭВМ.

Встроенные и внешние средства диагностирования целесообразно также классифицировать по функциональному назначению на отдельные информационно-измерительные каналы в соответствии с применяемыми методами контроля и диагностирования, например, канал вибродиагностирования, канал термоконтроля, канал контроля износа инструмента и другие.

5.3. Общие показатели эффективности процесса диагностирования

Условия диагностирования объектов. Технический объект может находиться в конечном множестве состояний. При этом задачей диагности-

рования является определение, в каком состоянии из данного множества находится объект диагностирования в момент его контроля (оценки, тестирования). Если при диагностировании можно установить все возможные состояния объекта, он удовлетворяет условию диагностирования.

Диагностирование сложных объектов диагностики автомобиля характеризуется следующими показателями:

- достоверность диагностирования D , которая является мерой определенности принимаемых решений о состоянии объекта;
- объем диагностирования, под которым понимается перечень параметров, подлежащих контролю;
- полнота диагностирования, которая характеризует степень охвата всех параметров;
- время диагностирования;
- глубина диагностирования, которая означает точность определения места и вида неисправности;
- стоимость диагностирования при техническом обслуживании;
- степень автоматизации операций диагностирования.

Часть этих показателей является зависимой и избыточной, тем не менее их можно использовать для оценки систем диагностирования различного назначения. Применяют и другие показатели, например: время обнаружения, поиска, устранения неисправностей, вероятность обнаружения и устранения за время $0, t$ и др. [42, 43]

Введем понятие элементарных диагностических операций под которыми понимаются элементарные действия $O_j(t)$, $j = 1, n$, осуществляемые совокупностью $\pi\{\pi_{j1}, \dots, \pi_{jr}\}$ определенных приборов и персонала для некоторого объекта за определенный интервал времени. В качестве таких действий могут быть:

- подготовка объекта к контролю путем установления определенных режимов;
- подготовка приборов к работе;
- снятие определенных характеристик на объекте и транспортировка их к средствам обработки;
- сравнение зафиксированных характеристик с некоторыми нормативами;
- принятие решения по полученной информации, выдача информативных и управляющих воздействий;
- работа алгоритмов прогноза и выдача экстраполированных значений параметров.

Эффективность выполнения элементарных операций характеризуется достоверностью контроля, полнотой контроля, временем обнаружения неисправности, временем поиска, устранения, стоимостью. С учетом этих операций показатели процесса диагностирования можно выразить через характеристики указанных операций. Например, показатель достоверности контроля является функцией от элементарных операций

$$D=f_i\{O_1(t), O_2(t), \dots, O_k(t)\}.$$

Аналогично можно записать выражения и для других показателей. Достоверность диагностирования зависит от метода диагностирования, соблюдения назначенных режимов диагностирования (скоростей, нагрузок, температуры и др.), точности измерительных приборов, аппаратуры, выполняющей функции принятия решения, и, наконец, безошибочности работы человека (диагноста, оператора). Учет всех факторов, которые имеют случайный характер, достаточно сложен и требует использования вероятностных методов.

Для реализации диагностического обеспечения в общем случае требуется ввести аппаратную и информационную избыточность. Поэтому разработчик, желающий иметь хорошее диагностическое обеспечение для проектируемой машины, должен сознавать, что для этого потребуются затраты, которые начнут окупаться немедленно – в процессе изготовления машины и при ее наладке. В первую очередь разработчику надлежит рассмотреть все стадии и этапы жизни машины, для каждого такого этапа решить вопрос о необходимости решения той или иной задачи диагностирования, выбрать или назначить требуемую полноту обнаружения и глубину поиска неисправностей (дефектов). За этим должна следовать разработка и создание соответствующих систем диагностирования.

Процесс постановки диагноза технического состояния заключается в логической обработке некоторой объективно существующей информации, поступающей от работающих агрегатов в определенный отрезок времени. Эта информация поступает в виде системы внешних признаков, измеренных диагностических параметров, прямо или косвенно характеризующих состояние автомобиля.

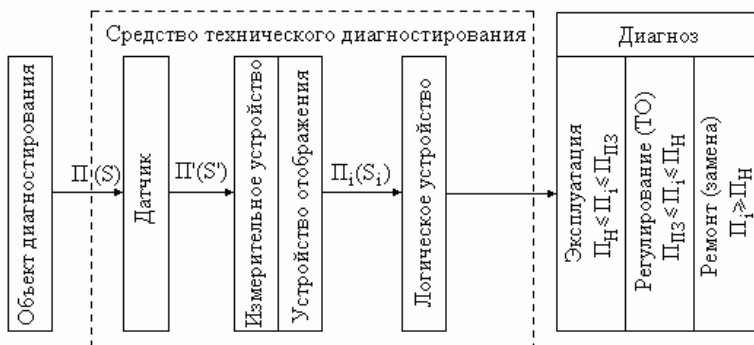


Рис. 5.3. Схема процесса диагностирования

Упрощенная схема процесса диагностирования показана на рис. 5.3. Как правило, изменение конструктивного параметра может быть зафиксировано несколькими различными диагностическими параметрами, из которых целесообразно выбрать наиболее эффективный. Для этого используются свойства однозначности, чувствительности, стабильности, информативности и системности. [14]

Постановка диагноза неисправности или сложных технических систем автомобиля, как правило, ставится не по одному, а по нескольким диагно-

стическим параметрам. Определение диагностических параметров проводят в заданном скоростном, нагрузочном и других заданных режимах.

Как показано на рис. 5.3, из объекта диагностирования, выведенного на заданный режим, с помощью специального датчика (механического, гидравлического, пьезоэлектрического, индукционного и т. п.) принимается сигнал, который отображает диагностический параметр Π , который, в свою очередь, характеризует значение структурного параметра S .

От датчика сигнал в трансформируемом виде Π' поступает к измерительному устройству, потом количественное значение диагностического параметра Π , выдает устройство отображения данных (стрелочный прибор, цифровая индикация, графическое устройство и др.).

5.4. Этапы проектирования систем диагностирования

Проектирование современных систем диагностирования представляет собой многоэтапный и длительный процесс, который может включать как теоретические, так и экспериментальные исследования с использованием разнообразного математического аппарата и современных электронных средств.

При проектировании диагностического обеспечения эксплуатации транспортных машин по состоянию необходимо решать следующие первоочередные задачи:

- выбор минимального (но достаточного) числа контролируемых структурных параметров (особенно недолговечных элементов), ограничивающий ресурс и получение информации о состоянии системы в любой момент времени;
- обоснование допустимых областей измерения выбранных для контроля параметров;
- разработка алгоритмов математического обеспечения для обоснования программ эксплуатации по состоянию;
- создание технических средств контроля и диагностирования, регистрации и оперативной обработки измеряемой информации.

Проектирование современных систем диагностирования технических систем содержит четыре этапа [44, 45, 46]:

- формулировка требований к системе;
- обоснование возможности построения системы;
- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта.

На первом этапе предварительно назначаются контролируемые неисправности и их диагностические параметры. Первый этап является определяющим и его выполняют одновременно с разработкой технического задания на машину как единой системы. На этом этапе должны быть выбраны и обоснованы критерии эффективности системы диагностирования механизмов и компонентов машины с учетом всех затрат, необходимых для ее создания. В соответствии с выбранным критерием организации системы диагностирования формируют требования по виду (встроенной или внешней)

технической системы диагностирования, безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности машины и технических средств диагностирования, а также требования к человеку-оператору, к оценке достоверности диагностирования, метрологическому обеспечению. Первый этап заканчивается разработкой технического задания, которое содержит требования к системе диагностирования, но не дает рекомендаций по их реализации.

Рассмотренное содержание процесса проектирования характерно практически для всех транспортных технических систем. Большое разнообразие этих объектов естественно оказывает большое влияние на процесс создания для них систем диагностирования. Однако, основываясь на приведенном содержании процесса проектирования, можно рассматривать следующую обобщенную процедуру разработки систем диагностирования (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Процедура разработки технических систем диагностирования (ТСД)

Сначала определяют организацию системы диагностирования, т. е. взаимодействие ее элементов. При этом согласовывают время использования объекта с временем диагностирования и определяют требования, которым должны удовлетворять все элементы. В соответствии с выбранным критерием организации системы диагностирования формулируют требования по безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности объекта и технических средств, а также требования водителю, диагносту человеку-оператору (ЧО). Эти действия соответствуют первому из рассмотренных четырех этапов проектирования.

На самом начальном этапе проектирования системы диагностирования необходимо определить периодичность и продолжительность использования объекта диагностирования и требования к элементам системы диагностирования. В процессе решения этих задач могут быть получены рекомендации по изменению режима использования объекта диагностирования по назначению.

Для того чтобы можно было оценить состояние объекта диагностирования, необходимо:

- определить контролируемые неисправности и отказы и их диагностические параметры;
- спроектировать средства оценки его проектного состояния с требуемой глубиной и достоверностью;
- определить виды бортовых и внешних средств диагностирования, которые позволяли бы оценить его состояние в эксплуатационных условиях;
- определить роль и функции человека-оператора, участвующего в диагностировании.

Разрабатывают технологию диагностирования отдельных агрегатов и комплексной машины. Определяют испытательные стенды, режимы и последовательность испытаний, операций диагностирования, диагноз и точность измерений технических параметров и диагностических сигналов. Указывают методы диагностирования и правила регистрации и обработки статистических данных результатов диагностирования и выдачи заключения (диагноза). Определяют требования к метрологическому обеспечению систем диагностирования. Проводят расчеты оптимальной периодичности контроля технического состояния с использованием встроенных и внешних средств, сроков обслуживания и ремонта, а также прогнозирования остаточного ресурса. Устанавливают номенклатуры исходных (номинальных), допустимых предельных значений структурных и диагностических параметров, оптимальных значений регулировок и эксплуатационных показателей, зависимости параметров от наработки.

Затем процедура предусматривает параллельное во времени решение вопросов, связанных с проектированием отдельных элементов системы диагностирования: разработку диагностического обеспечения объекта, проектирования ТСД и проектирование деятельности ЧО. Необходимость одновременного решения этих вопросов определяется технической документацией и стандартами на разработку систем диагностирования. Целесообразность принятия согласованных решений в процессе проектирования отдельных элементов обеспечивает высокую эффективность разрабатываемой системы. С другой стороны, самостоятельное рассмотрение вопросов, связанных с проектированием отдельных элементов системы диагностирования, объясняется тем, что в большинстве случаев элементы разрабатывают различные проектные подразделения или организации. Это обстоятельство требует тщательной проработки и согласования всех принимаемых решений по созданию отдельных элементов системы диагностирования. [45, 46]

Поскольку системы диагностирования имеют подчиненное значение и предназначены для повышения эффективности объектов автомобиля, то функции специалиста по технической диагностике сводятся не к собственно проектированию объекта, а к разработке диагностического обеспечения объекта с требуемым уровнем контролепригодности.

Заканчивают параллельный процесс разработки элементов системы диагностирования принятием технических решений. Параллельная во времени разработка элементов системы диагностирования по своему содержанию соответствует второму, третьему и четвертому этапам процесса проектирования.

Второй этап проектирования является исследовательским. На этой стадии уточняют предварительно выбранные контролируемые параметры путем использования различных формальных методов, разрабатывают основные принципы построения системы диагностирования и ее общей структуры, оценивают объект диагностирования, возможности изменения его технического состояния, уточняют требования к качеству системы и функциям обслуживающего персонала, оценивают необходимые затраты на разработку системы диагностирования.

Иначе говоря, необходимо разработать требования к диагностическому обеспечению объектов машины, т. е. комплекс взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств, которые будут использоваться на всех этапах жизненного цикла объекта.

Третий этап включает эскизное проектирование. На этом этапе разрабатывают алгоритмическую, функциональную и структурную схемы системы диагностирования, определяют характеристики и параметры подсистем и отдельных механизмов, выбирают способы технической реализации, решают вопросы размещения системы на машине и ее согласование с характеристиками всех механизмов и систем машины. По итогам оценки эффективности принимаются технические решения. Определение структуры, выбора элементной базы, построение принципиальной схемы и разработку конструкции выполняют с максимальным использованием достижений в области проектирования средств микропроцессорной, электронно-вычислительной и измерительно-информационной техники.

На четвертом этапе (техническое проектирование) разрабатывают принципиальные и монтажные схемы, рабочие чертежи, спецификации и другую техническую документацию, необходимую для производства и эксплуатации систем диагностирования. Процедура проектирования предусматривает параллельное по времени решение следующих вопросов:

- разработка диагностического обеспечения объекта;
- проектирование технической системы диагностирования;
- проектирование деятельности человека-оператора.

Необходимость одновременного решения этих вопросов в процессе проектирования отдельных элементов обеспечивает высокую эффективность разрабатываемой системы. В заключение процедуры разработки системы диагностирования оценивают эффективность и принимают решение по корректировке принятых в процессе проектирования технических решений или об изготовлении опытного образца.

Для оценки результатов, достигнутых в процессе разработки системы диагностирования, в заключение процедуры оценивают эффективность диагностирования и системы диагностирования. По итогам оценки эффективности проектировщики принимают решение об изготовлении опытного образца или внесении необходимых корректировок в принятые в процессе проектирования технические решения. При разработке технических систем различного назначения эффективность оценивают часто на этапе исследовательского проектирования.

Главными показателями качества систем диагностирования являются гарантируемые им полнота обнаружения и глубина поиска неисправностей (дефектов). К числу «вторичных» показателей качества систем диагностирования можно отнести затраты на аппаратуру, время, энергию, а также показатели надежности средств диагностирования, в том числе достоверность диагностирования.

Хорошо организованное диагностическое обеспечение машины с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать объективную информацию, представляющую собой предысторию развития процесса изменения характеристик машины, что может быть использовано для коррекции диагноза и повышения его достоверности.

Разработка автоматизированных электронных систем диагностики (АЭСД) и прогнозирование, в свою очередь, предполагает создание математического, алгоритмического, программного и информационного обеспечения для сбора, хранения, обработки и анализа диагностической информации. То есть, система диагностирования должна иметь информационное, техническое и математическое обеспечение.

Под информационным обеспечением понимают получение диагностической информации, ее хранение и систематизация.

Информация о техническом состоянии объекта обеспечивается соответствующими измерительными и вычислительными электронными системами и устройствами. Поэтому их точность имеет важное значение для построения адекватных моделей. При этом используют прямые и косвенные методы измерений.

Для диагностирования любой объект характеризуют совокупностью параметров $X_i, i=1, k$. Любой объект можно описать математической моделью $M_j, (j=1, m)$ с различной степенью адекватности. Параметры, которые характеризуют существенные свойства объектов, называют определяющими. Им соответствуют математические модели.

Для получения диагностической информации объекта диагностирования необходимо измерять параметры состояния. К основным задачам измерения параметров состояния машины относятся выбор и обоснование структурных и динамических параметров и диагностических моделей машин, разработка средств и алгоритмов диагностирования и программного обеспечения. Наиболее сложные и трудоемкие задачи в инженерном аспекте – это задачи измерения параметров состояния машин.

Система называется полностью наблюдаемой на интервале t_0-t_1 если ее начальное состояние $X(t_0)$ можно определить по измеренному на этом же интервале вектору $Y(t_1)$. Система называется полностью управляемой, если из некоторого начального состояния $X(t_0)$ ее можно перевести в любое другое состояние $Y(t_1)$ за конечный интервал времени t_0-t_1 воздействием на нее управления $G(t) \in G$, где G – некоторый заданный класс функций. Эти свойства определяют техническое состояние объектов и позволяют сформулировать условия работоспособности и различимости и оценить возможности их реализации. Условия работоспособности представляют собой правила, разделяющие конечное множество X возможных состояний объекта на под-

множества работоспособных X_0 и неработоспособных X_j состояний, $X = X_0 \cup X_j$.

Признак наличия дефекта представляет собой условия различия каждого состояния в подмножествах X_0 , X_j . Если обозначить через ΔW_i приращение информации, получаемое при наблюдении за i -м ($i = \overline{1, n}$) параметром объекта или за совокупностью их, а через C_i – стоимость такого наблюдения, то отношение $\frac{\Delta W_i}{C_i}$ можно использовать в качестве оценки значимости и реализуемости наблюдения за первым параметром или за группой параметров.

Математическое обеспечение – это алгоритм и программы распознавания технического состояния объекта диагностирования. Математическое описание необходимо представлять в виде модели конечной динамической системы.

Диагностическое обеспечение включает:

- контролепригодные объекты и средства диагностирования;
- алгоритмы процесса диагностирования;
- показатели, характеризующие деятельность оператора-исполнителя (диагноста).

В зависимости от сложности объекта диагностирования могут создаваться разные способы и средства контроля технического состояния машин.

Под средствами технического обеспечения контроля (доводки) макетных и опытных образцов понимают различные устройства испытания технических систем для получения и обработки информации и выдачи результатов диагностирования. Это встроенные диагностические системы, аппаратные средства, датчики, микропроцессоры, ЭВМ и др., а также внешние диагностические средства.

Для повышения эффективности оценки работоспособности машин применяют встроенные датчики на сборочных единицах и в системах управления, а также бортовые системы диагностирования, включающие датчики и измерительные приборы.

Если диагностические датчики установлены на машине, то во время диагностирования их через штекерные разъемы подключают к стационарным стандам или переносным приборам.

Системы бортового диагностирования дают возможность оценивать работоспособность сборочных единиц или систем при ежедневном обслуживании или непрерывно в процессе работы. Постоянно контролируемые параметры бортовой системы диагностирования позволяют выявлять отказы и неисправности, вызывающие аварийную ситуацию, значительные потери из-за простоя машины или ускоренного изнашивания дорогостоящего оборудования.

При создании систем диагностирования не менее важным является задача выбора или разработки средств реализации тестов. Средства систем тестового диагностирования содержат две основных части – генератор тестовых влияний и анализатор ответов объекта на эти влияния.

Выбор или разработка средств тестового диагностирования должны осуществляться с учетом многих факторов:

- наличие серийного выпуска необходимых средств;
- наличие соответствующих средств на заводе-производителе объекта;
- массовость выпуска объекта и его сложность;
- необходимая производительность средств и т. п.

Средства функционального диагностирования являются, как правило, встроенными и поэтому разрабатываются и создаются одновременно с объектом.

Встроенная система диагностирования может выполнять следующие функции:

- в режиме служебных торможений оценивает общее состояние тормозов и при их ухудшении выдает информацию на световой индикатор;
- в режиме экстренных торможений оценивает и запоминает эффективность тормозных качеств и выдает их значение, ограничивает скорость движения звуковым сигналом при недостаточной эффективности торможения;
- отдельно оценивает основные системы карбюратора и двигателя и при ухудшении их работы выдает информацию на световые индикаторы;
- через каждые 100 м пути индикатор определяет и выдает среднюю затрату топлива (в литрах на 100 км), что позволяет водителю анализировать и выбирать экономичную скорость движения, а также рациональный режим движения;
- по желанию водителя может выдавать на дисплей значение таких диагностических параметров, как затраты горючего на один оборот коленчатого вала, разжижение в впускном трубопроводе, напряжение системы питания, частота оборотов коленчатого вала, угол замкнутого состояния контактов прерывателя и др.

5.5. Информационное и техническое обеспечение систем диагностирования навигации и мобильной связи

Системы навигации и мобильной связи. Развитие спутниковых систем навигации и мобильной связи предопределило возможность не только контролировать географическое положение транспортного средства (ТС) и осуществлять связь с диспетчерским центром транспортного предприятия, но и передавать текущую и накопленную диагностическую информацию о ТС, занося ее в базу данных конкретного ТС. Разработанная на основе современных IT-технологий бортовая система контроля и диагностики (БСКД) автомобилей является высокоэффективной и полностью адаптивной системой, позволяющей в условиях эксплуатации вести полный контроль над автомобилем в процессе его работы по назначению и осуществлять диагностирование его электронных систем управления.

Применение на автомобилях сложных высокоэффективных электронных систем управления вызвало необходимость создания нового диагностического оборудования со значительным объемом сервисной информации.

Учитывая значительное разнообразие, как моделей автомобилей, так и электронных систем управления ими различных производителей, создание диагностического оборудования потребовало унификации его с помощью принятия международных стандартов. К таким стандартам относится международный стандарт ISO 9141, который определяет протоколы обмена информации через последовательный интерфейс между электронными блоками управления и диагностическими тестерами или сканерами. Одним из специальных диагностических устройств, устанавливаемых на автомобили, является БСКД. Она обеспечивает доступ к бортовому диагностическому программному обеспечению.

Бортовая система контроля и диагностики предназначена для обеспечения диагностирования бортовых электронных систем автомобиля по интерфейсу ISO 9141 непосредственно на автомобиле, контроля осевой нагрузки и режимов работы автомобиля, отсчета текущего времени и, соответственно, отображения контролируемых параметров и текущего времени на ЖК-мониторе блока контроля, установленного на панели приборов. БСКД – это фактически встроенный в приборную панель автомобиля бортовой компьютер с функциями контроля режимов работы, расхода топлива и диагностики, установленных на автомобиле электронных систем (EDC двигателя, ABS/ASR, ECAS) различных производителей.

Современная БСКД автомобиля включает в себя следующие компоненты:

- блок БСКД, установленный на дополнительной панели щитка приборов в кабине автомобиля;
- кабель соединения блока с диагностическим разъемом;
- диагностический разъем в кабине;
- кабель RS-232 соединения разъема с сервисным адаптером;
- сервисный адаптер;
- кабель USB соединения адаптера с персональным компьютером;
- персональный компьютер (Notebook, подключенный к Интернету);
- модем 3G беспроводной связи передачи сигналов бортовых отчетов на точки доступа;
- точки доступа Bluetooth/GSM-GPRS/SMS;
- накопление бортовых отчетов в базе данных и передача оперативной информации через WEB-сайт на компьютер пользователю или диспетчеру транспортного предприятия.

БСКД позволяет в режиме реального времени или периодического считывания накопленной в данных информации не только вести постоянный мониторинг картографического положения автомобиля в процессе движения его по маршруту следования, но и оценивать его техническое состояние по определенным параметрам электронных блоков управления механизмами и системами автомобиля.

Принцип работы БСКД транспортного средства заключается в регистрации события в координатах времени и накоплении данных в энергонезависимой памяти. Считывание данных из БСКД производится в режимах on-line или off-line (после рейса), один раз в месяц или при проведении оче-

редного ТО по усмотрению потребителя. Для считывания данных используется программное обеспечение из сервисного комплекта SK BSCD и компьютер типа Notebook, подключаемый через сервисный комплект к штатному диагностическому разъему автомобиля. При включении электропитания данные автоматически считываются из памяти БСКД и в зашифрованном виде передаются на сервер удаленной точки доступа. Если компьютер не подключен к Интернет, данные в зашифрованном виде сохраняются в компьютере и при выходе в Интернет автоматически передаются на сервер удаленной точки доступа. Потребитель, имеющий лицензию (право доступа на сервер), может в любое время и из любой точки получить необходимую информацию и сводный отчет о работе автомобиля или группы автомобилей (автопарка) через Интернет за любой выбранный по своему усмотрению период времени.

С помощью БСКД водитель может своевременно получить предупреждения о критических режимах и неисправностях в системах ЕВС двигателя, самостоятельно без применения дополнительного оборудования проводить контрольную диагностику электронных систем и определять вид и место возникшей неисправности в рейсе, стереть ошибки после устранения неисправности, а также контролировать время и параметры работы двигателя (температуру, обороты, давление масла, часовой расход топлива и т. п.). Кроме того, водитель может получать маршрутную информацию (пробег с начала поездки, средний путевой расход топлива и т. п.) в удобной графической и текстовой форме, контролировать осевую нагрузку и оптимизировать загрузку автомобиля, не допуская превышение нагрузки на ось, и многие другие функции.

Для транспортного предприятия БСКД позволяет снизить затраты на топливо за счет возможности контроля фактического расхода топлива, объема, времени и количества заправок, предупреждения сливов топлива. Контролируя фактическое время работы, пройденный автомобилем путь, а также стиль вождения и расход топлива, оптимизировать оплату труда водителя. Имеются и другие возможности для потребителя с использованием БСКД на автомобилях.

Возможности БСКД определяют количество регистрируемых параметров технических систем автомобиля по установленным на нем датчикам, позволяют производить экспресс-диагностику технического состояния автомобиля в процессе его движения и своевременного устранения текущих неисправностей. Одновременно можно накапливать информацию для прогнозирования ресурса и проведения технического обслуживания по фактическому состоянию двигателя на сервисных станциях и ремонта на предприятиях.

5.6. Метрологическое обеспечение систем диагностирования

Метрологическое обеспечение измерений при исследовании и диагностировании – установление и применение научных и организационных ос-

нов, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. При испытании надо обеспечить в течение определенного времени соответствующий испытательный режим с требуемой точностью.

Основными задачами метрологической службы являются:

- обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня метрологического обеспечения производства;
- внедрение в практику современных методов и средств измерений, направленное на повышение уровня научных исследований, эффективности производства, технического уровня и качества продукции, а также иных работ, выполняемых предприятием;
- организация и проведение калибровки и ремонта средств измерений, находящихся в эксплуатации, своевременное представление средств измерений на поверку;
- проведение метрологической аттестации методик выполнения измерений, а также участие в аттестации средств измерений и контроля;
- проведение метрологической экспертизы технических заданий, проектной, конструкторской и технологической документации, проектов стандартов и других нормативных документов;
- проведение работ по метрологическому обеспечению подготовки производства;
- участие в аттестации испытательных подразделений, в подготовке к аттестации производств и сертификации систем качества;
- осуществление метрологического надзора за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами, применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Контрольные вопросы

1. Приведите общую методику проектирования диагностического обеспечения.
2. На каких стадиях жизненного цикла машины определяются требования к диагностическому обеспечению?
3. Приведите последовательность (этапы) разработки системы контроля и диагностирования.
4. Какая обобщенная структура системы контроля и диагностирования?
5. Какие существуют показатели эффективности процесса диагностирования?
6. Приведите схему процесса постановки диагноза технического состояния.
7. Какие первоочередные задачи надо решать при проектировании системы диагностирования?
8. Какие основные этапы проектирования системы диагностирования?
9. Что понимают под информационным обеспечением системы диагностирования?
10. Что входит в математическое обеспечение системы диагностирования?
11. Какие средства технического обеспечения используются в системах диагностирования?

12. Какие характерные черты современных систем навигации и мобильной связи транспортных машин?
13. Какие задачи метрологического обеспечения систем диагностирования?

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ, РЕЖИМОВ И МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН

6.1. Выбор объектов машины, требующих диагностирования

Объект технического диагностирования (контроля) – изделие и (или) его составные части, подлежащие диагностированию (контролю).

Автомобиль как материальный объект технического диагностирования является очень сложной системой. Общее число диагностических параметров совсем недавно достигало 200, а количество отдельных подсистем и механизмов – около 40. По мере электронизации автомобиля число диагностических параметров значительно возросло и достигает 2000. Особенности решения задач диагностирования определяются, в первую очередь, особенностями объектов.

Выбор конкретных объектов диагностирования, структурных, ресурсных и функциональных параметров машин является одной из первоочередных задач, определяющих содержание последующих разработок в технической диагностике. Основные объекты диагностирования автомобиля приведены в упрощенном и сокращенном виде на рис. 6.1.

Первоочередными объектами диагностирования являются [9, 14]:

- структурные параметры агрегатов, узлов и недолговечных элементов, ограничивающих ресурс или высокие качества функционирования механизмов;
- обеспечение технической безопасности машины, труда операторов (водителей) и экологической надежности машины.

Необходимо на стадии доводки макетных и опытных образцов машин при заводских ресурсных испытаниях, при полигонных испытаниях и в условиях эксплуатации решить следующие вопросы:

- определить недолговечные и потенциально ненадежные элементы машины и их структурные параметры;
- установить полную совокупность неисправностей и отказов машины и стоимостные характеристики их устранения;
- рассчитать издержки на устранение отказов, техническое обслуживание каждого элемента;
- оценить эффективность диагностирования отдельных элементов и машины в целом;
- установить группу элементов, подлежащих диагностированию, их значимость и очередность разработок по диагностике составных частей машин.

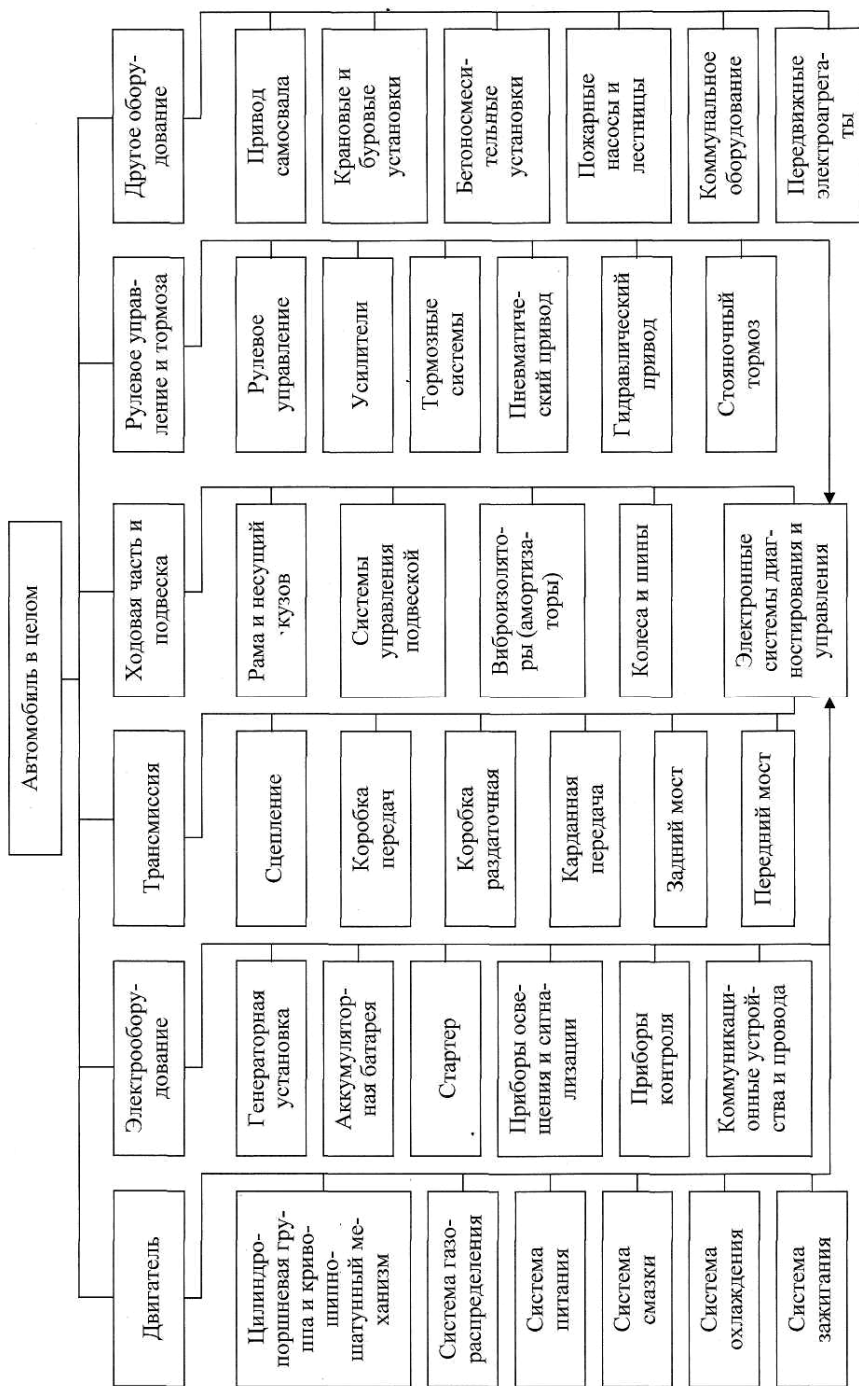


Рис. 6.1. Объекты диагностирования автомобиля

Для этого собирают и анализируют отказы всех деталей, сопряжений и механизмов объекта диагностирования, изучают технические характеристики компонентов и действующих процессов, выделяют структурные параметры, обуславливающих каждый отказ элементов, аналогов и опытных образцов при ресурсных испытаниях. Далее определяют вероятность отказа и издержки, связанные с его устранением и предупреждением. На основе этого обосновывают структурные параметры и последовательность разработки признаков, методов и средств их косвенного диагностирования или прямого инструментального измерения.

Все объекты в технической диагностике принято разделять на три группы: непрерывные объекты, дискретные и гибридные. К непрерывным объектам относятся объекты, параметры которых в процессе функционирования могут принимать множество значений. Это механические системы автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, двигателей внутреннего сгорания, электродвигателей, строительных машин и т. д. К дискретным объектам относятся объекты этих машин, параметры которых задаются на конечных множествах и время отсчитывается дискретно. Это система зажигания двигателей, электронно-цифровые микросхемы систем управления, релейно-контактные схемы и др. Гибридные объекты технической диагностики представляют собой комбинации непрерывных и дискретных механизмов, агрегатов, устройств. Цикл их функционирования является постоянным во времени.

Дискретный объект – набор элементов, определенным образом связанных между собой. Элементы, независимо от их строения, рассматриваются как конечный шаг дробления объекта. В простейшем случае считается, что элемент может иметь только два технических состояния: работает - не работает. В дискретном объекте возможны три вида неисправностей: не работает один или несколько элементов; отсутствует связь между элементами там, где она должна быть; имеется связь между элементами там, где ее не должно быть. Обычно в дискретных объектах элемент может пребывать в одном из двух рабочих состояний, например, открытом или закрытом (триггеры или вентили). Типичные дискретные объекты – электрические схемы. Пока схемы были просты, можно было пройти тестером последовательно по всем критическим узлам схемы и найти неисправность. С усложнением схем такой последовательный полный перебор стал слишком трудоемким и долгим. Начали создавать диагностические тесты.

Диагностические тесты – это алгоритм действий по отысканию неисправности (дефекта) в дискретном объекте. Обычно стараются создать диагностический тест минимальный по числу проверок, длительности и трудоемкости, представляя объект моделями – таблицами функций неисправностей или переходов-выходов.

Простой пример дискретного объекта – система зажигания. Для нахождения неисправности проверяют свечи по очереди. Система имеет несколько выходов (свечей). При проверке прежде всего сокращают область поиска – ищут, на каком выходе сигнал неправильный. Проще всего вынимать по очереди идущие к свечам провода высокого напряжения и подно-

свить конец провода к массе, то есть головке блока работающего двигателя, чтобы проверить, есть ли искра. Если на всех проводах искра есть и она не слаба, значит, не работает свеча. Проверяют по очереди свечи, чтобы найти дефектную. Если один из проводов не дает искры, то, скорее всего, неисправен этот провод. Если все провода не дают искры, проверяют центральный провод, конденсатор, катушку зажигания и т. д. Следует знать, что этот способ проверки небезопасен на двигателях с электронными системами зажигания, так как может привести к дорогостоящему ремонту вышедших в этом случае из строя электронных блоков.

В диагностировании технических систем есть два основных направления: диагностирование непрерывных объектов и диагностирование дискретных объектов.

Если часть координат объекта задана на континуальных (непрерывных) множествах, а другие – конечными множествами, то такие диагностические объекты являются гибридными (смешанными), например, аналого-цифровые преобразователи (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Объекты и режимы диагностирования

Даже электронную схему можно считать дискретным объектом лишь до некоторой степени. Если в ней есть транзистор, это уже смешанный объект, поскольку транзистор выдает аналоговый сигнал. На выходе триггера сигнал либо есть, либо отсутствует, это один из двух ответов: да или нет.

Аналоговое устройство не выдает сигнал да или нет, оно определяет «столько-то». Поэтому в большинстве случаев технические системы являются смешанными (гибридными). То есть часть координат объекта задана на непрерывном (континуальном) множестве, а другие – конечным множеством (например, аналого-цифровые преобразователи, встроенные электронные системы управления механизмами и др.).

Более значительное, чем в дискретной технике, многообразие физических принципов реализации аналоговых объектов затрудняет разработку общих теоретических и методических подходов по диагностированию технического состояния объектов этого класса. В качестве широко применяемых диагностических моделей аналоговых объектов можно назвать их логические модели и графы причинно-следственных связей. Эти модели пригодны лишь в тех случаях, когда возможна организация диагностирования на принципах допускового контроля параметров объекта.

Все физические величины являются дискретными или квантованными и все такие кванты очень малы. Поэтому мир представляется нам непрерывным, аналоговым. В результате объекты описываются параметрами, каждый из которых может иметь не два, а бесконечно большое число значений, то есть представляет собой аналоговую величину, а потому для оценки разных технических состояний таких объектов приходится определять численные значения этих параметров, то есть измерять их.

6.2. Разделение объектов диагностирования

Задача разделения объекта диагностирования на части связана с проектированием технических объектов, разделением множества дефектов или неисправностей (например, ресурсных и нересурсных) и их ремонтом. При проектировании структуры объекта может быть принят различный уровень деления его на части. Число уровней деления, а также содержание частей может в некоторых пределах меняться. При этом сохраняется закономерность, состоящая в том, что по мере увеличения объема каждой части число их уменьшается. Кроме того, известно, что чем больше объем частей, тем выше их стоимость. Следовательно, стремление при проектировании упростить будущие процессы поиска и восстановления путем создания объектов с небольшим числом крупных блоков наталкивается на высокую стоимость последних. Суммарная стоимость поиска и замены блока оказывается большой, а требуемый объем запасных частей должен быть значительным и также будет иметь большую стоимость.

С другой стороны, уменьшение объема сменных блоков приводит к снижению их стоимости. Наименьшую стоимость имеют простые радиоэлементы, интегральные схемы, механические детали и т. п. Однако по мере уменьшения размеров блоков число их в объекте быстро растет. Это в свою очередь влечет за собой увеличение затрат времени и труда на поиск неисправного блока. Хотя увеличение числа блоков ведет к росту глубины поиска дефектов, однако суммарная стоимость поиска и восстановления, начиная с определенной глубины, может возрастать. Следовательно, имеет

смысл постановка задачи по нахождению минимума суммарной стоимости. Такая задача должна решаться на этапе синтеза физической структуры.

При этом необходимо учитывать еще один важный момент. Ремонт замещением дефектных блоков ведет к сокращению времени восстановления. Однако изучение тенденций в конструировании техники показывает, что далеко не все части объекта размещаются в сменных блоках. Ряд важных схем (схемы питания, синхронизации и управления) находится в межблочном пространстве. Поэтому вопрос о переходе на ремонт только заменой блоков жестко связан с числом частей, не входящих в блоки. При их отказах поиск неисправностей (дефектов) усложняется. Замена таких частей приведет к необходимости длительных монтажных работ, а затем, после устранения неисправности, – к длительным сборочным работам. Поэтому механизм разменения частей в межблочном пространстве должен соответствовать основному принципу ремонтпригодности: ненадежные части размещать в легкодоступных местах.

На этапе эксплуатации в зависимости от особенностей структуры технического объекта назначается диагностическая структура объекта, которая может не совпадать с его физической структурой. Такое назначение фиксирует множество блоков, которые считаются неделимыми и являются целями поиска и восстановления. В принципе блоки могут быть разделены в пределах до физически неделимых частей. Но глубина поиска ограничивается обычно не по конструктивным соображениям, а для сокращения времени поиска и времени восстановления. Кроме того, она может быть ограничена составом набора запасных частей.

6.3. Назначение контрольных точек

Обеспечение возможности эффективного автоматизированного индивидуального углубленного контроля технического состояния внешними средствами зависит не только от средств контроля, но и от того насколько четко и продумано разработана конструкция объекта контроля. Если технический объект отвечает условию диагностирования, то необходимо провести синтез объекта диагностирования на предмет количества точек и глубины диагностирования. Это обеспечивается при конструировании объекта путем целенаправленного размещения структурных элементов диагностирования объекта в конструкционные единицы.

Одной из проблем синтеза контролепригодных технических объектов является проблема оптимального размещения компонентов объекта в конструктивные единицы-блоки, с точностью до которых осуществляется диагностирование.

Общие требования выбора контролируемой точки является расположение ее как можно ближе к источнику неисправности и таким образом, чтобы снизить помехи в прохождении контролируемого сигнала (например, вибрации). На пути прохождения сигнала исключать источники его преобразования (помех).

Для автоматизированного диагностирования необходимо обеспечить выводы от контрольных точек, размещение, компоновка оборудования и его монтаж, специальные схемы для обеспечения возможности проверки – все это должно создаваться в самом начале разработки объекта и совершенствоваться на всех этапах разработки – от аванпроекта до серийного производства. Следовательно, на этапах разработки объекта должен быть заложен необходимый уровень его контролепригодности.

«Ответы» объекта диагностирования могут сниматься как с основных выходов, то есть из выходов, необходимых для применения объекта диагностирования по назначению, так и из дополнительных выходов, организованных специально для диагностирования. Основные и дополнительные выходы называют контрольными точками или контролируемыми выходами. Измеренные на них параметры называют контролируемыми или диагностическими параметрами. В одном контролируемом выходе может измеряться несколько параметров. Например, во время контроля сигнала синусоидальной формы часто измеряют одновременно его частоту и амплитуду. В одной точке диагностического измерения вибрации определяют уровни вибрации, возбуждаемые многими неисправностями (деталью).

Из многих возможных точек контроля диагностического параметра выбирают наиболее информативную для контроля конкретного параметра, то есть возможной неисправности. Необходимо исключать точки контроля, которые могут нести одну и ту же информацию о состоянии элемента (процесса) диагностирования. При выборе точки контроля диагностического параметра необходимо задаваться пороговым значением коэффициента корреляции, например, 0,8, считая, что при значениях коэффициента корреляции выше порогового значения можно исключить измерение параметра в одной из точек (например, вибрации), поскольку они несут одну и ту же информацию. Процедуру установления сильной корреляционной связи необходимо выполнять для различных режимов работы объекта диагностирования и выявить точки, которые можно исключить, т. е. находят общие для всех режимов отбрасываемые точки.

Основными характеристиками контролепригодности является объем контроля, трудозатраты на подготовку и проведение контроля, его стоимость. В свою очередь, трудозатраты и стоимость контроля зависят от номенклатуры стимулирующих сигналов и сигналов реакций, от методик контроля и схемно-конструктивных характеристик объекта. Например, объекты, имеющие широкий перечень источников питания, логично отнести к таким, которые имеют низкую контролепригодность, поскольку такой перечень приводит к увеличению стоимости средств контроля и препятствует их унификации. В связи с этим во время разработки объекта необходимо вводить ограничение на разнообразие стимулирующих и контролируемых сигналов, на схемно-конструктивные решения (например, относительно количества, типов и размещения электрических соединений, которые обеспечивают удобство и безопасность стыковки с аппаратурой контроля), на типы первичных преобразователей физических величин в электрические сигналы и т. д.

Техническая диагностика тесно связана с теорией информации и кодировкой. Основными терминами в этой теории являются данные, сообщение, информация. Под данными понимают все сведения, добытые от окружающего мира и поданные в нормализованном виде (буквами, цифрами, символами и т. п.), например, показания цифровых индикаторов температуры, частоты вращения, давления. Данные, подлежащие передаче, называются сообщениями. [35]

Для защиты аппаратуры от повреждений в результате ошибочных действий обслуживающего персонала в объекте контроля должны быть предусмотрены специальные средства.

Одной из характерных ошибок является неправильная стыковка электрических соединителей объекта контроля и АСК. Во избежание последствий таких ошибок в электрические соединители объекта контроля вводят так называемые перемычки – короткозамкнутые пары контактов, на основе которых формируют электрическую цепь готовности АСК к контролю.

Техническая диагностика должна иметь информационное, техническое и математическое обеспечение. Под информационным обеспечением подразумевается получение диагностической информации, ее хранение, систематизация. Под техническим обеспечением понимают различные устройства для получения и обработки информации (диагностические стенды, приборы, датчики, ЭВМ и др.). Математическое обеспечение – это алгоритмы и программы распознавания.

Требование обеспечения высокой контролепригодности усложняет проектирование объектов и может привести к неэкономичной реализации последних или к возникновению больших дополнительных расходов, связанных только с аппаратурным диагностированием. Дополнительная аппаратура снижает некоторые показатели надежности объектов в целом и также должна подвергаться диагностированию.

Контролепригодность обеспечивается в результате преобразования структуры проверяемого объекта к виду, удобному для диагностирования. Для этого в объект еще на этапе его проектирования необходимо ввести дополнительную аппаратуру – встроенные средства тестового диагностирования.

К встроенным средствам тестового диагностирования можно отнести дополнительные контрольные точки, дополнительные входы для блокирования сигналов и задания необходимых значений сигналов, а также специальную аппаратуру, которая при диагностировании изменяет структуру объекта, оставляя его первоначально в режиме эксплуатации, генерирует тесты и анализирует результаты их реализации.

6.4. Выбор режима диагностирования и критерия предельного состояния объекта диагностирования

Чем сложнее система, тем сильнее сказываются на ее параметрах условия или режим измерения диагностических параметров (режим диагностирования).

Режим – это сочетание скорости (линейной или угловой), преодолеваемых сил сопротивления (полезной и вредной нагрузки) и рабочей температуры. Иногда устанавливают отдельно скоростные, нагрузочные (силовые) и температурные режимы. Выделяют режимы частичные, реальные и полные.

Реальный – характерный рабочий режим (например, движение по ровной дороге с полной нагрузкой и нормальной скоростью, например, 60 км/ч). Полный режим – максимально возможный для объекта. Частичный (сокращенный) режим – небольшая скорость, неполная или нулевая нагрузка, небольшая температура и т. п. В тестовом режиме на вход объекта подают сигнал, достаточный, чтобы вызвать отклик на выходе и по нему судить о техническом состоянии объекта.

Например, показатели мощности автомобиля проверяют в режиме максимального крутящего момента, показатели экономичности – в режиме, который соответствует реализации контрольного расхода топлива, то есть при наиболее экономичной скорости и при режиме нагрузки, которая имитирует движение автомобиля на ровном горизонтальном отрезке пути с асфальтобетонным покрытием. Тормозные качества проверяют при таких скоростях и нагрузках, которые позволяют надежно выявлять основные неисправности тормозной системы автомобиля. Большинство нормативных показателей разрабатываются для оптимальных тестовых режимов диагностирования.

Основным требованием для обеспечения высокой точности и достоверности измерений диагностических параметров является соблюдение одинакового воспроизведения режимов работы объекта диагностирования и средств измерения с теми, которые назначались при определении исходных и предельных диагностических параметров.

Установившийся (статический) режим – постоянная скорость, нагрузка, температура (движение по горизонтальной дороге с постоянной скоростью; равномерное движение на затяжном спуске с постоянным притормаживанием).

Неустановившиеся (динамические) режимы – разгон, движение по инерции с отключенным двигателем или разобщенной трансмиссией (выбег), торможение с потерей скорости.

Одни диагностические операции выполняют на неработающем объекте. Другие – на работающем в частичных режимах. Операции диагностирования часто требуют полных режимов, поскольку:

- некоторые неисправности (дефекты) проявляются только в полных режимах;
- требования установлены нормативными документами для реальных или полных режимов и предусматривают проверку работоспособности объекта в реальных условиях, а не в условиях проверки на стендах (постах) диагностики.

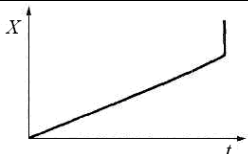
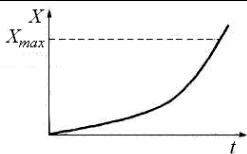
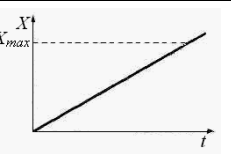
Наконец, есть группа проверок, связанных с безопасностью движения, когда лучше довести машину до поломки при диагностировании и тем предотвратить более опасный случай – внезапную поломку в условиях реаль-

ной работы. Поэтому, когда начинают ранжировать требования к машине, всегда нужно ставить на первый план требования безопасности для людей и работы машин.

Основным критерием предельного состояния машины является то экстремальное значение параметра, которое допускается техническими условиями. Однако сам ход процесса изменения исходных параметров и наличие зон их резкого роста также является критериями для установления максимально допустимых значений X_{max} .

Таблица 6.1

Критерии предельного состояния

Вид повреждения			
	1 группа	2 группа	3 группа
Потеря прочности и жесткости	Хрупкое разрушение	Усталостное разрушение поверхности	Деформация в пределах упругости
Тепловые деформации	Возникновение тепловых трещин	Деформация с возникновением пластических зон	Деформация без изменения состояния материала
Коррозия	Сквозная коррозия емкости	Потеря несущей способности детали	Окисление поверхности
Износ	Поломка в результате износа	Изменение вида износа	Искривление формы поверхности трения

Возможны три основных группы критериев (табл. 6.1):

- в результате износа или других повреждений происходит скачкообразное изменение состояния машины и она перестает функционировать. Например, потеря герметичности резервуара во время коррозии, заклинивание машины во время ее износа, поломка детали в результате хрупкого разрушения и т. п. Здесь, как правило, трудно делать выводы по исходному параметру о близости к предельному состоянию, поэтому целесообразнее регламентировать максимально допустимую степень повреждения X_{max} ;

- в результате процесса повреждения появилась зона интенсивного роста исходных параметров машины – рост вибраций, температуры, шума. Здесь даже если эти параметры еще находятся в допустимых пределах, необходимо установить значение X_{max} , соответствующее началу интенсификации процесса потери работоспособности;

- основной случай назначения X_{max} – когда процесс повреждения не имеет экстремальных зон и исходные параметры определяются установленными на машину техническими условиями.

6.5. Методы контроля и диагностирования машин

6.5.1. Классификация методов

Для проектирования диагностического обеспечения автомобилей, их доводки, диагностирования отдельной системы в эксплуатации, требуется большой арсенал теоретических, эвристических и эмпирических методов, знаний конструкции и средств диагностирования.[14]

Методы диагностирования автомобилей, их агрегатов и узлов, характеризуются способом измерения и физической сущностью диагностических параметров, наиболее приемлемых для использования в зависимости от задачи диагностирования и глубины постановки диагноза.

При разработке методов диагностирования их разделяют на организационные и технологические. Организационные методы определяют характер основных задач диагностирования, применение и выбор средств диагностирования, алгоритмы и программы диагностирования.

Технологическое диагностирование – это множество способов и приемов подачи входных сигналов (тестов), регистрации выходных сигналов, измерения диагностических параметров и обнаружения диагностических признаков технического состояния.

Методы диагностирования, применяемые к автотранспортным средствам, к их агрегатам и системам, отличаются между собой измеряемыми параметрами, приемами измерения и способами обработки результатов.

По диагностическим параметрам все методы разделяют на три группы, в зависимости от того, характеризует ли параметр рабочий процесс машины или ее составной части, сопутствующий процесс или непосредственно структурный параметр (рис. 6.3).

В основе методов диагностических исследований лежат экспериментальные и измерительные методы.

Экспериментальный метод основан на получении информации о показателях в результате проведения эксперимента (например, в период опытной эксплуатации). Естественно, что показатели при этом могут измеряться приборами, регистрироваться, рассчитываться, определяться экспертным или иным способом (наблюдение, сравнение, пробные поездки и др.).

Измерительный метод применяется в тех случаях, когда можно использовать средства измерений. Технических средств, применяемых в практической деятельности, сравнительно много, соответственно с их помощью можно проводить измерения: электрические, физические, биологические, физико-химические, микробиологические и ряд других.

По применяемым средствам диагностирования методы диагностирования разделяют на два класса: интеллектуальные (органолептические) и инструментальные (объективные).

В табл. 6.2 показаны основные группы интеллектуальных и инструментальных методов. В каждой группе методов показаны их виды, дана характеристика и указана область применения. Все методы, представленные в табл. 6.2, достаточно подробно описаны в работах [21, 25].



Рис. 6.3. Классификация методов диагностирования автомобилей

Таблица 6.2

Классификация методов диагностики и области их применения

Виды методов	Области применения
1. Интеллектуальные системы	
Органами чувств человека – органолептические. Теоретические. Эвристические. Экспертные. Опроса и интервью. Когнитивный анализ и отбор информативных диагностических признаков. Логические, математическая логика. Логическая алгоритмизация выбора диагностических параметров и поиска дефектов и неисправностей. Структурно-следственные и функционально-структурные методы распознавания неисправностей. Детерминированные. Статистические. Математического моделирования.	Фундаментальные теоретические познания объектов, методов, средств и ключевых понятий диагностики на стадиях конструирования, изготовления и эксплуатации двигателей. Определение взаимосвязей, обобщение, систематизация, обоснование и принятие решений. Разработка диагностического обеспечения, моделирование, алгоритмизация и программирование процессов диагностирования.

Виды методов	Области применения
2. Неразрушающий контроль	
Магнитный. Электрический по регистрации электрических полей. Вихревой. Визуально-оптический. Радиоволновой. Тепловой. Радиационный. Оптический. Акустический. Проникающих веществ. Акустической голографии.	Контроль качества материалов, технологических процессов, конструкций, соединений деталей при изготовлении, ремонте и эксплуатации двигателей, прогнозирование остаточного ресурса деталей и конструкций.
3. Распознавание технического состояния и рабочих процессов по эталонам, маскам и нормативным параметрам	
Сравнение с эталонным образцом. Совмещение с опорным спектром процесса. Сравнение показаний измерительного прибора с показаниями эталонного прибора. Сравнение текущих значений диагностического параметра с нормативным значением.	Создание программного обеспечения автоматизированных бортовых, переносных и стационарных систем диагностирования с элементами распознавания неисправностей, прогнозирования остаточного ресурса.
4. Тепловые и оптические	
Измерение теплового инфракрасного излучения. Контактные методы. Неконтактные методы. Электронно-оптические преобразователи. Термография. Ультразвуковые. Оптико-электронные. Визуальные (эндоскопы, энтроскопы). Измерение отражаемого света. Оптические лазерные методы.	Тепловой контроль перегрева деталей и узлов трения, электрических контактов, электрических соединений, электронной аппаратуры. Визуально-оптический контроль, обнаружение трещин, расслоения, отклонения геометрических форм от заданных, измерение дымности, контроль качества масла.
5. Газоаналитические	
Методы химического анализа состава отработавших газов двигателя. Методы инфракрасного излучения (поглощение отдельных газов).	Контроль общего технического состояния ЦПГ, состава топливной смеси, системы подачи и сгорания топлива, электрооборудования системы управления двигателем по составу отработавших газов газоанализаторами.

Виды методов	Области применения
6. Контроль износа трущихся деталей и смазки	
Микрометрирование. Профилографирование. Взвешивание. Метод искусственных баз. Виброакустический. Тепловой. Калориметрия, химический, активационный и спектральный анализ содержания продуктов износа в масле.	Исследование процессов изнашивания и контроль износа пар трения в эксплуатации для определения технического состояния объектов диагностирования.
7. Трибодиагностика, физические и физико-химические методы	
Рентгенографический. Снятие «реплик» с поверхностей трения (искусственных баз). Физические: Эмиссионная спектрометрия. Атомарно-абсорбционная спектрометрия. Атомарно-флуоресцентная спектрофотометрия. ИК- и УФ-спектроскопия. Абсорбционная спектрофотометрия. Прямое фотометрирование. Электрооптический метод. Микроскопия. Светорассеивание. Поточная ультрамикроскопия. Феррография. Магнитометрия. Метод ядерного магнитного резонанса. Нейтронно-активационный анализ. Акустический анализ. Физико-химические: Седиментометрия. Поляграфия. Плотнометрия.	Исследование процессов изнашивания, разработка бортовых и стационарных систем диагностики, изнашивание и прогнозирование остаточного ресурса. Эксплуатационная диагностика.
8. Методы контроля состояния работающих масел	
Стандартные методы определения (группы методов). Вязкостно-температурных свойств. Срабатываемости. Загрязнения масла. Диэлектрических показателей.	Стандартные показатели: - кинематическая вязкость; - щелочное и кислотное число; - коксуемость; - содержание воды; - водородный показатель; - угар масла; - оптическая плотность; - диспергирующая способность; - состав продуктов износа; - диэлектрическая проницаемость.

Виды методов	Области применения
9. Виброакустические	
Спектральный анализ вибрации: - частотный анализ; - спектральный анализ; - анализ ударных импульсов; - кепстральный анализ; - анализ спектра вибрации по огибающей; - фазовое сравнение сигналов вибрации; - амплитудно-временной анализ сигналов вибрации; - корреляционный анализ взаимных спектров вибрации; - определение акустической эмиссии; - статистический анализ вибрационных характеристик; - модуляция вибрационных процессов; - амплитуда вибрации пик-фактора; - величина эксцесса; - резонансная частота узла (детали), механизма, газовых и гидравлических потоков; - сопоставление спектров.	Исследование динамических характеристик конструкции, технологий производства и технического состояния двигателей в эксплуатации. Высокая информационность вибрационных сигналов на изменение, структурных, функциональных и динамического состояния машин. Высокая универсальность, чувствительность и избирательность вибрационного сигнала к параметрам механических, гидравлических, газо- и аэродинамических, электрических и магнитных систем. Большой объем информации в одном измерении вибрации, высокая скорость диагностирования, позволяющая автоматизировать контроль технического состояния. Нормирование вибрации для контроля уровня проектирования, качества изготовления и эксплуатации.
10. Энергетические и гидрогазодинамические методы	
Механический КПД. Индикаторные показатели (мощность, КПД, расход топлива). Эффективная мощность (измерение мощности тормозным, бестормозным полным и дифференциальным методами). Неравномерность работы цилиндров. Скорость и неравномерность вращения коленчатого вала. Компрессионные свойства цилиндров. Внутрицикловое изменение (колебание) угловой скорости коленчатого вала. Изменение крутящего момента и угловой скорости вала по углу поворота при равномерной работе цилиндров. Амплитудно-фазовые параметры (осциллограммы) изменения напряжения, тока, сопротивления в первичной и вторичной цепях (переходных процессов) зажигания, давления в цилиндрах. Температура отработавших газов, соответствующая определенным рабочим тактам и порядку работы цилиндров.	Диагностика ЦПГ, КШМ, элементов топливной системы (насосов, гидравлического аккумулятора, форсунок, системы сгорания и расхода топлива). Доводка конструкции двигателей до заданных технических характеристик, оценка качества ремонта и эксплуатации отдельного двигателя и в составе транспортного средства.

Виды методов	Области применения
10. Энергетические и гидрогазодинамические методы (продолжение)	
Величины пульсации давления газовой воздушной среды во впускном и выпускном коллекторах и топлива в трубопроводах высокого давления. Осциллограммы скорости нарастания давления топлива в гидравлическом аккумуляторе, давления, создаваемого ТНВД, и пульсация давления в топливной системе. Расход топлива в линиях подачи и обратного слива.	
11. Диагностирование гидроприводов и гидросистем. Контроль жидкостей	
Статопараметрический. Амплитудно-фазовых и переходных характеристик. Термодинамический. Спектральный анализ и индикация инородных примесей. Силовой метод. Акустический. Виброакустический. Скорость нарастания усилия. Кинематический по скорости перемещения исполнительного элемента (сопоставления и наложения осциллограмм (эталонных). Тепловой. Состояния рабочей жидкости. Ферромагнетизм.	Диагностика гидроприводов, гидросистем и отдельных элементов (насосов, топливных систем, систем охлаждения двигателя). Диагностика рабочих процессов в гидросистемах подачи и сгорания топлива. Распознавание источников нестабильных режимов работы двигателя (провалов, рывков, подергивания, вялого разгона).
12. Контроль электрических и электронных систем управления рабочими процессами	
Контроль достоверности максимальных и минимальных значений напряжения, тока, сопротивления, формы, уровня, периодичности и длительности сигнала, амплитуды и частоты входных и выходных сигналов датчиков систем управления. Распознавание сбоев и собственных шумов. Выявление связи между контролируемыми параметрами и характеристиками диагностических систем, определяющих техническое состояние. Факторный анализ определения статистической связи показателей качества диагностической системы. Математическое моделирование. Экспертные оценки номенклатуры контролируемых параметров. Оптимальный выбор контролируемых параметров. Алгоритмы и программы контроля и диагностирования. Тестовое, функциональное и комбинированное диагностирование.	

Все процессы диагностирования неразрывно связаны с использованием интеллектуальных и инструментальных методов. При этом первостепенную роль в диагностировании играют интеллектуальные методы, включая необходимость получения диагностом больших объемов знаний по объекту диагностирования, выбора средств и алгоритмов диагностирования. Особое значение интеллектуальных методов проявляется на этапах разработки диагностического обеспечения и устранения сложных неисправностей и отказов. В первую очередь необходимы знания конструкции и рабочих процессов, типовых дефектов и неисправностей, их диагностических параметров, методов и средств их диагностирования. Описанию таких знаний посвящены работы [9, 12, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 29, 30, 32, 33].

Теоретические исследования включают в себя:

- анализ физической сущности процессов и явлений;
- разработку физической модели;
- проведение математического исследования;
- анализ теоретических решений.

На их основе выводят практические следствия и определяют способы их реализации, разрабатывают алгоритмы и программы, оценивают полезный эффект.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности формальные задачи. Логика не приводит к открытиям, но она абсолютно необходима при проверке самых блестящих озарений и опровержении чужих мнений, формальной проработке и описании результатов, а поэтому должна входить в арсенал каждого ученого, каждого диагноста.

На теоретическом уровне используют логические методы подобности, отличности, сопутствующих изменений, логический анализ собранных фактов, выработки понятия, предположения, делают выводы. Осознанное (правильное) использование приведенных в табл. 6.2 интеллектуальных методов необходимо рассматривать как основное условие получения новых знаний и успешное решение проблемы. Эти методы не могут, например, заменять творческую мысль человека (исследователя), его способность анализировать, делать выводы и допущения. Но использование правильных методов направляет движение мысли человека, открывает перед ними кратчайший путь для достижения цели и обеспечивает, таким образом, возможность рационально расходовать энергию и время.

Эвристический метод базируется на знании причинно-следственных связей между основным функциональным звеном и их обобщенными диагностическими параметрами. Минимальной необходимой информацией при этом является описание функциональной модели объекта диагностирования и логическая алгоритмизация процесса распознавания.

Эвристическими считаются методы решения особо сложных задач диагностики (исследований), для которых нельзя точно очертить границы применимости и оценить возможные ошибки. Эвристика обычно используется для сокращения перебора вариантов решения, активизации и синхронизации знаний и операций поиска дефектов и неисправностей, направле-

ния и регулирования поиска решения. Эвристические операции являются разновидностью мышления.

Интеллектуальные методы в эксплуатации машин включают, прослушивание, осмотр, проверку прикосновением и обонянием, анализ многочисленной эксплуатационной информации и принятие решений. Прослушиванием выявляют места и характер ненормальных стуков, шумов, перебоев в работе двигателя, отказов в силовой передаче и ходовой части (по шуму), неплотности (по шуму воздуха, который прорывается) и т. п. Осмотром устанавливают места подтекания воды, масла, топлива, цвет отработавших газов, задымления из сапуна, биения вращающихся частей, натяжения цепных передач и т. п. Прикосновением определяют места и степень ненормального нагрева, биения, вибрации деталей, вязкость, липкость жидкости и т. п. Обонянием обнаруживают по характерному запаху неисправность сцепления, вытекание бензина, электролита, подгорание проводников электричества и т. п.

На практике применяемые методы диагностирования разделяют на выполняемые в плановом, регламентированном, внеплановом и заявочном порядке. Плановым диагностированием решают задачи проверки работоспособности, а также определения остаточного ресурса агрегатов и машины в целом. С этой целью из всей совокупности диагностических параметров выделяют обобщенные, которые обязательно измеряют во время технического обслуживания. Среди обобщенных есть группа ресурсных диагностических параметров, достижение которыми предельных значений, обуславливает ремонт объекта диагностирования. К таким ресурсным параметрам относятся объем газов, прорывающихся в картер, коэффициент расхода жидкости гидропривода коробки передач и др. (см. п. 2-12 в табл. 6.2).

Физические методы основаны на использовании различных физических явлений, сопутствующих работоспособному или неработоспособному состоянию объекта.

По физической сути методы диагностирования разделяются на энергетический, пневмогидравлический, кинематический, тепловой, виброакустический, электромагнитный, оптический, радиоактивный и др. Каждый метод предназначен для контроля определенного физического процесса и основан на применении определенного физического явления. Классификация по физической сущности дает возможность обнаружить техническую характеристику конкретного метода диагностирования. Физический процесс характеризуется изменением физической величины по времени. В основе энергетического метода лежит физическая величина – сила, мощность; пневмогидравлического – давление; кинематического – перемещение, ускорение, скорость; теплового – температура, количество тепла; виброакустического – амплитуда колебаний на определенных частотах. Изменение физического процесса можно наблюдать по изменению физической величины во времени (или в зависимости от пути), то есть по двум координатам (рис. 6.4).

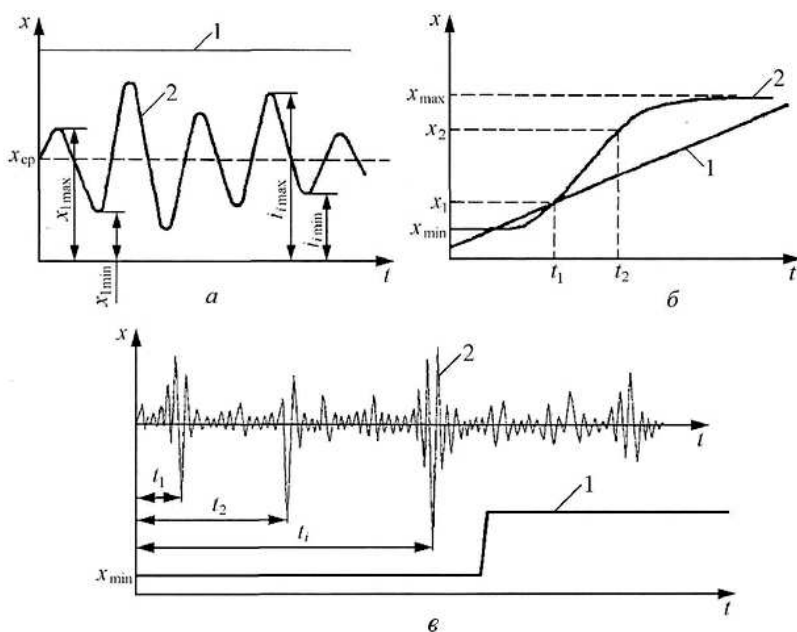


Рис. 6.4. Характер изменения параметров физических процессов:

а – стационарный (1) и пульсирующий относительно среднего значения (2); *б* – медленно- (1) и быстротекущий (2); *в* – скачкообразно изменяемый (1) и в виде виброакустического сигнала (2)

В зависимости от характера связи физической величины с техническим состоянием объекта диагностирования, удобства измерения и других факторов, диагностическим параметром может быть характеристика процесса в заданном интервале времени: минимальное, максимальное, мгновенное, среднее, среднеквадратичное значение физической величины, ее скорости, ускорения. Естественно, что наряду с этими характеристиками диагностическим параметром может выступать и время (вторая координата) достижения величиной заданного значения. При этом сам физический процесс остается без изменений. Изменяется лишь измеряемая характеристика – диагностический параметр.

Для измерения избранного диагностического параметра применяют различные первичные измерительные преобразователи, на которые влияет физическая величина. Он превратится в другую физическую величину, удобную для измерений или наблюдения, то есть входной сигнал превратится в выходной (обычно электрический). Выходной сигнал, будучи отображением входного, то есть первичной физической величины, содержит измеряемые характеристики. В результате проработки выходного сигнала измеряют, а затем регистрируют диагностические параметры.

Название метода обычно устанавливают именно по тому физическому процессу, который влияет на чувствительный элемент измерительного средства первичного элемента в измерительной цепи (давление жидкости – на мембрану; увеличение силы – на рычаг весового механизма; повышение

температуры – на термопару; увеличение расстояния – на шток индикатора; колебание блока двигателя – на пьезоэлектрический элемент вибропреобразователя).

Физический процесс может нести информацию о рабочем процессе объекта диагностирования, поэтому он может иметь несколько диагностических параметров, которые отображают работу и состояние отдельных составных частей объекта. Например, физическая величина – давление в трубопроводе высокого давления системы питания (рис. 6.5).

Во время работы двигателя это давление изменяется. Физический процесс его изменения за период T может иметь восемь диаг-

ностических параметров, которые характеризуют работу и состояние основных деталей топливной аппаратуры.

Состояние деталей топливной аппаратуры дизельного двигателя можно определить пневмогидравлическим методом диагностирования с использованием электронной аппаратуры и вмонтированного в топливопроводе миниатюрного первичного измерительного преобразователя давления.

По скорости изменения физической величины во время измерения все методы разделяются на диагностирование с медленно меняющимися и быстро меняющимися физическими процессами. В медленно меняющемся процессе постоянно измеряют физическую величину, которая непрерывно изменяется. К таким величинам относятся все структурные параметры, а также большинство характеристик рабочих и вспомогательных процессов, когда определяются средние значения рабочих параметров: производительность, усилие сжатия, мощность во время торможения при установившемся режиме, расход топлива. В большинстве известных неавтоматизированных средствах диагностирования реализованы методы измерения параметров медленно меняющегося физического процесса с периодом изменения от нескольких секунд до десятков минут. При быстро меняющемся физическом процессе скорость изменения диагностического параметра является очень высокой – от доли миллисекунды до нескольких секунд. К таким физическим процессам можно отнести виброакустические, процессы изменения углового ускорения коленчатого вала, вала силовой передачи во время разгона или остановки, давления топлива, масла. Методы диагностирования быстро меняющегося физического процесса реализуют с помощью электронных средств диагностирования.

Для измерения определенного диагностического параметра необходим соответствующий способ обработки выходного сигнала для заданного режима работы объекта диагностирования. В одном случае нужно измерять

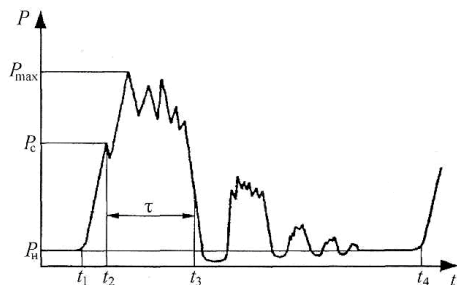


Рис. 6.5. Характер изменения давления в топливном трубопроводе дизеля в зависимости от длительности процесса:

P_{max} – максимального; P_c – среднего; P_n – номинального; t_1 – t_4 – моменты соответствующих значений давления; τ – длительность впрыскивания

среднее, в другом – максимальное значение физической величины, а в третьем – момент достижения заданного значения. В связи с этим в каждом методе используется несколько способов диагностирования.

Методы диагностирования подразделяют на механические, электрические, электронные. Реализующие их средства технической диагностики бывают с ручным и программным управлением, автоматизированные и автоматические.

При выборе метода диагностирования важное значение имеет его назначение (для комплексной оценки технического состояния машины или для углубленного диагностирования, направленного на локализацию и устранение выявленной неисправности или отказа), точность диагноза, число диагностируемых машин и т. д.

Оптимальным является метод диагностирования, обеспечивающий минимум суммарных издержек на единицу наработки машины (исключение составляют методы, обеспечивающие дополнительные требования к условиям безопасности работы и безотказности).

6.5.2. Интеллектуальные методы

Интеллектуальные методы диагностического обеспечения являются основными в творческом процессе проектирования, конструирования, доводки, создания программного обеспечения и эксплуатационной документации.

В процессе творческой деятельности человеку приходится совершать определенные виды мыслительной работы, пользоваться теми или иными канонами логики, использовать методы и приемы системного анализа, оценивать и измерять полученные результаты, сравнивать их с ранее полученными результатами, сопоставлять с известными аналогами и прототипами.

К методам теоретических исследований и диагностирования автомобиля относятся: анализ и синтез кинематических, рабочих и физических процессов, дедукция и индукция, аналогия, абстрагирование, моделирование, формализация, идеализация, метод восхождения от абстрактного к конкретному, ранжирование, мнимый эксперимент, классификация, эксперимент, сравнение, методы математической статистики, обобщение, испытание, морфологический анализ, аксиоматический, исторический, гипотетический методы [21, 25].

В механических и электронных системах основное назначение диагностики – повышение надежности и ресурса изделий с помощью раннего обнаружения дефектов, оптимизации рабочих процессов и технического обслуживания. Однако даже такие совершенные системы диагностирования не способны адаптироваться к изменению внешних условий и внутреннего состояния объекта диагностирования.

Все возрастающая роль автоматических и автоматизированных систем диагностирования в обеспечении управления рабочими процессами, безопасности машин и прогнозирования их остаточного ресурса требует значительного совершенствования систем диагностирования. Поэтому в настоя-

щее время особое внимание уделяется рассмотрению нейросетевых методов моделирования многомерных зависимостей как весьма перспективному направлению искусственного интеллекта. Интеллектуальная диагностика может решать обширный круг задач, которых являются смежными с задачами других научных дисциплин (см. рис. 3.4), однако теория и методы создания интеллектуальных систем еще не построены.

Интеллектуальная диагностика представляет собой совокупность средств, позволяющих строить надежные и адекватные модели диагностируемых сложных технических объектов и процессов по экспериментальным данным, обладающие при этом низкой избыточностью, высокой эффективностью и способностью адаптироваться к изменениям во внешней и внутренней средах диагностируемого объекта (процесса), что достигается обучением (переобучением).

Инструментальным базисом для осуществления интеллектуальной диагностики является теория распознавания образов и методы нейроинформатики.

Интеллектуальная диагностика сложных электронных систем представляет собой систему, которая должна иметь информационное, техническое и математическое обеспечение.

Основной задачей интеллектуальной диагностики является быстрое распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Теоретическим фундаментом для решения основной задачи интеллектуальной диагностики следует считать общую теорию распознавания образов. Эта теория, составляющая важный раздел технической кибернетики, занимается распознаванием образов любой природы (геометрических, звуковых и т. п.), машинным распознаванием речи, печатного и рукописного текстов и т. д. Интеллектуальная диагностика изучает алгоритмы распознавания применительно к задачам диагностики, которые обычно могут рассматриваться как задачи классификации.

Теория распознавания содержит разделы, связанные с построением алгоритмов распознавания, решающих правил и диагностических моделей.

Алгоритмы распознавания в технической диагностике частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений (решающие правила). Решение диагностической задачи (отнесение изделия к исправным или неисправным) всегда связано с риском ложной тревоги или пропуска цели. Для принятия обоснованного решения целесообразно привлекать методы теории статистических решений, разработанные впервые в радиолокации.

Решение задач диагностики всегда связано с прогнозированием надежности на ближайший период эксплуатации (до следующего технического осмотра). Здесь решения должны основываться на моделях отказов, изучаемых в теории надежности.

Вторым важным направлением диагностики является теория контро-
леспособности.

Процесс интеллектуальной диагностики в общем случае состоит из
ряда этапов, выполнение которых позволяет получить математическую мо-
дель объекта или процесса, необходимую для осуществления diagnosti-
ческих мероприятий.

Укрупненная схема процесса интеллектуальной диагностики пред-
ставлена на рис. 6.6. На схеме изображены только те этапы, автоматизация
которых является возможной на данном этапе развития науки и техники.
Рассмотрим процесс диагностики по этапам.

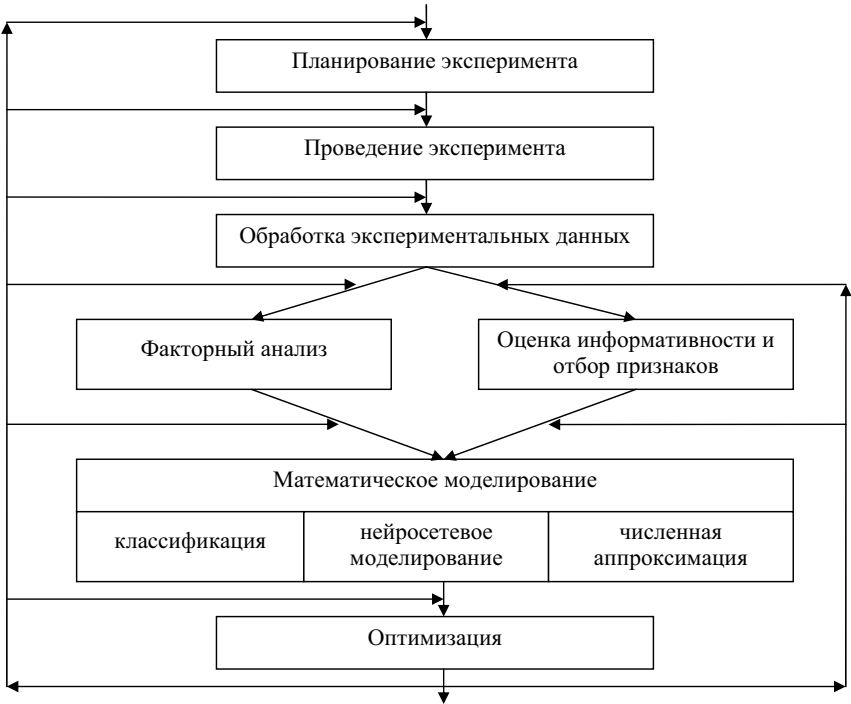


Рис. 6.6. Схема процесса интеллектуальной диагностики

Этап построения априорной концептуальной модели объекта (процес-
са) необходим для получения начальной (предварительной) информации о
любом объекте (процессе). Этот этап поддерживается теорией подобия, ука-
зывающей целесообразную структуру параметров модели, и теорией анало-
гий, изучающей связь моделей физических систем различных видов. От-
дельные вопросы концептуального моделирования встречаются в теориях
геометрических, динамических, статистических измерений, идентификации,
планирования эксперимента. Однако в целом теория такого моделирования
не построена.

Особое внимание уделяется возможности описания одних и тех же
объектов моделями разного вида; связям между моделями, описывающими

различные стороны объекта; использовании человеком иерархий моделей, различающихся степенью наглядности (и вообще понятие наглядной модели); дуализму между структурой модели и ее параметрами; классам моделей, присущих тем или иным видам познавательных процедур; общему подходу к неопределенности моделей.

В результате выполнения этапа построения априорной концептуальной модели объекта должен быть получен перечень параметров, предположительно характеризующих данный объект, а также для каждого из параметров должен быть известен тип (целое число, вещественное число, качественный показатель и т. п.) и по возможности границы диапазона значений.

После получения априорной концептуальной модели объекта (процесса) необходимо ее конкретизировать для получения математического описания объекта – его математической модели. Сделать это можно, выполнив некоторую познавательную процедуру. Все познавательные процедуры, требующие обращения к объекту познания, должны включать функцию, которую обычно называют восприятием, хотя с точки зрения биологической аналогии правильнее говорить о рецепции. В технике рецепция – это реализация некоторого процесса, общего для объекта и технической системы, несущего необходимую информацию об объекте.

Во многих случаях для осуществления рецепции требуется активное воздействие на объект – его стимуляция или, по крайней мере, задание условий его функционирования (факторов).

6.5.3. Инструментальные методы

6.5.3.1. Прямые и косвенные методы

Основу инструментальных методов составляют методы эмпирических исследований. Они широко применяются на стадиях разработки систем диагностирования всех стадий жизненного цикла машин.

Возникновение потребности в объективной и достоверной информации, получаемой посредством инструментальных методов контроля, объясняется действием на автомобильном транспорте двух важных факторов – усложнением автомобильной техники и стремлением обеспечить поддержку работоспособности автомобилей.

Современный автомобиль, многоконтурная тормозная система, рулевое управление с гидроусилителем, многоступенчатая коробка передач и другие прогрессивные конструктивные решения обеспечили, с одной стороны, высокую эффективность использования этих автомобилей, с другой – резко усложнили организацию ТО и ремонта, обусловили создание прогрессивных методов их технической эксплуатации, в частности, методов технического диагностирования.

Большое разнообразие разработанных методов диагностирования можно классифицировать на прямые и косвенные, выполняемые органами чувств человека и инструментальные (табл. 6.2). Инструментальные методы

можно классифицировать по виду контролируемых физических процессов и принципу работы. В ряде литературных источников, в отличие от нашего обозначения (см. табл. 6.2), значения конструктивных параметров обозначены как Y_i , а диагностические параметры – как S_i .

Прямые параметры непосредственно характеризуют техническое состояние объекта. Однако конструктивные параметры в большинстве случаев не поддаются прямому измерению без разборки узла или агрегата. А сама разборка является нежелательной, так как каждая разборка нарушает взаимное положение приработанных деталей и приводит к сокращению остаточного ресурса на 25-40% и более.

Для этого о значениях конструктивных показателей при диагностировании судят по косвенным признакам проявления технического состояния без разборки, косвенной мерой которых являются диагностические параметры. По косвенным параметрам судят о состоянии объекта на основании корреляционных связей этих показателей с показателями технического состояния.

На практике прямой и диагностический методы взаимодействуют и дополняют друг друга. Необходимо уметь определить рациональные сферы их использования. Главным критерием выбора метода является сравнение суммарных расходов на предупреждение, обнаружение и устранение отказов и неисправностей, при использовании прямых и диагностических методов контроля технического состояния, а также длительность процедуры.

Независимо от применяемого метода получения данных о техническом состоянии объекта постановка диагноза производится на основании логической обработки полученной информации путем сопоставления текущих значений параметра с нормативными.

На основании проведенных эмпирических исследований разрабатывают методы диагностирования, которые, исходя из установленных задач, должны включать:

- диагностическую модель машин;
- алгоритм диагностирования и программное обеспечение;
- правила измерения диагностических параметров;
- правила определения структурных параметров;
- правила анализа и обработки диагностической информации и принятие решения.

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

6.5.3.2 Методы диагностирования по рабочим, сопутствующим и структурным параметрам

1. Метод диагностирования по параметрам рабочих процессов.

Техническое состояние устанавливается по динамике изменения параметров, например, по изменению давления впрыска топлива, по времени разгона до заданной скорости, времени до полной остановки при торможении

и т. д. Такие показатели непосредственно характеризуют состояние агрегатов и узлов транспортных машин (см. рис. 6.2). Измеряемые этим методом параметры образуют множество внутренних параметров и множество выходных параметров объекта диагностирования.

Методы этой группы базируются на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля, определении при заданных условиях выходных параметров и сравнении их количественных значений с эталонными. Диагностирование проводится с использованием стендов с беговыми барабанами или непосредственно в процессе работы автомобиля. Методы широко применяют для общей оценки технического состояния автомобилей и агрегатов.

Методы диагностирования по параметрам рабочих процессов дают возможность проверять исходные параметры транспортных средств (мощность, экономичность, производительность, качество работы) и силовые рабочие характеристики его составных частей (фазовые параметры топливоподачи и газораспределения, давление, скорость перемещения, расхода и т. п.). Точность измерения этих параметров достаточно высока, потому что преимущественно осуществляют прямое измерение контролируемой физической величины

2. Методы диагностирования по параметрам сопутствующих процессов. При этом анализируются показатели, косвенно влияющие на работу узлов и агрегатов транспортных машин, например, тепловое поле, шумы, виброакустические процессы и т. д. Измеряемые этим методом параметры образуют подмножество внутренних параметров (см. рис. 6.3).

Методы диагностирования по параметрам сопутствующих процессов дают возможность определять те же параметры рабочих процессов, а также структурные параметры деталей и сопряжений, которые нельзя или нецелесообразно измерять непосредственно. В этом случае измеряют также показатели генерирующих процессов внешними средствами диагностирования. Это процессы вибрации и шума, нагревания, охлаждения, разгона и остановки вращающихся частей, нарастание или спад давления масла и воздуха в момент пуска и остановки механизмов, образование загрязняющих веществ. Точность такого измерения диагностического параметра ниже, чем во время диагностирования по параметрам рабочих процессов.

К методам диагностирования по параметрам сопутствующих процессов относятся следующие:

- методы диагностирования по герметичности рабочих объемов. Сущность процесса диагностирования заключается в создании в контролируемом объеме избыточного давления (или разрежения) и в оценке интенсивности его снижения. Таким методом диагностируют цилиндропоршневую группу двигателя, пневматические приводы тормозов, плотности прилегания клапанов и др.;

- тепловой метод – заключается в определении параметров, характеризующих количество теплоты, выделяемой в результате протекания процессов сгорания, работы сил трения при заданных скоростном и нагрузочном режимах. Такими параметрами могут быть температура нагрева, скорость ее

изменения. Метод может применяться для диагностирования двигателя, агрегатов трансмиссии, подшипниковых узлов, однако широкого применения на автомобильном транспорте пока не нашел;

- методы диагностирования узлов, систем по параметрам колебательных процессов. Методы широко используют при создании средств технического диагностирования автомобилей; их можно разделить на методы оценки колебаний напряжения в электрических цепях (на этой основе созданы мотор-тестеры), параметров виброакустических сигналов, получаемых при работе зубчатых зацеплений, клапанных механизмов, подшипников и т. д.; пульсации давления в трубопроводах (на этой основе созданы дизель-тестеры для диагностирования дизельной топливной аппаратуры);

- методы, оценивающие состояние узлов и агрегатов по физико-химическому составу отработавших эксплуатационных материалов. Например, простейший экспресс-анализ отработавшего масла на загрязнение, спектральный анализ проб масел, в результате проведения которого по наличию и концентрации различных химических элементов в масле можно установить работоспособность отдельных узлов и сопряжений агрегата. Если в пробе картерного масла двигателя наличие высокого содержания свинца, то имеет место износ вкладышей шатунных и коренных подшипников; если высокое содержание железа – износ гильз цилиндров; если высокое содержание кремния – засорение воздушного фильтра и т. д.

3. Метод диагностирования по структурным (геометрическим) параметрам, непосредственно характеризующим состояние узлов и агрегатов транспортных машин (см. рис. 6.3).

Эта группа методов основывается на объективной оценке геометрических параметров (зазор, люфт, свободный ход, смещение и т. д.). Метод применим, когда указанные параметры легкодоступны для непосредственного измерения.

Техническое состояние устанавливается по зазорам в сопряжениях, значениям регулируемых параметров и т. д. Согласно классификации параметров диагностирования измеряемые этим методом параметры образуют подмножество внутренних и выходных параметров.

Эти методы применяют для измерения износа шин, шкивов, зазора в сопряжениях и т. п. В основе этих методов лежит измерение геометрических параметров, взаимного размещения или размеров деталей на автомобиле, который не работает.

По режиму работы объекта диагностирования можно выделить методы диагностирования на устоявшемся, переходном и динамическом режимах работы. Диагностирование на устоявшемся режиме выполняют для объекта диагностирования, который работает на стационарном режиме при постоянной скоростной, температурной и силовой нагрузке. Диагностирование на переходном режиме работы применяют для измерения параметра в нестационарных условиях (разгон, выбег, резкое торможение, снятие нагрузки, прогревание, охлаждение и т. п.).

Автоматический поиск и локализация неисправностей относятся к автоконтролю, так как при этом устанавливается представление между со-

стоянием объекта контроля и заданной нормой. В системах автоконтроля устанавливался только факт работоспособного и неработоспособного состояний (параметры в норме или за пределами нормы). Состояние объекта контроля определяются путем формального применения алгебры логики.

Для поиска неисправностей применяются методы: последовательный, комбинационный и различные сочетания последовательно-комбинационного метода, в соответствии с которыми разрабатывается программа поиска.

Последовательный метод. Последовательный метод заключается в таком построении процедуры поиска неисправностей, при котором информация о состоянии отдельных функциональных элементов вводится и логически обрабатывается последовательно. Реализация метода заключается в основном в определении очередности контроля выходных параметров функциональных элементов. Программа поиска при этом может быть жесткой или гибкой. По жесткой программе контроль выходных параметров функциональных элементов осуществляется в заранее определенной последовательности. В отличие от этого по гибкой программе содержание и порядок последующих проверок зависят от предыдущих результатов. Такая программа требует более сложной логической обработки результатов контроля и применяется в комплексе с более производительными ЭВМ.

Системы для автоматического поиска неисправностей относят к отдельному классу систем технической диагностики, то есть они отличаются более сложной логической частью, реализующей способы поиска неисправностей. Включение датчиков и структура системы технической диагностики в остальном существенно не отличаются от систем автоконтроля или от измерительных систем.

Комбинационный метод. Данный метод требует более сложной обработки, так как вначале вводятся все результаты контроля параметров, а затем они логически обрабатываются.

Для реальных систем возможно большое разнообразие программ поиска неисправностей, требуются большой объем исходной информации о состоянии объектов контроля и сложная логическая обработка результатов контроля. Поэтому разработаны приближенные способы построения оптимальных программ поиска неисправностей. Эти программы, в основном, представляют собой многошаговый процесс поиска с выбором на каждом шаге лучшего варианта по экстремуму заданной функции предпочтения.

Перечислим некоторые распространенные способы построения программ поиска неисправностей (рис. 6.6):

- способ последовательного функционального анализа;
- половинного разбиения;
- «время-вероятность»;
- с применением информационного контроля;
- построения программ методом ветвей и границ;
- построения программы поиска по иерархическому принципу;
- инженерный.

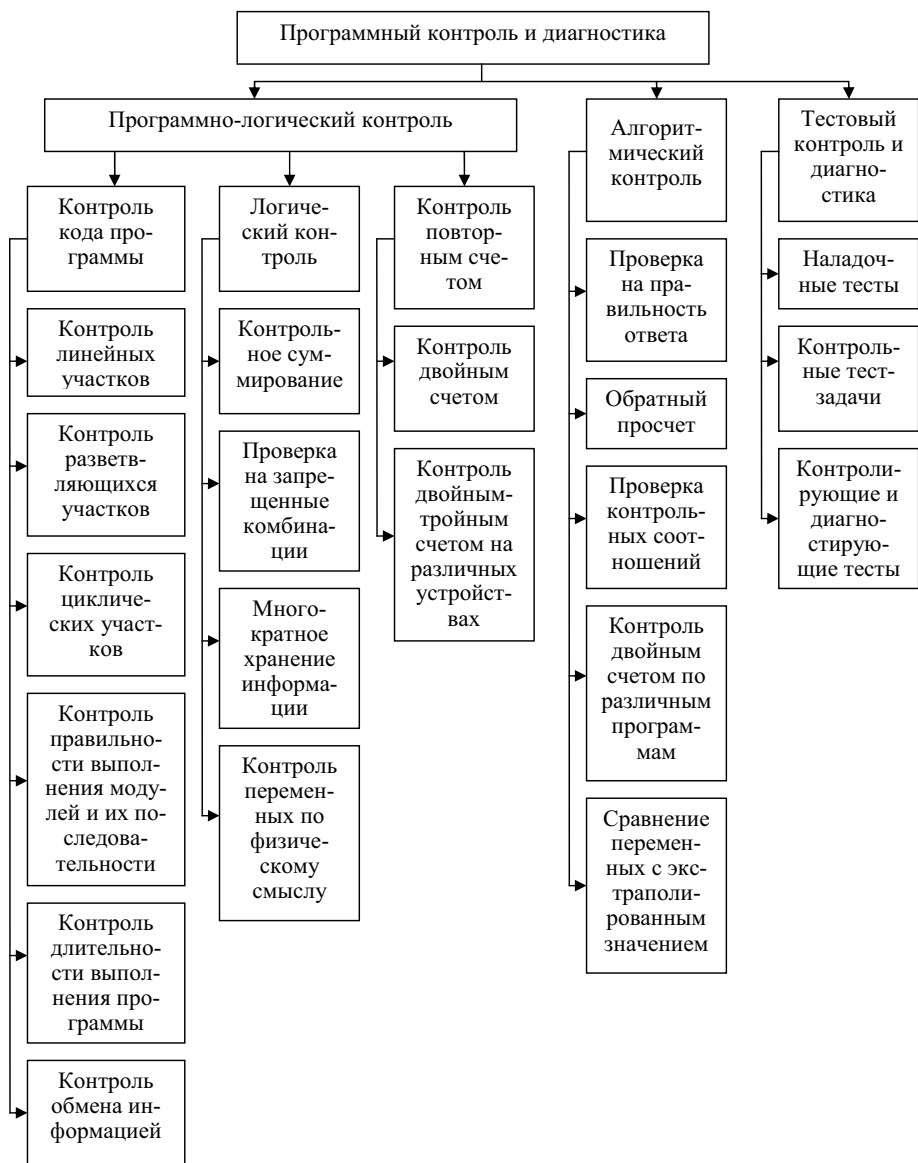


Рис. 6.6. Классификация программно-логических методов контроля и диагностирования

Способ последовательного функционального анализа был одним из первых способов построения программ поиска неисправностей. Прежде всего при этом способе определяются основные функции:

- генерирование сигналов на выходе устройства;
- прием и преобразование сигналов;

- отображение сигналов;
- управление;
- электропитание и др.

Выполнение этих функций позволяет считать, что и все устройство выполняет поставленные перед ним задачи.

Контроль работоспособности всего устройства зависит от контроля за выполнением всех перечисленных функций. Для этого выбирают и контролируют параметры, от которых зависит выполнение основных функций. И если одна из перечисленных функций не выполняется по одному из контролируемых параметров, возникает задача поиска неисправностей. При этом параметр, вышедший за границы допусков, рассматривается как функция других аргументов. Схему поиска неисправностей называют **деревом функций**.

Применение комбинационных методов всегда целесообразно для поиска неисправностей сложных узлов и агрегатов с известными функциональными или структурно-следственными связями, а статистический материал по надежности элементов существенно упрощает организацию поиска.

Однако применение комбинационных методов для поиска неисправностей в относительно простых узлах автомобиля с малой разветвленностью структурно-следственных связей не может дать преимуществ, и здесь следует отдать предпочтение последовательным методам поиска неисправностей.

Дедуктивный метод работает непосредственно со списком неисправностей, проверяемых на данном входном наборе. Метод основан на анализе логической зависимости значений сигналов на данном входном наборе от присутствия неисправностей.

Подробное описание всех методов диагностирования автомобилей приведено в работах [21, 25].

В настоящее время продолжают исследования и разработки новых и совершенствование имеющихся методов диагностирования усложняющихся конструкций автомобилей, изменяющейся элементной базы микроэлектроники и микропроцессорной техники и применения ресурсосберегающей технической политики на транспорте.

Контрольные вопросы

1. Какие объекты машин требуют первоочередного диагностирования?
2. Приведите примеры непрерывных дискретных и гибридных элементов диагностирования.
3. Дайте характеристику объектов и режимов диагностирования, приведенных на рис. 6.2.
4. Какая необходимость в разделении объектов диагностирования?
5. Какие правила назначения контрольных точек?
6. Какая необходимость назначения режимов диагностирования?
7. Какой режим работы машины называют установившимся?
8. Приведите примеры неустановившихся режимов.
9. Назовите три группы критериев предельного состояния элементов машины.

10. Приведите примеры методов диагностирования по геометрическим параметрам.
11. Какие существуют методы диагностирования по выходным параметрам эксплуатационных свойств машины?
12. Какие методы исследований в диагностике относятся к теоретическим?
13. Приведите примеры физического моделирования режимов диагностирования.
14. Какие области применения интеллектуальных методов в исследованиях диагностики?
15. Какие существуют прямые и косвенные инструментальные методы контроля и диагностирования машин?
16. Приведите примеры методов диагностирования по параметрам рабочих процессов.
17. Какие известны методы диагностирования по сопутствующим процессам?

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЙ МАШИН, ТРЕБУЮЩИХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

7.1. Причины появления дефектов, неисправностей и отказов

Изучение видов дефектов, неисправностей и отказов – необходимый этап диагностического обеспечения машин. По результатам доводки машин в лабораторных, производственных условиях и серийного выпуска машин составляют карты неисправностей, виды дефектов, алгоритмы распознавания неисправностей, нормирование диагностических параметров и требования к назначению и разработке средств диагностирования. Знание видов дефектов, неисправностей и отказов позволяет встроенной системе или диагносту выявлять и распознавать причины их появления. Изучение неисправностей и отказов машин – обязательный этап обучения диагностике. Поэтому на стадии проектирования диагностического обеспечения необходимо убедиться в правильности назначения признаков неисправностей и отказов. Это позволяет с большой достоверностью определять границы объема поисков, что особенно важно в диагностике отказа. [22, 29]

По причине возникновения неисправностей повреждений и отказов различают конструктивные, возникающие вследствие нарушения или несовершенства технологического процесса изготовления или ремонта; эксплуатационные – вызванные нарушением действующих правил, например, перегрузкой автомобиля, несвоевременным проведением ТО (рис. 7.1, 2.5).

Причина каждого дефекта и неисправности машины обусловлена объективными (система знаний, технология, среда) или субъективными факторами.

Конструктивный отказ – это отказ, возникающий по причине наличия дефекта, обусловленного несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования (несовершенством замысла и творческого решения, воплощенных в техническом задании, ошибкой и др.).

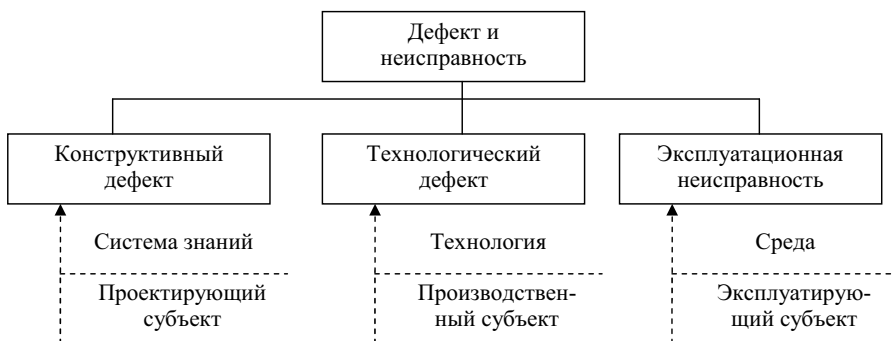


Рис. 7.1. Классификация дефектов и неисправностей по критерию «внешние причины»

Например, причиной дорожно-транспортного происшествия может быть отказ рулевого управления, произошедший из-за облома (поломки) сошки или рулевой тяги. Причинами дефектов этих деталей могут быть:

- несовершенство конструкторских решений (выбора формы и размерных параметров);
- неправильный выбор материала;
- нарушение установленной технологии изготовления, следствием чего может быть или несоответствие свойств материала, или нарушение целостности (например, микротрещина).

В силу различных обстоятельств эти дефекты могут быть не выявлены в процессе производства и в последующем сыграть отрицательную роль в функционировании машины. При их рассмотрении следует исходить из учета главного – образовались эти дефекты в процессе производства (изготовления или ремонта) или до производства.

Основные внутренние источники дефектов или неисправностей закладываются при проектировании, обуславливаются технологией производства, а внешне определяются условиями и режимами эксплуатации (см. рис. 2.5, 7.2). Эти недостатки конструкций, технологий производства и эксплуатации действуют не отдельно, а совместно. Результаты такого энергетического воздействия на машину в эксплуатации и определяют виды протекающих процессов, обуславливающие различные скорости изменений технического состояния (см. рис. 2.4, 2.10, 7.3). [7, 8, 10, 19]

Причинами дефектов проектирования машины могут быть следующие:

- неудачный выбор формы деталей, например, с концентраторами напряжений и резким изменением сечений;
- неудачный выбор материалов и их сочетаний;
- недооценка нагрузок и действующих сил;
- неучитывание возможных изменений нагрузок и действующих сил в процессе эксплуатации машины и т. д.

Производственный отказ – это отказ, возникающий по причине наличия дефекта, связанного с несовершенством или нарушением установ-

ленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии (см. рис. 2.5, 2.10).

Дефекты не всегда могут являться причинами отказов, но наличие дефекта (пусть даже не выявленного) всегда свидетельствует о неисправности объекта.

Причинами дефектов изготовления машины могут быть, например, неудачные допуски, использование бракованных деталей, нарушения технологии, неполнота контроля.

При рассмотрении производственных дефектов следует учитывать особенности дефектов ремонтного производства, схема классификации которых представлена на рис. 7.2.



Рис. 7.2. Схема классификации дефектов ремонтного производства

К технологическим факторам, снижающим качество машины (узла) следует отнести: качество материала, термообработку деталей, используемое упрочнение, чистоту рабочих поверхностей, точность изготовления посадочных шеек, качество сборки, неэффективность контрольных операций применяемого оборудования и т. п. (рис. 4.2) [9].

К дефектам сборки относятся результаты нарушения требований технических условия на сборку, несоосностей, перекосов, параметров регулировок, например. нарушение плоскостей ости корпуса карбюратора в результате неравномерного усилия или превышения усилия затяжки резьбовых соединений; нарушение баланса масс деталей шатунно-поршневой группы двигателя в результате несоблюдения правил их селективной сборки; установка крышки корпусной детали без требующейся прокладки и т. д.

Отказы могут возникать:

- из-за неправильно установленного пятна контакта конических зубчатых колес, когда возрастание нагрузок в процессе эксплуатации приводит к разрушению передачи;

- при смещении заданного положения зубчатой передачи относительно подшипников, что приводит к дополнительным нагрузкам, изгибу вала и разрушениям;

- при недостаточной фиксации подшипника на валу, натяга посадки.

Другая частая причина отказов – изменения конструкции или технологии, влияние которых на надежность машины трудно определяется при разработке и внедрении и проявляется в ходе эксплуатации машины. Например, небольшое изменение параметров фланкирования зубьев колес плане-

тарного редуктора усиливает динамические нагрузки в редукторе и его виброактивность.

К дефектам испытания относятся результаты нарушения правил испытаний, например, недопустимо быстрый износ трущихся поверхностей деталей двигателя (при горячем испытании), прошедшего ремонт, без проведения его холодной обкатки; повышенный износ, задиры рабочих поверхностей деталей, разбухание деталей из резины, а также неисправности агрегатов и систем, испытание которых проводилось с использованием недопустимых рабочих жидкостей.

Отсутствие конструктивных и производственных дефектов обуславливает заданную надежность автомобильной техники. В работе по обеспечению надежности машин важное место занимает обнаружение дефектов с учетом их деления на явные и скрытые.

К дефектам комплектующих относятся производственные и конструктивные дефекты новых запасных частей и сборочных единиц, подлежащих установке на машину при сборке. Эти дефекты должны обнаруживаться в процессе входного контроля технического состояния новых составных частей; к числу таких дефектов относятся и эксплуатационные неисправности деталей (наличие которых недопустимо по техническим условиям на ремонт), по каким-либо причинам признанных годными к дальнейшему использованию без восстановления и установленных в отремонтированный объект.

Под действием необратимых процессов старения изделие изменяет свои характеристики, что может стать причиной возникновения отказа.

Обычно отклонение характеристик изделия от установленных или требуемых значений связывают с понятием неисправность и повреждение.

Повреждение материала изделия – это отклонение его контролируемых свойств от их начальных значений, возникшее в результате процессов старения, отклонений от оптимальных методов получения заготовок и технологических процессов изготовления. Изделие с технологическим дефектом сразу непригодно для использования по назначению. В противоположность этому повреждение проявляется лишь в процессе эксплуатации и может через некоторый период времени привести к отказу [9]. Процесс старения может затрагивать весь объем материала детали, проявляться лишь в поверхностных слоях или при контакте двух сопряженных поверхностей. Разрушение материала детали приводит, как правило, к недопустимым отказам, поскольку оно носит лавинообразный характер и протекает с большой скоростью.

Неисправности и повреждения механизмов в эксплуатации возникают после некоторой наработки изделия в результате исходных дефектов металла, усталости металла деталей, коррозии, охрупчивания под действием радиации, изнашивания и т.д., а также неправильного технологического обслуживания в эксплуатации. В результате проявления многочисленных дефектов и неисправностей (см. рис. 7.2) в машинах действуют сложные деградационные процессы (рис. 2.4 [10]), трудно учитываемые расчетными методами.

К эксплуатационным факторам относятся: нагрузочный режим (передаваемая мощность, обороты, характеристики цикла нагружения при изгибе и кручении и внешняя динамика), условия смазки подвижных соединений, температурный режим, климатические и эксплуатационные условия, качество технического обслуживания.

Все перечисленные факторы описываются случайными процессами, однако в целях упрощения инженерных расчетов многие из них можно аппроксимировать усредненными значениями.

Основное назначение диагностики технических систем автомобиля в эксплуатации состоит в сохранении их проектной надежности и ресурса за счет получения информации о техническом состоянии элементов автомобиля и рабочих процессов в реальном времени для локализации неисправностей и оптимизации рабочих процессов.

При диагностике используют бортовые системы, различные внешние средства, которые постоянно совершенствуются. Чем выше технический уровень методов и средств диагностики, тем точнее будут определены действующие рабочие процессы и техническое состояние автомобиля в целом. Контроль параметров рабочих процессов позволяет оптимизировать их в реальном времени, управлять ими и соответственно повышать эффективность эксплуатации автомобиля.

В процессе эксплуатации транспортные машины взаимодействуют с окружающей средой, а их элементы взаимодействуют между собой. Это взаимодействие вызывает нагружение деталей, их взаимные перемещения, вызывающие трение, вибрации, нагрев, химические и другие преобразования и, как следствие, изменение в процессе работы физико-химических свойств материалов и конструктивных параметров; изменение состояния поверхностей трения, размеров деталей и их взаимного расположения, зазоров, электрических и других свойств.

В результате многофакторного влияния различных условий состояние изменяется от исправного до неисправного, которое при определенных обстоятельствах может перейти и в неработоспособное или предельное состояние. При этом неработоспособное и предельное состояния также являются определенной характеристикой неисправного состояния автомобиля.

К дефектам восстановления относятся:

- результаты нарушения технологических процессов разборки и сборки;
- нарушение положения притертых поверхностей;
- результаты нарушения технологии восстановления деталей, например, несплошность материала сварного шва;
- несоответствие наплавленного металла;
- несоблюдение температурного режима пластического деформирования;
- непрочность соединения с поверхностью детали слоя напыленного металла и т. д. [14]

Сложность устройства автомобиля, множество его свойств и конструкций, разнообразные зависимости от условий и вида перевозок практиче-

ски не дают возможность оценить автомобиль одним общим показателем, который однозначно выражал бы его качество. Поэтому качество автомобиля определяется комплексом его наиболее значительных эксплуатационных качеств.

Для условий эксплуатации важным является понятие работоспособного технического состояния объекта. Объект работоспособен, если он может выполнять все заданные ему функции с сохранением значений заданных параметров (признаков) в необходимых пределах. Убедиться в работоспособности объекта необходимо, например, при его профилактике, после транспортировки и хранения.

Для этапа применения по назначению существенным является понятие технического состояния правильно функционирующего объекта. Правильно функционирующим является объект, значение параметров (признаков) которого в текущий момент реального времени применения объекта по назначению находятся в необходимых пределах (если на данный момент времени объект не отказал, то есть правильно выполняет конкретно заданную функцию).

Неисправное и неработоспособное техническое состояние, а также техническое состояние неправильно функционирующего объекта могут быть определены методом конкретизации неисправности (дефектов), которые нарушают исправность, работоспособность или правильность функционирования и относятся к одной или нескольким составным частям объекта или к объекту в целом.

Стадии развития дефектов. Характерные стадии развития дефектов, неисправностей и отказов, представленные на рис. 7.3, имеют свой комплекс диагностических параметров.

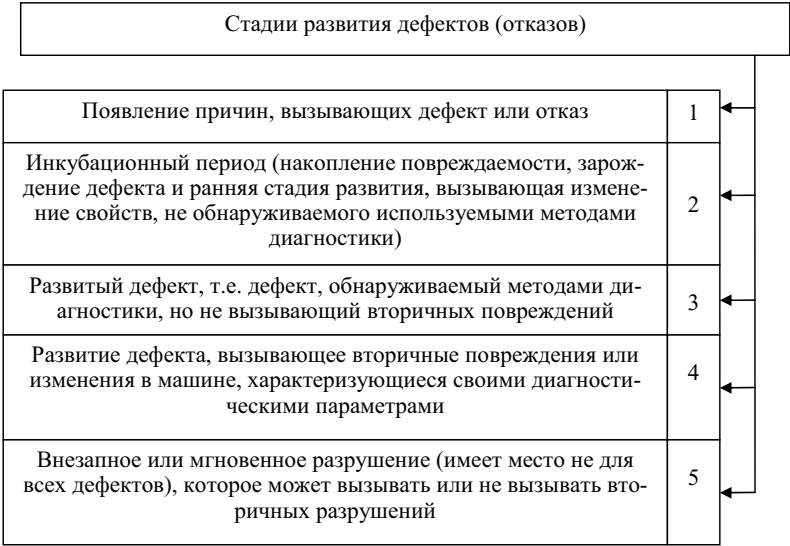


Рис. 7.3. Стадии развития дефектов, неисправностей и отказов

Первые две стадии диагностируют по параметрам, характеризующим причины дефекта, длительность и степень их воздействия.

Развитый дефект обнаруживают по параметрам, характеризующим степень его развития. Развитие дефекта, вызывающее вторичные повреждения, дополнительно обнаруживается по диагностическим параметрам этих повреждений.

В задаче диагностики мгновенного разрушения, которое необходимо предотвратить при доводке машины, следует использовать диагностические параметры, характеризующие первые две стадии его развития.

В вибродиагностике следует учитывать тот факт, что дефекты на разных стадиях развития, как правило, связаны с вибрационными процессами в машине (колебаниями ее деталей или динамическими процессами, их вызывающими) различным образом, а переход от одной стадии развития к другой может быть постепенным или скачкообразным.

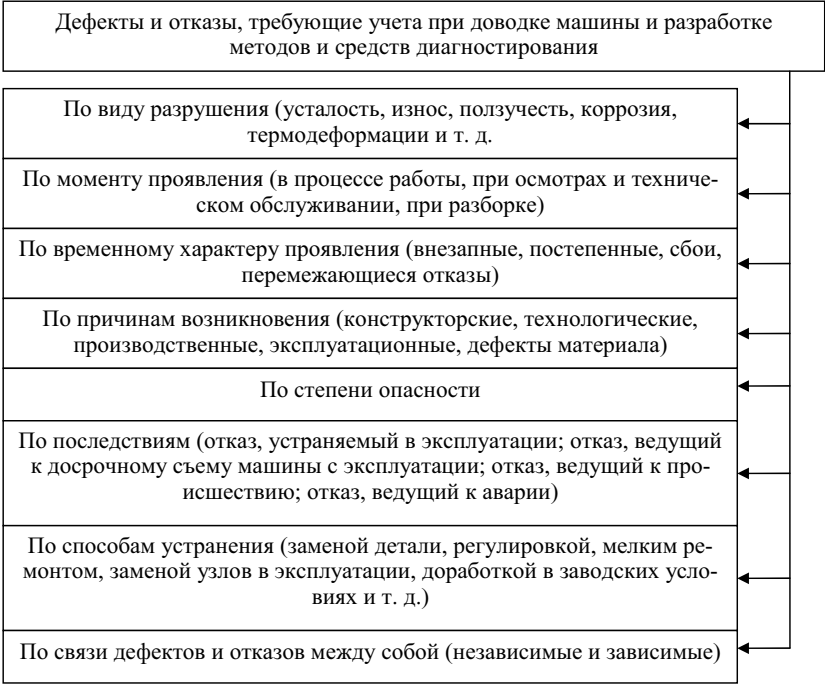


Рис. 7.4. Классификация дефектов и отказов

Дефекты и отказы классифицируют по признакам, приведенным на рис. 7.4, учитываемым при разработке и использовании методов и средств диагностики на стадии диагностики и эксплуатации. Возникающие в машинах вибрационные процессы высокоинформативны, достаточно полно отражают техническое состояние многих деталей и узлов, а также характер протекания рабочих процессов. В отличие от многих других методов диагностики вибродиагностика позволяет не только обнаружить неисправность,

но и выявить ее причины, например, повышенные динамические нагрузки или переменные напряжения.

7.2. Неисправности электрооборудования и компонентов электронных систем автомобиля

7.2.1. Виды дефектов и неисправностей

Дефектами, ошибками и неисправностями в электрических и электронных системах на стадии проектирования (доводки), изготовления и эксплуатации являются:

- **дефект** в электронной системе – это непреднамеренное различие между реализованным и проектируемым оборудованием;
- **ошибка** – это неправильный выходной сигнал, производимый системой, которая содержит дефект;
- **неисправность** – это представление дефекта на абстрактном функциональном уровне.

Неисправностями электрических и электронных элементов являются:

- **обрыв цепи**, характеризующийся разрывом электрической связи с источником электрической энергии (или между элементами электрической цепи). Обрыв цепи происходит в результате отпайки, отсоединения или обгорания контакта, обрыва провода и т. п.;

- **замыкание**, характеризующееся мгновенным снижением активного и реактивного сопротивления цепей ниже критических значений при соприкосновении противоположных по полярности проводов, вследствие которого образуется движение потока электронов в месте соприкосновения элементов цепи. Замыкание происходит в результате соприкосновения оголенных проводов, в том числе при повреждении изоляции и т. д.;

- **плохой контакт соединения** проводов характеризуется значительным повышением (или нестабильностью) сопротивления прохождению потока электронов и (или) частичному или временному его прекращению в соединении подвижных или неподвижных контактов. Плохой контакт является следствием нарушения правил сборки (соединения проводов), ослабления крепления контактов, окисления контактов и т. д.;

- **пробой** – это нарушение рабочих характеристик таких элементов электрической цепи, как диод, транзистор, микросхема, катушка (тепловой пробой) и т. д. Пробой характеризуется нарушением изоляции элементов цепей или несанкционированным прохождением тока в полупроводниках.

В электрической части сборочных единиц имеют место следующие формы проявления дефектов:

- **сбой**, характеризующийся значительным нарушением первоначальной настройки (наладки) системы вследствие нарушения последовательности поступления или пропуска электронных сигналов;
- **ошибка** – это дефект, характеризующийся незначительным изменением заданных характеристик системы, несущественно влияющим на ее

функционирование, которое происходит вследствие искажения или неверного считывания электронных сигналов;

- **выключение системы**, характеризующееся полным самопроизвольным или принудительным прекращением ее функционирования в результате отказа электрической части или отказа элементов электрической части системы, влияющих на ее работоспособность;

- **авария** – это характеристика критического состояния электронной части сборочной единицы, при которой имеют место отказы одного или нескольких элементов, выполнение функции которых в системе зарезервировано, и она временно может функционировать, но для облегчения полного функционирования системы требуется срочное устранение отказов ее элементов.

Для технических систем, содержащих в контуре управления ЭВМ, особенно неприятны отказы типа сбой. **Сбой** – это самоустраниющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности. Сбой может привести к искажению и полной потере информации, содержащейся в ЭВМ, и тогда самовосстановление аппаратуры после сбоя уже не приведет к восстановлению работоспособности системы.

Основными причинами сбоев и отказов электрических и электронных систем электрооборудования является нарушение контактов вследствие обрыва электрических цепей, ослабление их креплений, окисление контактирующих поверхностей, перегорание предохранителей, замыкание цепей из-за повреждения изоляции, а также выход из строя отдельных элементов: лампочек осветительных приборов, датчиков контрольно-измерительных приборов, реле и пр. Устранение неисправностей в большинстве случаев заключается в определении (с помощью индикаторов или тестеров) мест обрыва или замыканий электрических цепей и их восстановлении путем подтяжки ослабленных соединений, зачистки, устранении обрывов или замыканий проводов и замены вышедших из строя элементов.

7.2.2. Дефекты и неисправности компонентов электрических систем

Основные виды повреждений электрической проводки, неисправности и повреждения электрических и электронных систем распознаются на логическом и функциональном уровне. Отображение из физической области на логический и функциональный уровень облегчает процесс обнаружения отказов. При этом проблема анализа неисправностей переносится с физического уровня на логический или даже функциональный уровень. Сложность такого анализа существенно уменьшается, так как многие физические дефекты можно моделировать одной и той же неисправностью на логическом или функциональном уровне. Кроме этого некоторые неисправности (модели логического или функционального уровня) не зависят от технологии изготовления интегральных схем в том смысле, что одна и та же модель неисправности применима к различным технологиям. Следовательно, разработанные методы тестирования и диагностики для таких неисправностей мо-

гут быть использованы для различных технологий диагностирования. Следует отметить, что тесты, построенные для неисправностей (логического уровня), могут быть использованы при анализе таких физических дефектов, эффект которых на уровне электрических схем неясен или требует значительных вычислительных ресурсов при его моделировании.

Поскольку при моделировании элементов мы различаем логические функции и их временные характеристики, то в дальнейшем мы также будем отличать логические неисправности, которые изменяют логику элементов, и неисправности типа «задержка», которые влияют на быстродействие компьютерных систем.

Логическая неисправность может быть определена явным или неявным образом. При явном задании неисправности необходимо индивидуально для данного дефекта в каком-либо виде задать функцию, реализуемую элементом. Очевидно, такой подход требует значительных ресурсов и часто неприменим на практике. Неявная модель определяет обычно некоторый класс моделей – неисправностей, которые обладают некоторыми характерными свойствами (например, константные неисправности, которые эквиваленты постоянным сигналам на линиях схемы).

При заданной неисправности и модели системы в общем случае мы можем найти логическую функцию системы при наличии данной неисправности. Таким образом, модель неисправности тесно связана с видом модели цифровой системы. Те неисправности, которые определяются на структурной модели системы, называются структурными неисправностями. Их эффект, как правило, сводится к изменению соединения компонент. Функциональные неисправности определяются на функциональной модели системы. Например, эффект функциональной неисправности может проявляться в изменении функции, реализуемой компонентом системы или оператором языка описания аппаратуры.

Типичными неисправностями соединений компонентов системы являются обрыв (open) и замыкание (short). Обрыв соответствует нарушению соединения компонентов схемы. Причиной нарушения соединения может быть недостаток или отсутствие проводящего материала, например, в металлическом проводнике. С другой стороны, отсутствие соединения может возникнуть вследствие наличия лишних частиц диэлектрика, например, между проводящими слоями. Замыкание образуется в результате соединения линий схемы, которые в исправной системе изолированы друг от друга. Оно может быть вызвано наличием лишних проводящих частиц между проводниками, пробоем оксида в МОП-структурах, который образует соединение с некоторым небольшим, но необязательно нулевым сопротивлением и т. п.

7.2.3. Физические дефекты

Физические дефекты зависят от технологии изготовления и материала подложки интегральных схем. Типичными дефектами интегральных схем (ИС) являются:

- дефекты производства ИС – пропущенные при металлизации контактные окна или участки оксида, паразитические транзисторы, пробой оксида (в МОП-структурах) и т. п.;

- дефекты материалов – объемные дефекты (трещины, несовершенство кристалла), загрязнение поверхности, наколы или вкрапления оксида, погрешности травления и т. д.;

- дефекты (неисправности) старения – пробой диэлектриков, электрическое перенапряжение, нестабильность поверхностного потенциала, электромиграция и т. д.;

- дефекты упаковки – ухудшение контакта, утечка в перемычках.

Дефекты возникают либо в процессе изготовления, либо при эксплуатации электронных систем. Физические дефекты происходят вследствие ошибок человека либо неправильной работы технологического оборудования. Частое повторение одного и того же дефекта показывает на необходимость улучшения процесса производства или проектирования этого устройства. Отметим, что указанные дефекты случаются на этапе изготовления отдельных ИС и существенно зависят от используемой технологии. Одной из причин возникновения дефектов является нестабильность условий процесса изготовления. Они включают случайную флуктуацию окружающей среды, например, турбулентность потока газа при диффузии и окислении; отклонения физических и химических параметров материалов таких, как, например, флуктуация плотности и вязкости фоторезисторов и примесей в воде и газах.

Поскольку технологический процесс производства плат существенно отличается от изготовления ИС, то на этом этапе имеют место другие физические дефекты. В табл. 7.1 представлены типичные физические дефекты, возникающие при изготовлении печатных плат и частота их возникновения.

Таблица 7.1

**Типичные физические дефекты, возникающие
при изготовлении плат**

Тип дефекта	Частота появления
Замыкания	51
Обрывы	1
Пропущенные компоненты	6
Неправильные компоненты	13
Перевернутые компоненты	6
Изгиб проводников	8
Неправильные аналоговые спецификации	5
Неправильная цифровая логика	5
Дефекты характеристик	5

7.2.4. Типовые модели неисправностей

Неисправность является моделью, которая представляет эффект физического дефекта на логическом или функциональном уровне. Несколько различных дефектов могут представляться одной и той же неисправностью

(имеет место отношение «много к одному»). С другой стороны, одному физическому дефекту иногда может соответствовать несколько неисправностей (отношение «один ко многим»). Заметим, что неисправность обычно имеет более ясную трактовку, чем физический дефект. Будучи моделью, неисправность не всегда точно соответствует физическому дефекту, но используемые модели неисправности, как правило, полезны (эффективны) при обнаружении дефектов. Классическим примером являются одиночные константные неисправности, хотя очевидно, что эта модель неточно описывает все физические дефекты. Но тесты, построенные для этих неисправностей, оказываются эффективными и для других типов неисправностей. Однако, как и любая модель, константные неисправности не описывают всех возможных дефектов. Особенно это касается современной МОП-технологии. Поэтому разработаны другие модели неисправности (в частности, типа транзистор «постоянно открыт или закрыт»), которые более адекватно отражают физические дефекты этой технологии. В табл. 7.2 представлены наиболее распространенные типовые модели неисправности.

Таблица 7.2

Типовые модели неисправности

Модели неисправности	Описание
Одиночные константные неисправности (stack-at faults s-a-0, s-a-1)	Одна линия схемы принимает постоянное значение 0 или 1
Кратные константные неисправности (multiple stack-at faults)	Две или более линий схемы имеют постоянные значения сигналов
Мостиковые неисправности (bringing faults)	Две или более линий схемы, значения сигналов на которых не зависят друг от друга в исправной схеме, становятся электрически связанными в неисправной
Неисправности «устойчивое замыкание транзистора» (“stuck-on” – SON, “stuck-short” faults)	В КМОП-логике транзистор находится в замкнутом (проводящем) состоянии
Неисправности «устойчивый обрыв транзистора» (“stuck-open” – SOP faults)	В КМОП-логике транзистор находится постоянно в разомкнутом (не проводящем) состоянии. При этом обычно он отключен либо от питания, либо от «земли» и ведет себя при этом как элемент памяти
Неисправности «задержка»	Вызывается задержкой распространения сигналов в одном или более путях схемы
Перемежающиеся неисправности	Вызываются ухудшением внутренних параметров схемы. Неправильные сигналы возникают при некоторых, но не всех состояниях схемы. Ухудшение параметров прогрессирует до тех пор, пока не проявится как постоянная неисправность
Неустойчивые неисправности	Неправильные значения сигналов вызываются «наводками». «Наводка» может быть емкостной через шину питания или индуктивной

Модели неисправности	Описание
Дефектно ориентированные неисправности (defect oriented faults)	Неисправности электрического или логического уровня, которые вызываются дефектами на физическом уровне
Функциональные неисправности	Используются в том случае, когда цифровые системы описываются на функциональном уровне с помощью языков описания аппаратуры и представляются также языковыми средствами. Полнота тестов также оценивается на функциональном уровне (покрытие путей, ветвлений и т. п.)
Неисправности уровня ЯРП	Соответствуют неправильному выполнению языковых конструкций ЯРП
Нетестируемые неисправности (untested faults)	Неисправности, для которых не может быть построен тест. Среди них: - избыточные неисправности, наличие которых не изменяет поведение схемы; - неисправности, вызывающие неправильное поведение схемы, но тесты для них не могут быть построены данными методами. К ним относятся, например, неисправности, препятствующие инициализации последовательностных схем

Следует отметить, что модели неисправности тесно связаны с моделями цифровых систем. Очевидно, что моделям схем различных уровней абстракции соответствуют модели неисправностей разных уровней.

Замыкания. Неисправности типа замыкания имеют место в том случае, когда происходит соединение двух или более линий схем и образуется «проводная логика» (wired logic) в месте возникшей электрической связи. Кратные замыкания (соединение больше двух линий) возникают обычно на внешних входах интегральных схем.

Дефекты и неисправности ИС могут проявляться на разных этапах эксплуатации («жизни»). Отношение интенсивности отказов к сроку «жизни» описывается хорошо известной кривой, представленной на рис. 7.5. Дефекты, которые могут быть обнаружены визуально и путем оптического сканирования, проявляются во многих ИС в течение 20 недель их эксплуатации (период «детской смертности»). В конце этого периода уровень отказов стабилизируется на 10-20 лет (нормальное время «жизни»). Далее наступает период старения. При чрезмерной эксплуатации здесь кривая носит экспоненциальный характер. Отметим, что для современных ИС основным фактором старения

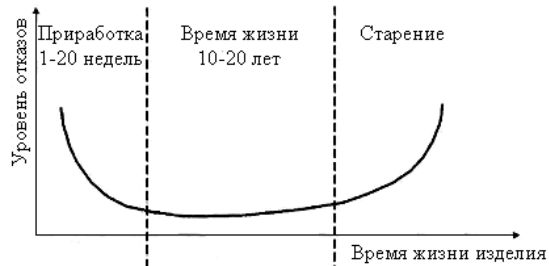


Рис. 7.5. Зависимость интенсивности отказов от времени

является перегрев вследствие высоких плотностей размещения транзисторов и используемых сверхвысоких частот.

Транзисторные неисправности (устойчивый обрыв и замыкание транзистора). Наиболее распространенными являются следующие виды отказов в «металл-окисел-проводник» технологии:

- обрыв и замыкание транзисторов;
- обрывы между стоком, истоком и затвором;
- короткие замыкания: исток-сток, затвор-сток, затвор-исток.

Дефекты короткого замыкания обычно обусловлены пробоем оксида. Такие неисправности называются «резистивными замыканиями».

Неисправности типа «задержка». Ситуации, когда схема структурно и логически корректна, но время распространения сигнала по некоторым ее путям превышает допустимые для правильного функционирования значения. Такие неисправности распространения сигнала не могут быть обнаружены на низкой частоте работы схемы, но обнаруживаются на высоких тестовых рабочих частотах. Для этих целей используются две основные модели: задержки вентиля, задержки пути.

Временные неисправности. При таких неисправностях временно появляются неправильные сигналы в схеме. Это происходит в различных цифровых элементах, но чаще всего в микросхемах памяти и микропроцессорах. Среди этих неисправностей различают «кратковременные сбои» (transient, intermittent). Кратковременные сбои происходят, когда сигналы меняют свое значение вследствие, например, «шумов». Такие неисправности трудно обнаружить и исправить. Здесь важно минимизировать шумы и повысить помехозащищенность схемы. Подобные неисправности, могут быть вызваны, например, флуктуациями напряжения, метастабильностью триггеров или космическим излучением.

Спонтанные отказы могут возникнуть вследствие кодовозависимой неисправности в микросхемах памяти и микропроцессорах.

Функциональные неисправности переменных данных и управления. В простейшем случае модель константной неисправности распространяется на переменные операторов языка регистровых передач. При этом подразумеваются постоянные значения отдельных переменных. Неисправности «данных», как правило, связывают с памятью или регистрами. Неисправности «управления» связаны с переменными, описывающими, например, условия выполнения некоторой операции.

Ошибки (дефекты) текста программ Hardware Description Languages (HDL). Простая ошибка текста программы HDL соответствует мере покрытия операторов при тестировании программного обеспечения, которая имеет ограниченную точность, поскольку не учитывает проявление ошибки на внешних выходах устройства. «Анализ мутации» соответствует ошибке текста программы для тестирования программного обеспечения. При этом «мутант» представляет версию функционального описания, которое отличается от оригинала на одну потенциальную ошибку. В этом случае оператор мутации определяется функцией, которая применяется к оригиналу для ге-

нерации «мутанта». Типичным примером оператора мутации является замена одной арифметической операции на другую.

Функциональные неисправности микропроцессоров. В соответствии с основными функциями микропроцессоров можно рассматривать следующие модели функциональных неисправностей:

1. Модель неисправности функции дешифрации адресов регистров.
2. Модель неисправности функций хранения данных. Предполагается, что любой разряд регистра может иметь константные неисправности 0, 1.
3. Модель неисправности функций передачи данных. При этом любое число линий может иметь константные неисправности 0, 1 и любая пара линий может замкнуться (сигналы на этих линиях принимают одинаковые значения).
4. Модель неисправности дешифрации инструкций и функций управления последовательностью операций. При этом предполагается, что может произойти одно или несколько следующих событий:
 - одна или несколько микроинструкций в команде не выполняются;
 - дополнительно выполняются микроинструкции, которые не должны быть в данной команде;
 - дополнительно выполняются микроинструкции, которых нет в последовательности данной команды.

Контактная неисправность одинаково действует только на соединение между вентилями, при этом логические элементы функционируют правильно. Каждая линия схемы может иметь два типа этих неисправностей: контакт 0 и контакт 1. Итак, контактная неисправность фиксирует на данной линии постоянное значение сигнала 0 или 1, независимо от значения подаваемого на него сигнала. Часто такие неисправности моделируют замыкания линии схемы на «землю» или источник питания.

Прежде чем приступить к поиску неисправностей в электрической или электронной цепи, необходимо ознакомиться с этой цепью. Для чего она предназначена? Из каких компонентов и соединителей состоит цепь? Где она расположена в автомобиле? Как она работает? Диагност должен разбираться в работе последовательных и параллельных цепей и знать связь между напряжением, сопротивлением и током.

Не следует экспериментировать с электронными цепями, наугад соединяя и разъединяя провода. Напряжение питания всех цепей должно быть правильным. Электронные цепи работают от очень низких напряжений, обычно от 0 до 5 В или от 0 до 8 В и потребляют очень небольшие токи, исчисляемые миллиамперами. Подача в электронную цепь напряжения 12 В часто выводит ее из строя.

При диагностике электрических цепей необходимо вначале определить тип неисправности. Имеются три состояния, которые могут привести к сбоям в работе цепей:

- обрыв в цепи;
- короткое замыкание в цепи;
- высокое сопротивление.

Разомкнутая цепь – цепь, в которой имеется обрыв, плохой электрический контакт, сделанный преднамеренно (переключателем) или непреднамеренно (плохое соединение или оборванный провод).

Если имеется полное разъединение цепи, она идентифицируется как разомкнутая цепь. При этом путь тока от источника питания и назад, к другому полюсу источника (аккумуляторной батарее), не является замкнутым. Причинами разрыва цепей может быть следующее:

- перегоревшие переключатели;
- обрывы проводов, в особенности вблизи штекеров и соединителей;
- внутренние обрывы компонентов, например, в переключателях и лампах накаливания;
- чрезмерно высокое сопротивление, которое часто имеет те же признаки, что и обрывы. Часто это бывает из-за плохого контакта или повреждения коррозией.

Высокое электрическое сопротивление – такое состояние цепи, когда имеется слишком большое препятствие для протекания электрического тока или когда некоторая часть цепи имеет сопротивление выше нормального. Высокое сопротивление может быть причиной коррозии, плохого соединения, неисправности проводов или контактов, неправильной контактной площади выводов, соединителей или штекеров. Высокое сопротивление всегда возникает между компонентами цепи.

Высокое сопротивление создает нежелательное препятствие в электрической цепи, что ведет к нежелательному падению напряжения или недостаточной мощности в цепи полезной нагрузки. Лампы при этом могут гореть тускло, двигатели могут вращаться медленнее и т. д. Слишком высокое сопротивление часто имеет те же симптомы, что и обрыв в цепи, то есть нужные устройства могут не работать. Слабый или корродированный контакт в месте соединения с «массой» является одной из наиболее распространенных неисправностей, поскольку этот контакт в норме должен иметь почти нулевое сопротивление.

Сопротивление может выражаться в единицах «падения напряжения». Во многих электрических цепях почти все напряжение питания должно прилагаться к нагрузке. Если напряжение аккумуляторной батареи 12,5 В, значит все 12,5 вольт используются в цепи. Было бы идеально, если бы все это напряжение было бы приложено к цепи нагрузки, но этого никогда не бывает, поскольку часть напряжения падает на сопротивление соединений, пока ток доходит до нагрузки. Это сопротивление обычно состоит из сопротивления штекеров, контактов переключателей и внутреннего сопротивления проводов. Часть напряжения теряется вместо того, чтобы расходоваться в полезной нагрузке. В любом случае падение напряжения есть результат действия сопротивления или нагрузки.

Если электрическое сопротивление цепи превышает норму, на пути к нагрузке теряется значительная часть напряжения. Работающее при уменьшенном напряжении устройство может давать сбои.

Короткозамкнутая цепь – цепь, в которой образовался такой путь прохождения тока, которого не должно быть. Короткозамкнутая цепь может

быть следствием замыкания провода на «массу» или провода на провод. Короткое замыкание цепей не обязательно приводит к перегоранию предохранителя или появлению запаха горелого – все зависит от того, в каком месте замкнута цепь. По имеющимся признакам иногда можно легко отыскать место замыкания. Три основных случая замыкания проводов на «массу» и результаты этих замыканий:

- при замыкании нагрузки на источник питания может перегореть предохранитель. Если в цепи нет предохранителя, подводящий провод перегревается, изоляция начинает плавиться и дымиться;

- если имеется замыкание нагрузки на «массу», нагрузка может быть постоянно включена;

- при замыкании на «массу» работающих компонентов, часто состояние оценивается как «отсутствие неисправностей».

Контрольные вопросы

1. Какие причины дефектов машин?
2. Какие причины неисправностей машин?
3. Приведите типовые источники неисправностей подшипниковых узлов.
4. Какие типовые источники неисправностей зубчатых передач?
5. Какие могут быть дефекты сборки и монтажа агрегатов, узлов и элементов?
6. Какие основные причины производственных отказов?
7. Приведите причины конструкторских отказов.
8. Какие причины появления дефектов при испытаниях?
9. Какие могут быть причины отказов ремонтного производства?
10. Приведите стадии развития дефектов.
11. Какие существуют виды дефектов и неисправностей электрических компонентов?
12. Приведите примеры физических дефектов электрических компонентов.
13. Назовите причины ошибок текста программ.

8. ХАРАКТЕРИСТИКА И НОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

8.1. Типы диагностических параметров

Определение видов неисправностей, их структурных и функциональных диагностических параметров всех технических систем машины является одной из первоочередных задач, определяющих содержание последующих разработок в технической диагностике. Номенклатура диагностических параметров определяется на стадии проектирования машины.

Диагностический параметр – параметр объекта, используемый при его диагностировании (контроле) для определения технического состояния. Такими параметрами могут быть, например, температура, зазор, шум, вибрация, степень герметичности, давление, расход топлива, расход масла и др.

Как правило, изменение конструктивного (структурного) параметра может быть зафиксировано несколькими различными диагностическими параметрами, из которых целесообразно избрать наиболее эффективный по свойству однозначности, чувствительности, стабильности, информативности и системности.

Диагностическими параметрами могут быть параметры рабочих и сопутствующих процессов или их производные. Физическая характеристика диагностических признаков, диагностических параметров и область их использования применительно к диагностированию автомобилей приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характеристика диагностических признаков и параметров

Диагностические признаки	Диагностические параметры	Объекты диагностирования
1. Снижение эффективности	Мощность, тормозной путь, сила тяги и скорость. Интенсивность разгона, снижение частоты вращения коленчатого вала при отключении цилиндров	Двигатель, тормозная система, коробка передач, сцепление, ведущий мост
2. Правильность геометрических сопряжений	Линейные и угловые зазоры (люфты), свободный и рабочий ход	Рулевое управление, механизмы приводов, подшипники колес
3. Степень герметичности рабочих объемов	Компрессия, расход картерных газов, давление топлива в системе, давление воздуха, давление охлаждающей жидкости	Двигатель, шины, компрессор пневмосистемы, топливная система, система охлаждения
4. Нарушение правильности циклических процессов	Изменение силы тока и напряжения в электрических цепях, изменение амплитуды колебания подрессоренных масс, изменение установки зажигания и угла опережения впрыска топлива	Система зажигания, система впрыска топлива, генератор, стартер, подвеска двигателя и автомобиля

Диагностические признаки	Диагностические параметры	Объекты диагностирования
5. Отклонения от нормы акустических процессов	Виброимпульсы, частота и фаза колебаний, амплитуда колебаний, звуковое давление	Двигатель, агрегаты, трансмиссия, топливная аппаратура дизелей
6. Изменение состава картерного масла	Показатели масла (вязкость, плотность, щелочность, наличие воды)	Двигатель, система охлаждения, топливная система, агрегаты трансмиссии автомобиля
7. Изменение состава отработавших газов	Содержание в отработавших газах сажи, окиси углерода, окиси азота и углеводов	Двигатель, система зажигания, система фильтрации воздуха, система подачи топлива
8. Тепловое состояние	Температура и скорость ее изменения	Система охлаждения, система смазки, агрегаты трансмиссии, подшипники колес
9. Изменение КПД агрегатов автомобиля	Выбег автомобиля, усилие на рулевом колесе, сопротивление качению колес	Трансмиссия, рулевое управление, подшипники колес
10. Изменение вида поверхностей агрегатов	Визуально наблюдаемые деформации, изменение окраски, следы подтекания жидкостей, топлива, масел, износ	Кузов, двигатель, агрегаты трансмиссии, системы автомобиля, шины

Связи между конструктивными и диагностическими параметрами. Качественное техническое состояние машины можно определить совокупностью диагностических параметров. Различают следующие параметры: выходных рабочих процессов, сопутствующих процессов и структурные. Между структурными и диагностическими параметрами в зависимости от сложности объекта могут существовать различные взаимосвязи: единичная, множественная, комбинированная и неопределенная, когда один диагностический параметр изменяется при изменении m структурных [14, 24].

Параметры выходных рабочих процессов определяют основные функциональные свойства автомобиля, например, мощность, расход топлива, тормозные свойства и т. д. По значениям этих параметров можно оценить состояние машины в целом.

Параметры сопутствующих процессов сопровождают работу технической системы и косвенным образом свидетельствуют о состоянии машины при функционировании, например, температура агрегата, материала, уровень шума или вибрации, содержание продуктов износа в масле, содержание вредных веществ в отработавших газах. Низкая компрессия и повышенный прорыв отработавших газов в картер двигателя свидетельствуют об износе цилиндропоршневой группы. Эти параметры дают более конкретную информацию о состоянии тех или иных узлов и механизмов машины.

Структурные параметры определяют состояние сопряженных деталей и механизмов, компонентов электрических и электронных систем. С точки зрения состояния машин и механизмов выделяют ресурсные и функциональные параметры (рис. 8.1, 8.2, табл. 8.1). На реальный процесс изме-

нения структурных параметров оказывают ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

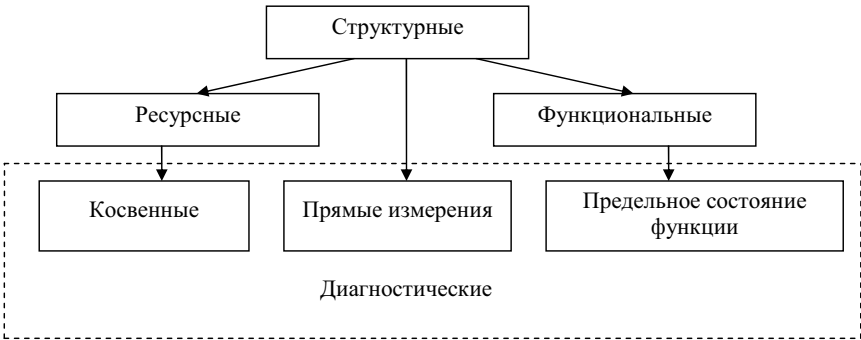


Рис. 8.1. Параметры состояния машин

Большинство измеряемых диагностических параметров косвенно характеризуют структурные параметры элементов машины (табл. 8.2, 8.3).

Таблица 8.2

Структурные и диагностические параметры

Структурные параметры	Диагностические параметры
Зазоры в сопряжениях цилиндропоршневой группы	Количество газов, прорывающихся в картер; угар картерного масла
Зазоры в подшипниках коленчатого вала	Давление в масляной магистрали
Плотность электролита	Степень разряженности аккумуляторной батареи

Таблица 8.3

Примеры структурных параметров и соответствующих им диагностических признаков

Структурный параметр	Диагностический признак
Ранний угол опережения подачи топлива в цилиндры	Жесткая работа двигателя, дымный выхлоп (неполное сгорание топлива) при работе под нагрузкой
Износ фрикционных накладок муфты сцепления	Нагрев корпуса муфты при работе под нагрузкой
Отсутствие зазора в зацеплении шестерен главной передачи (при нарушении регулировки после ремонта)	Чрезмерный нагрев корпуса заднего моста

В качестве ресурсных параметров (отказов) в большинстве случаев выступают отдельные структурные или их совокупность, зазоры в сопряжениях «вал-подшипник скольжения», в подшипнике качения, «подшипник

качения-корпус», в зубчатых передачах, клапанных механизмах; износ подшипников, шестерен, шлицев; биение валов, высота протектора шин, натяг посадки деталей и т. п.

Понятие состояния механизма во многих работах по трению в машинах рассматривается как характеристика величины отклонения его микроструктуры от некоторого идеального прототипа.

В механических системах в качестве меры нарушения их структуры в большинстве случаев выступает величина зазора между деталями, соединенными в кинематическую пару.

Структура механизма определяется предписываемыми ему функциями. Это размеры и форма деталей, зазоры в кинематических парах и ряд других элементов механизмов, обеспечивающие его нормальную работу, состояние механизма.

Эта группа параметров связана со способом организации объекта, то есть сюда относятся физические, химические, электрические, геометрические свойства структурных блоков, характеристики динамических звеньев и другие сведения. Способ функционирования тесно связан со структурой организации объекта (элемента, сменного блока и т. д.), под которой понимается совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих структурных элементов, свойства и характер которых имеют существенное значение для работоспособности объекта (сменного блока).

Свойства структуры механизмов могут быть охарактеризованы различными наборами параметров, ограничивающих ресурс и функциональные состояния его составных частей, определяющих технико-экономические показатели и технику безопасности машины.

Структурная организация характеризуется рядом количественных параметров, которые и относятся к классу структурных. Отражение структурной организации объекта через посредство структурных параметров отображает его техническое состояние, выявление которого и является одной из задач технического диагностирования и которое изменяется под влиянием внешних условий, воздействий управления объектом, естественного износа и качества изготовления объекта (начальные условия состояния).

Существует много деталей и узлов, ухудшение структурных параметров которых (износ или ослабление связей) тесно связано с выполнением основных функций механизмов. Это такие параметры, как снижение точно-

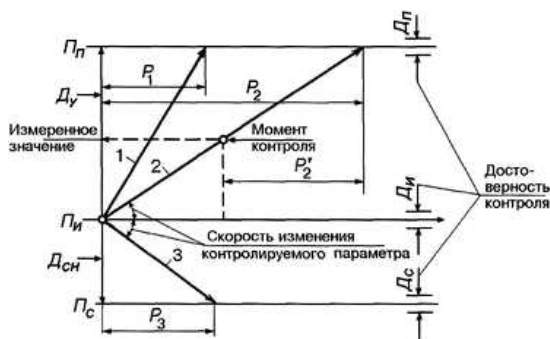


Рис. 8.2. Параметры технического состояния:

1, 2, 3 – линейные тренды диагностического параметра; P_1, P_2, P_3 – ресурсы отдельных элементов; Π_H – предельное увеличение диагностического параметра; Π_C – предельное снижение диагностического параметра; D_Y – допустимое увеличение; D_{CH} – допустимое снижение; Π_H – исходное значение диагностического параметра; P'_2 – остаточный ресурс

сти работы, расход энергоносителей, потеря мощности, качество тормозных механизмов и другие. Например, из-за роста зазора в сопряжении плунжерных пар увеличиваются утечки топлива, ухудшаются характеристики, снижается давление, которое определяет качество распыления топлива в цилиндре двигателя и возможность преодоления предварительной затяжки пружины форсунки. Другой известный пример – настройка форсунки на давление начала впрыска. Структурный параметр в этих случаях определяется как допустимый по критерию технико-экономической эффективности использования механизма, а не предельного износа. Вопрос определения оптимальных значений начальных и установочных регулировок сводится к учету факторов: максимум производительности и минимум затрат, включая затраты на техническое обслуживание, диагностирование, регулировочные работы и ремонт при обязательном сохранении в пределах допуска качественных и экономических показателей.

На реальный процесс изменения структурного параметра оказывает влияние значительное количество факторов. Их можно разделить на две группы – внутренние и внешние или конструктивные, технологические и эксплуатационные.

К конструктивным и технологическим факторам относятся:

- назначенная структура самих элементов, от которых зависят динамические характеристики, удельные нагрузки, скорости движения и качество системы смазки деталей;
- качество изготовления, определяющие фактические зазоры и натяги в сопряжениях деталей, твердость трущихся поверхностей, чистоту их обработки;
- качество сборки, определяющее дисбаланс вращающихся деталей, перекосы и несоосности, местные напряжения, зазоры и натяги в сопряжениях;
- качество обкатки отдельных агрегатов и комплектной машины при вводе в эксплуатацию.

К внешним эксплуатационным факторам относятся: температура, влажность, запыленность воздуха, большие нагрузки, почвенно-климатические условия, рельеф местности, характер и интенсивность работы, методы и уровень технического обслуживания, качество энергоносителей, качество ремонта и т. д.

Функциональные параметры – это обычно технические и рабочие характеристики машин и ее составных частей, интегрально отражающие определенную совокупность структурных параметров. Если систему машины характеризуют совокупность элементов, то функциональные параметры как раз определяют эти связи.

Функциональный параметр – параметр, изменения которого выше предельного значения обуславливает утрату работоспособности или неисправность составных частей, в результате изменения показателей технической характеристики объекта, восстанавливаемых при техническом обслуживании. Функциональные параметры являются интегрально отражающими состояние структурных параметров: снижение эффективной мощности дви-

гателя или частоты вращения вала, производительности масляного насоса, давления открытия перепускного и предохранительного клапанов, давление воздуха в шинах, углы установки управляемых колес, напряжение на элементах аккумуляторной батареи (см. рис. 8.2, график 3), тепловой зазор в клапанном механизме, зазор в масляном насосе, в сопряжении гильза-поршень (см. рис. 8.2, графики 1, 2). Функциональные параметры характеризуют связи между элементами систем машин.

Допустимые и предельные значения ресурсного и функционального параметров диагностирования различны. Предельная величина функционального параметра составляет лишь часть предельной величины ресурсного параметра, с которым он тесно связан. Критерием назначения предельной величины является технико-экономическая целесообразность и обеспечение безопасности труда при использовании детали, устройства, механизма или машины. Здесь достижение предельной величины функционального параметра не всегда обуславливается исчерпанием технического ресурса. Восстановление работоспособности механизма, функциональный параметр которого достиг предельной величины, возможно посредством регулировки или другими воздействиями, например, очисткой фильтров. Параметры процесса функционирования объекта образуют характеристики множества подпроцессов, которые составляют основной процесс функционирования структурного блока (элемента), позволяющий выполнять ему свое функциональное назначение.

8.2. Характеристика диагностических параметров и признаков

Техническое состояние автомобиля как сложной системы и его элементов характеризуется теми или иными физическими явлениями или процессами, которые можно рассматривать в качестве признаков состояния. Признаки состояния могут выражаться количественно на основе измерений, а когда они невозможны – оцениваются качественно органами чувств и мышления человека-диагноста, водителя. Очевидно, что по мере развития измерительной техники качественные оценки признаков могут переходить в количественные измерения.

Определение и классификация диагностических параметров – достаточно сложный и неформализованный процесс. Системы диагностирования выполняют это в несколько этапов. На первом этапе предварительно назначаются существенные и диагностические параметры. Для этого используются знания и опыт специалистов. На втором этапе уточняют предварительно выбранные параметры путем личных формальных методов. Если определяющие параметры выделены, то составляют и выбирают диагностические модели, число которых определяется спецификой объекта и условиями его эксплуатации. По выбранным моделям назначают (определяют) прямые и косвенные показатели (параметры), которые предстоит оценить с помощью технических средств диагностирования. После того, как выбрана диаг-

ностическая модель, используют принципы теории идентификации – наблюдаемость, управляемость и различимость.

Диагностические параметры должны быть: однозначными, стабильными, чувствительными, информативными, иметь доступную «стоимость» и небольшое время замера, что предполагает их широкое внедрение в практику инструментального диагностического контроля технического состояния машин. [14, 24]

В диагностике следует различать следующие группы параметров состояния:

- эффективности транспортной машины, производительность, небольшие энергетические затраты и т. п.;
- надежности объекта диагностирования;
- параметры диагностических сигналов.

Характеристики типовых диагностических параметров двигателя, трансмиссии, тормозных систем, ходовой части, подвески, рулевого управления, гидравлических приводов, электрических и электронных систем автомобиля детально описаны в работах [9, 14].

Для углубленного диагностирования сложных объектов выбирают и измеряют десятки параметров. Между диагностическими и структурными параметрами могут существовать следующие виды связей:

- единичная связь (рис. 8.3, а), когда с изменением конкретного структурного параметра (S) изменяется один диагностический (Π_i);
- множественная связь (рис. 8.3, б), когда изменение одного структурного параметра ведет к изменению n диагностических;
- неопределенные связи (рис. 8.3, в), когда один диагностический параметр изменяется при изменении m структурных;
- комбинированные связи (рис. 8.3, г), когда возможны комбинации названных связей.

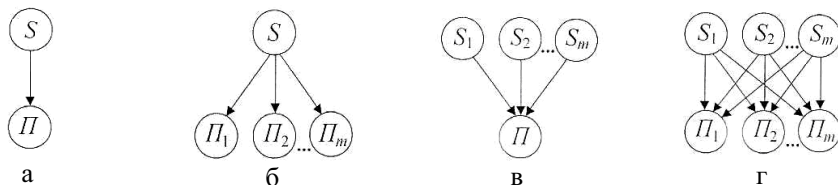


Рис. 8.3. Взаимосвязь диагностических параметров со структурными

Для углубленного диагностирования необходимо использовать диагностические сигналы объектов, позволяющие комплексно оценивать состояние структурных, функциональных и динамических параметров контролируемых объектов. С этой целью определяют номенклатуру контролируемых диагностических параметров, корреляционную связь контролируемых дефектов; изучают также режимы диагностирования, обеспечивающие наибольшее проявление связи структурных и диагностических параметров (например, нагрузки, скорости вращения, давления, поочередной подачи топлива и т. д.), получают и обрабатывают статистические данные об изменении структурных и диагностических параметров по времени наработки и

сравнивают их с исходными динамическими и предельными значениями. Без таких данных нельзя прогнозировать, обеспечивать оптимальные сроки технического обслуживания и периодичности диагностирования.

Общая классификация диагностических параметров приведена на рис. 8.4.



Рис. 8.4. Классификация диагностических параметров

По характеру информации диагностические параметры подразделяют на три группы:

- параметры, обеспечивающие получение информации о техническом состоянии диагностируемого объекта, но не характеризующие его функциональные возможности;
- параметры, обеспечивающие получение информации о функциональных возможностях, но не дающие информации о его техническом состоянии;
- комбинированные (универсальные) параметры, например, вибрации, обеспечивающие получение информации как о функциональных возможностях, так и о техническом состоянии диагностируемого объекта.

8.3. Процедура поиска наиболее информативных диагностических признаков и параметров

В настоящее время признано, что распознавание сложных образов наиболее целесообразно проводить на основе их относительного описания в пространстве признаков. Выбор информативной системы признаков – наиболее важная задача теории распознавания. Однако удовлетворительного решения, определяющего порядок автоматического отыскания последних посредством переработки информации, получаемой на уровне абсолютного

описания объекта, пока не найдено. Поэтому основным решением остается автоматизированный выбор наиболее информативных признаков из некоторого исходного множества свойств, задаваемого эвристически.

От успешного решения данной задачи зависят процент ошибок на этапе экзамена и распознавания, быстродействие и объем памяти распознающего устройства. В настоящее время при решении этой задачи, в лучшем случае, формализуется лишь процедура выбора наиболее информативных признаков из заранее заданного ансамбля свойств. При этом, в случае необходимости, возможно наращивание этого ансамбля.

Основные процедуры отбора диагностических признаков представлены в табл. 8.4. При выборе диагностических признаков вредной информации не бывает. Информация о вредности признака является полезной информацией; весь вопрос в том, правильно ли она используется. В случае наличия большого числа классов «абсолютной» вредности признака не бывает. Вредность признака при различии одних пар классов противостоит его полезности при различии других пар.

Только на основе анализа полезности, бесполезности или вредности некоторого признака при разделении каждой из пар классов заданного алфавита можно решить альтернативу включения или исключения этого признака из исходного описания с точки зрения минимизации ошибки распознавания.

Таблица 8.4

Процедура выбора наиболее информативных диагностических признаков

Этапы и подходы к построению информативной системы признаков	Основные процедуры отбора признаков
Критерии оценки информативности признаков	1. Уменьшение до минимума количества необходимых для описания классов признаков большой информативности без существенного увеличения вероятности ошибки распознавания. Все используемые до сих пор методы основаны на эвристике и эмпирике. 2. Возможность использования относительно простых алгоритмов распознавания. Выбор информативных признаков, основанный на методах математической статистики и теории информации. На его основе можно функционально связать критерий информативности признаков с вероятностью ошибки распознавания. 3. Уменьшение вероятности ошибки распознавания. Определяется по приращению полной вероятности ошибки при исключении этого признака из исходной совокупности
Выбор прогнозирующих параметров	1. Первый – физический подход к выявлению информативных признаков, основанный на анализе физической модели объекта. 2. Второй – математический подход, когда из всей избыточной совокупности выбираются наиболее информативные (значимые)

Этапы и подходы к построению информативной системы признаков	Основные процедуры отбора признаков
Эвристический подход	1. Разработка алгоритмов сокращенного перебора с добавлением признаков. 2. Разработка алгоритмов сокращенного перебора менее информативных с упорядочением признаков по убыванию количества обеспечиваемой информативности при прогнозировании (возрастание энтропии). 3. Составление алгоритма комбинированного перебора путем объединения алгоритмов перебора с сокращением и добавлением признаков. 4. Составление алгоритма полного перебора всех возможных комбинаций признаков, который является наиболее точной процедурой выбора информативных признаков
Информативный подход (при вероятностном прогнозировании)	1. Отбор признаков по количеству вносимой информации как статистически зависимыми, так и статистически независимыми признаками. 2. Отбор признаков по минимуму энтропии (по величине дисперсии распределении признака). Чем меньше дисперсия признака, тем плотнее распределение и тем вероятнее то, что изделие принадлежит к этому классу. 3. Определение диагностической ценности обследования
Статистический подход	1. Выбор признаков методами статистической классификации. Метод весовых коэффициентов. Располагая коэффициенты в порядке убывания, упорядочивают вибрационную систему признаков по значимости. 2. Статистическая оценка информативности и отбор признаков. С помощью аппарата линейного регрессивно -корреляционного анализа путем подсчета коэффициентов парной и/или множественной корреляции между экстремальными значениями параметра – критерия в процессе испытания. 3. Применение метода случайного баланса. Мерой информативности при этом служит степень связи признаков с выходным параметром, которое оценивается по величине информативности признака. Строятся диаграммы рассеивания и определяются медианы выходного параметра. 4. Отбор информационных признаков методом прямой пошаговой регрессии. При этом независимые переменные одна за другой включаются в подмножество предварительно заданному критерию. Определяют совокупность критериев, определяющих, какие переменные включать, заменять и удалять (пошаговая процедура)
Вероятностный подход	1. Производят сравнение апостериоральных вероятностей. 2. Сравнивают вероятностные характеристики признаков. Производится и в случае, когда условные плотности распределений $f_i(x_i)$ неизвестны, однако, известны первые и вторые моменты этих распределений. При этом признаки x_i могут быть подразделены на группы

Этапы и подходы к построению информативной системы признаков	Основные процедуры отбора признаков
Нейросетевой подход (нейронные сети)	1. Производится оценка информативности признаков на основе однослойного перцептрона. Для аппроксимации линейных и квазилинейных функций, а также значимости информативности признаков. 2. Производится оценка информативности признаков на основе многослойного перцептрона (МНС), которая определяется значениями весов и признаков ее относительно входов нейрона и выхода нейрона всех слоев
Когнитивный анализ и отбор информативных признаков	1. Классификация объектов по набору признаков методом компьютерной графики с целью оказания человеку помощи для извлечения знаний из данных и визуальных числовых данных (в графической форме), характеризующих моделируемый объект обучающей выборки. При этом информативным следует считать те области (группы признаков) на графике, где наблюдается хорошая разделимость классов. 2. Определение процедуры выделения информативных групп признаков и подбор свертки на основе, эвристического алгоритма, наилучшим образом извлекающую наиболее ценную информацию
Комбинированная оценка информативности признака	Сравнение характеристик подходов (эвристического, информативного, статистического, вероятностного, нейросетевого) на основе ряда критериев
Разбиение исходной выборки на обучающую и тестовую	1. Производят разбиение исходной выборки данных на обучающую и контрольную. Традиционно обучающую и контрольную выборки выделяют с помощью случайных чисел или линейным разбиением исходной выборки. 2. Разрабатывают алгоритм, позволяющий разбивать исходную выборку таким образом, чтобы обучающая выборка содержала все экземпляры, а контрольная выборка содержала экземпляры близкие к соответствующим экземплярам обучающей выборки. 3. Для решения названных задач, сокращение времени обучения сети. При обеспечении заданного уровня точности прогнозирования, разрабатывают алгоритм разбиения исходной выборки на обучающую и тестовую

В основу выбора диагностических параметров должны быть положены технические, экономические или технико-экономические критерии. К техническим критериям относятся: срок службы элемента до предельного состояния, уровень безотказной работы, коэффициент технической готовности, информативность, точность, контролепригодность.

Экономические критерии определяют максимум производительности или рентабельности эксплуатации машины. Техничко-экономическим критерием является минимизация суммарных приведенных затрат или суммарных удельных затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

Методика выбора диагностических параметров предусматривает следующие этапы:

- анализ статистических данных по эксплуатационным отказам и неисправностям с целью выявить наименее надежные составные части и установить наиболее часто повторяющиеся неисправности;
- установление схемы структурно-следственных связей;
- выбор методики поиска неисправностей и алгоритма диагностирования.

8.4. Задача отбора и критерии оценки информативности признаков сложных систем

В настоящее время признано, что распознавание сложных образов наиболее целесообразно проводить на основе их относительного описания (описания в пространстве признаков). Выбор информативной системы признаков – наиболее важная задача теории распознавания. Однако до настоящего времени отсутствует формальная постановка задачи отбора признаков. В неформальных постановках задачи определение информативных признаков преследует:

- уменьшение до минимума количества необходимых для описания классов признаков без существенного увеличения вероятности ошибки распознавания;
- возможность использования относительно простых алгоритмов распознавания;
- уменьшение вероятности ошибки распознавания.

С решением этой задачи обычно связаны вопросы упрощения распознающей системы и повышения качества ее работы.

К построению информативной системы признаков может быть два подхода.

Первый подход заключается в том, что с самого начала задается постановка на отыскание малого числа признаков большой информативности. Однако все используемые при этом методы до сих пор основаны на эвристике и эмпирике, т. е. выбор признаков определяется на основе интуиции, опыта и воображения разработчика. Как бы удачна ни была сконструированная система признаков, нельзя доказать, что она лучше некоторой другой.

Второй подход заключается в том, что из большого числа исходных признаков согласно некоторому критерию информативности признаков выбирается как можно меньшее число наиболее полезных для распознавания признаков.

Оба рассмотренных подхода к построению информативной системы признаков требуют определения критериев оценки информативности признаков.

К настоящему времени разработаны разнообразные критерии информативности признаков, основанные на методах математической статистики и теории информации. Наибольшее признание из них получили критерии, отражающие расстояния между распределениями классов.

Из рассмотренных подходов [36] к построению информативной системы признаков второй подход является более конструктивным, чем первый. На его основе можно функционально связать критерий информативности признаков с вероятностью ошибки распознавания.

Среди многих задач распознавания только часть задач имеет с самого начала формальную математическую постановку, другие допускают формальную постановку. Она базируется на более или менее обоснованных гипотезах о процессах и сигналах, определяющих зависимость первичных признаков от тех величин или параметров, относительно значений которых необходимо принимать решения. Эти гипотезы могут относиться к свойствам различных подмножеств или к свойствам решающих функций, или к характеру процессов, порождающих наблюдаемые сигналы. Измеряемые величины, сигналы диагностируемых объектов и средства их измерений рассмотрены в [33].

Распознавание образов. Различают четыре типа задач, относящихся к проблеме распознавания образов и отличающихся постановками. Примерами таких несколько упрощенных постановок этих задач являются [36]:

1. Задача классификации. Дано распределение вероятностей сигнала, зависящее от некоторого дискретного параметра, называемого искомым, или некоторые условия, тоже зависящие от параметра, которым должен удовлетворять сигнал. Указан некоторый критерий, называемый риском распознавания, характеризующий качество решающей функции для различных значений параметра (в среднем или для «наихудшего» значения параметра). Можно сказать, что критерий характеризует степень соответствия получаемых решений истинным значением параметра, т. е. «правильность» решений. Требуется найти наилучшую (в смысле этого критерия) решающую функцию. В случае, когда дано распределение вероятностей, распознавание сводится к одной из задач теории статистических решений. Случай, когда заданы условия, определяющие непересекающиеся подмножества значений сигнала для каждого значения искомого параметра, на первый взгляд представляется тривиальным, поскольку решение содержится в условиях задачи. Однако это далеко не всегда так, потому что условия, совершенно точно определяющие подмножества, иногда очень трудно непосредственно проверить. В таких случаях необходимо найти эффективный способ проверки условия.

2. Задача описания. Дано множество некоторых элементарных сигналов и правила составления сложного сигнала из элементарных (правила синтеза). Требуется найти **правила анализа**, т. е. правила, по которым, имея реализацию сложного сигнала, можно найти те элементарные сигналы, из которых он составлен, а также указать использованные при его составлении правила синтеза.

Правила синтеза определяют выбор нужных отрезков и порядок их соединения между собой. Описание данного изображения буквы состоит в перечислении входящих в ее состав отрезков и в указании их взаимного расположения. Задача описания усложняется, если определенные правила синтеза можно указать лишь для некоторых идеализированных сигналов, назы-

ваемых **эталонами**, а наблюдаемые сигналы отличаются от эталонов наличием случайных помех. В этом случае либо должны быть известны статистические свойства помех, либо должны быть приняты определенные допущения об этих свойствах. Решить задачу описания в этом случае означает указать правила нахождения такого эталона, который составлен по заданным правилам синтеза и одновременно является при данном сигнале наиболее правдоподобным, т. е. в определенном смысле наиболее близким к данному сигналу.

3. Задача обучения возникает в тех случаях, когда в условии одной из задач типа 1) или 2) присутствует, кроме искомого параметра, некоторый другой неизвестный параметр, т. е. постоянный параметр, о котором известно только, что он сохраняет постоянное значение. Таким образом, распределение вероятностей или условия, задающие подмножества сигналов, или множество допустимых эталонов определены не полностью. Дана также обучающая выборка, представляющая собой последовательность наблюдавшихся в этих условиях сигналов, для каждого из которых указано правильное решение. Требуется построить решающую функцию. В случае обучения условия задачи определяют не единственную решающую функцию, а целое семейство таких функций.

С помощью обучающей выборки и заданного критерия качества распознавания (риска) можно выбрать наилучшую в смысле этого критерия решающую функцию из семейства.

4. Задача самообучения. Постановка этой задачи подобна предыдущей и отличается только тем, что обучающая выборка содержит лишь последовательность сигналов без указания правильных решений.

В процессе распознавания образов одной из основных задач является **задача классификации**, т. е. разделения множества исходных данных на однородные в некотором смысле подмножества. Критерии такого разделения далеко не всегда могут быть точно и непосредственно формализованы.

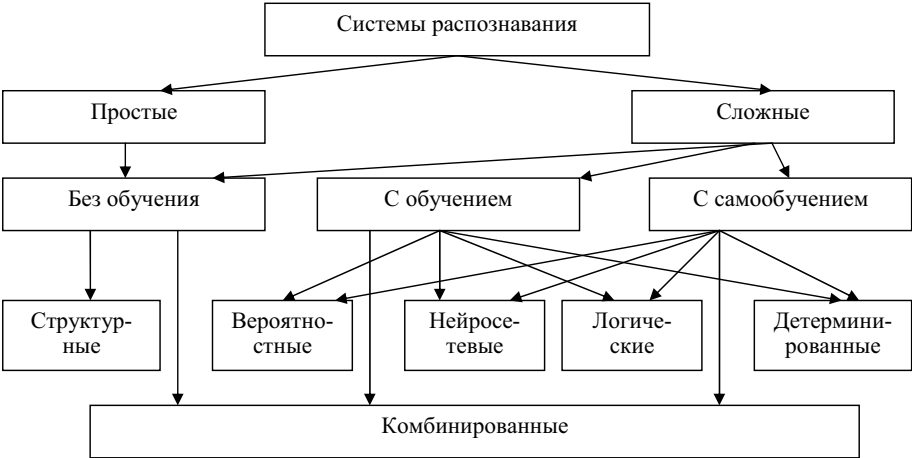


Рис. 8.5. Классификация систем распознавания

Системы распознавания можно подразделить на простые и сложные в зависимости от того, физически однородная или физически неоднородная информация используется для описания распознаваемых объектов.

Классификация систем распознавания основывается на использовании в качестве классификационного принципа свойства информации, используемой в процессе распознавания.

Возможная классификация систем распознавания показана на рис. 8.5.

8.5. Процесс отбора диагностических параметров

Выбор и обоснование основных диагностических параметров машин базируются на частоте появления неисправностей и отказов, анализе признаков и экономических факторов, сопутствующих им. При выборе предпочтение отдают параметрам диагностирования систем, влияющих на безопасность движения и работы, а также непосредственно на окружающую среду (дымность и содержание токсичных составляющих в отработавших газах, шум и вибрации и т. п.), а также параметрам, характеризующим неисправности и отказы, для устранения которых необходимы наибольшие материальные и трудовые затраты.

Процесс отбора диагностических параметров выполняется в несколько этапов. На первом этапе диагностические параметры определяют на основе рассмотрения диагностических моделей по описанным критериям. На втором этапе назначенные параметры проверяют на макетных и опытных образцах изделий. На третьем этапе контроль информативности назначенных диагностических параметров производится при эксплуатации первой партии серийных изделий.

Для обоснования номенклатуры диагностических признаков и параметров устанавливают совокупность всех диагностических параметров, сопутствующих изменению структурных параметров, исследуют диагностические параметры и определяют их связь со структурными. Выбирают диагностические параметры, обладающие максимальной информативностью, обеспечивающие допускаемую погрешность косвенного измерения структурных параметров.

Для обоснования номенклатуры диагностических параметров проводят теоретические и экспериментальные исследования физических процессов, происходящих в машине, устанавливая взаимосвязь диагностических параметров со структурными. При этом сначала составляют структурную схему возможных состояний составных частей машин. Располагая данными об отказах опытных машин и аналогов, определяют вероятность появления каждого из возможных состояний составных частей машины. Затем на основе анализа закономерностей изменения параметров технического состояния выбирают только те параметры, которые поддавались бы несложным замерам, были бы дешевыми и могли бы характеризовать состояние объектов диагностирования в любой момент времени. Наконец, проводят экспериментальные исследования объектов диагностирования с использованием испытательных стендов и с применением универсальных средств, с помо-

щью которых выполняют совместные измерения структурных и диагностических параметров. Экспериментально устанавливают (подтверждают) физические зависимости диагностических параметров от структурных, корреляционную и количественную связь диагностических параметров состояния с исходными, допускаемыми и предельными значениями контролируемого структурного параметра, а также использование полученных данных для прогнозирования остаточного ресурса, прогнозирования и установления объема и сроков работ по техническому обслуживанию и ремонту составных частей.

Все диагностические параметры можно условно разделить в зависимости от глубины контроля (диагностирования) на две группы: общие и частные. Исследования по выявлению диагностических параметров начинают с установления общих параметров, характеризующих общее состояние машины и агрегатов, функциональные зависимости параметров сигналов и состояний системы. Затем определяют частные диагностические параметры вплоть до оценки состояния отдельных сопряжений с последующим выбором из них наиболее информативных параметров.

Необходимо выбирать диагностические параметры, которые при высокой информативности о техническом состоянии обеспечивают минимальную погрешность косвенного измерения структурного параметра с учетом динамического характера изменения состояния отдельных элементов и машины. Выбор диагностических признаков должен определяться по критерию наибольшей информативности по отношению к анализируемому состоянию и малоинформативному по отношению к другим структурным параметрам. Ввиду сложности неисправностей и дефектов в механизмах и необходимости анализа диагностических параметров (сигналов) используют большое число количественных характеристик сигналов и их комбинации. К ним относятся общеизвестные количественные характеристики детерминированных и случайных процессов.

Для установления количественной зависимости диагностических параметров от структурных используют зависимости изменения вибрации, температуры, давления, расход масла, топлива, изменение газов и их оптической плотности, электрического напряжения и силы тока, изменение частоты вращения, зазоров, степень пробуксовки, выходные реакции объекта диагностирования на рабочее воздействие и др.

Основными источниками получения информации о наиболее часто встречающихся неисправностях и отказах элементов и узлов механических, электрических и электронных систем и оборудования являются эксплуатационные испытания подконтрольной партии автомобилей, находящихся в рядовой эксплуатации. При проведении этих испытаний исследуются механизмы расходования ресурса и старения изделий. Такие испытания требуют много затрат и времени, но полученные результаты служат основой для разработки и модернизации конструкций изделий, являются исходным материалом для уточнения нормативов технического обслуживания, ремонта и запасных частей.

Во время подконтрольной эксплуатации для выявления отказов и предотказного состояния изделия обычно исследуют изменение одного из основных параметров, например, электрических: выходного напряжения генератора, тока короткого замыкания стартера, угла замкнутого состояния контактов прерывателя, в зависимости от пробега транспортного средства.

Если неисправность или структурный параметр можно оценить несколькими диагностическими параметрами, то предпочтение отдают тому, который более точно оценивает определяемую величину, измерение которого связано с меньшими затратами и с помощью которого можно оценить несколько структурных или функциональных параметров машины.

Алгоритм полного перебора всех возможных комбинаций признаков является наиболее точной процедурой выбора информативных признаков, но его целесообразно применять, если исходная совокупность признаков невелика (меньше 10). При большом количестве диагностических признаков окончательно в набор заносят тот признак, при добавлении которого эффективность классификации окажется наибольшей по сравнению с эффективностью при его отсутствии. Описанный процесс продолжается до тех пор, пока не окажется, что среди оставшихся признаков нет ни одного, включение которого улучшило бы результат классификации.

По окончании процесса добавления признаков начинает работать блок исключения признаков из набора. Из промежуточного набора исключается признак и выясняется, не приводит ли это к увеличению эффективности классификации. Окончательно из набора выбрасывается тот признак, исключение которого максимально улучшает или, в крайнем случае, не ухудшает классификацию. Процесс исключения повторяется до тех пор, пока из промежуточного набора признаков окажется невозможным исключить ни одного, не ухудшая эффективности классификации. [36]

По окончании процесса исключения признаков снова делается попытка добавить к набору признаков такие признаки, которые улучшили бы эффективность классификации. Процедура отбора признаков заканчивается, когда к системе отобранных признаков оказывается невозможным ни добавить ни одного, улучшающего классификацию, ни исключить ни одного признака, не ухудшая классификации объектов обучающей выборки.

8.6. Нормирование диагностических параметров

В зависимости от задачи диагностирования и сложности объекта диагноз может различаться по глубине. Для оценки работоспособности агрегата, системы автомобиля в целом используются выходные параметры, на основании которых ставится общий диагноз типа «да», «нет» («годен», «не годен»). Для определения потребности в ремонтно-регулирующей операции требуется более глубокий диагноз, основанный на локализации конкретной неисправности. Постановка диагноза в случае, когда приходится пользоваться одним диагностическим параметром, не вызывает особых методических трудностей. Она практически сводится к назначению в эксплуатационной документации нормы для сравнения текущей измеренной величины ди-

агностического параметра с нормативом и определению класса работоспособного состояния.

Предельные величины состояния механизмов машины определяют на стадии проектирования, когда на основании анализа аналогов расчетов режимов и условий работы сопряжения назначают оптимальные размеры и допустимые величины нагрузок и структурных параметров (зазоров, несоосностей, дисбалансов и т. п.); либо на основе опыта эксплуатации, когда учитывается реальное изменение работоспособности машины по мере ее деградации.

Нормирование исходных и предельных диагностических параметров транспортных машин производится в основном статистическими методами. Сложные математические модели далеко не всегда позволяют повысить достоверность определения исходных и предельных диагностических параметров.

В основу статистических методов нормирования параметров закладываются принципы адекватности оценки погрешностей измерения и ее действительного значения при условии, что реально найденная оценка является «оценкой сверху». Последнее условие объясняется тем, что «оценка снизу» всегда опаснее, так как приводит к большому ущербу от недостоверности информации о техническом состоянии объекта диагностирования. Такой подход вполне объясним, если принять во внимание, что точное нормирование метрологических и диагностических параметров невозможно из-за влияния множества трудно учитываемых факторов (вследствие их незнания и отсутствия методов их выявления). Поэтому на практике нормирование в некоторой степени для некоторых параметров часто является волевым актом при достижении компромисса между обеспечением запаса ресурса и желанием полного описания с технико-экономическими возможностями это осуществить в реальных условиях при известных экспериментально-теоретических ограничениях, требованиях простоты и наглядности инженерных методов. В связи с этим использование нормативных параметров контроля качества изготовления не всегда представляет достаточную информацию о техническом состоянии объекта диагностирования.

8.6.1. Нормирование исходных диагностических параметров

Достоверность определения исходных номинальных значений диагностических параметров существенно зависит от технического уровня проектирования, технологических особенностей производства машин, экономических факторов и т. п. От уровня конструктивной технологичности изделий, качества изготовления и сборки отдельных агрегатов и комплектных машин зависит стабильность точностных параметров их систем. Разброс исходных значений диагностических параметров (рис. 8.6) механизмов машин на стадии изготовления является показателем статистического рассеивания их ресурса. Поэтому первоочередной задачей проектирования и технологии производства является снижение рассеивания исходных параметров машин. Повышение стабильности исходных и эксплуатационных пара-

метров машин позволяет значительно повысить достоверность назначения исходных и предельных диагностических параметров. [14, 24]

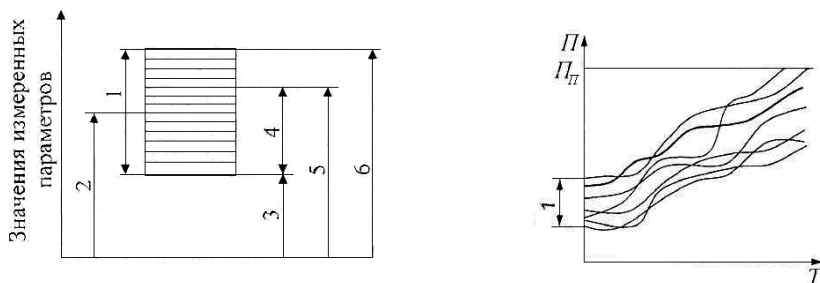


Рис. 8.6. Схема иллюстрации разброса исходных параметров:

1 – разброс параметра качества изготовления (для выборки после обкатки), 2 – среднее значение параметра; 3, 6 – минимальные и максимальные значения параметра выборки изделия; 4 – снижение максимальных значений разброса параметра после доводки на соответствие требованиям нормы 5

Доводка машин (агрегатов) на стадии изготовления до заданной нормы (5 на рис. 8.6) позволяет значительно снизить разброс параметров качества изготовления до нижних значений 3 (см. рис. 8.6). Однако и после такой доводки уменьшения разброса (1 на рис. 8.6) в эксплуатацию поступают машины с разными исходными значениями структурных параметров технического состояния (с верхним предельным нормативным значением 6 и нижним значением лучшего качества 3 (рис. 8.6).

Математическое ожидание случайной функции представляет некоторую среднюю величину, около которой различным образом варьируются ее конкретные реализации. Дисперсия случайной функции характеризует разброс возможных ее реализаций относительно среднего значения. Если при этом за норму номинального (исходного) эксплуатационного диагностического параметра выбрать значение 6, то агрегат (элемент) лучшего качества с исходными значениями 3 может быть снят с эксплуатации или направлен в ремонт при невыработанном ресурсе.

В большинстве случаев нормирование номинального значения параметра технического состояния элемента производят, исходя из наилучшего его качества (оптимальный зазор, минимальный расход топлива, максимальная мощность, оптимальный угол схождения колес автомобиля и т. д.).

Номинальные значения диагностических параметров, как правило, определяют статистическим путем – обработкой результатов измерений по 20-30 новым (технически исправным) автомобилям, прошедшим обкатку.

Разброс значений параметров требует фиксации номинального значения Π_H или интервала номинальных значений:

$$\Pi_H = \bar{\Pi} + KS, \quad (8.1)$$

где K – коэффициент, определяющий поле допуска, S – среднеквадратичные значения отклонений от среднего значения $\bar{\Pi}$.

Величина ошибки в определении Π_H зависит от закона распределения погрешностей измерений параметров, определяющих значения Π , K , S и диагностического параметра.

Для составления норм используются данные диагностических параметров тех машин (агрегатов), у которых значение величин параметров удовлетворяет критериям для неприятия резко выделяющихся наблюдений с вероятностью не менее $P \geq 0,95$.

8.6.2. Методы нормирования предельных значений диагностических параметров

Ввиду большого разнообразия условий эксплуатации транспортных машин, режимов работы, исходного технического состояния (рис. 2.1, 2.3), уровня технического обслуживания изменение контролируемых параметров носит случайный характер. Отсюда следует, что скорость изменения параметров состояния даже одноименных сборочных единиц однотипных машин при одной технологии изготовления, одной и той же наработке неодинакова, случайная (рис. 2.8, 8.2). А в целом изменение технического состояния машин класса вибрации 1 (рис. 2.3), то есть технического уровня разработки Д (рис. 2.1) протекает плавно, приблизительно по линейной зависимости на участке 75% заданной наработки. Поэтому фактические предельные значения параметров состояния одноименных сборочных единиц машин разного класса вибрации (рис. 2.3) могут значительно отличаться от расчетных или среднестатистических. Это обуславливает, с одной стороны, неполное использование ресурса машин, а с другой – возникновение отказов в процессе их эксплуатации.

Однако рассеивание ресурса одноименных составных частей, скоростей изменения параметров их состояния и других случайных показателей имеет определенные закономерности. Эти закономерности устанавливают на основании статистической обработки и анализа данных разработки, производства и эксплуатации объектов диагностирования. По полученным результатам устанавливают рациональную периодичность планового обслуживания составных частей машин и решают задачи прогнозирования их технического состояния.

Для нормирования предельных значений диагностических параметров технического состояния объекта применяют три метода [14, 17]:

1. Метод назначения предельного значения на основе толерантных границ;
2. Метод определения допускаемого значения по матрице переходных вероятностей;
3. Метод определения допускаемого значения диагностического параметра по его связи со структурным параметром.

Применение каждого из этих методов обуславливается информацией о реализациях диагностических параметров и о характере их связи с показателем работоспособности агрегата.

Первый метод позволяет находить предельное значение диагностического параметра при малой статистической информации, а также в случаях, когда невозможно установить экономические зависимости, например для параметров, связанных с безопасностью движения. В качестве статистических данных используется разовая выборка значений диагностических параметров для объектов контрольной группы машин.

Во втором методе оптимизация проводится по критерию суммарных затрат на ремонт и регулировку (полное и частичное восстановление агрегата) в предположении, что поведение диагностического параметра по мере наработки описывается так называемой «марковской моделью». Для таких параметров реализации отдельных объектов характеризуются резкими изменениями скорости нарастания на соседних участках наработки (циклах контроля), причем наблюдается сильное «переплетение» реализаций параметра для различных объектов. В результате этого совокупность реализации уже не может быть удовлетворительно описана в виде веера плавных кривых.

Примеры нормирования значений диагностических параметров методами толерантных границ и матрицы переходных вероятностей представлены в работе [14].

Нормирование предельных значений диагностических параметров статистическими методами в зависимости от вида контролируемых параметров протекающих в машине процессов и ее функционального назначения подход к определению предельных величин и соответствующих им предельных состояний сопряжений деталей или механизмов может быть различным.

Степень износа подвижных сопряжений характеризуется величиной возникшего в них зазора. Она принята в качестве критерия при большинстве операций разборной и безразборной диагностики, по ней судят о возможности дальнейшей эксплуатации сопряжений или необходимости ремонта.

Эксплуатационные нормы предельных значений диагностического параметра для ресурсных элементов можно определять по формуле

$$P_H = \bar{P} + KS + \Delta P_{III}, \quad (8.2)$$

для функционального спадающего параметра

$$P_H = \bar{P} + KS + \Delta P_{II}, \quad (8.3)$$

где $\bar{P}$ - среднеарифметическое значение параметра серийного выпуска агрегатов и машин; ΔP_{III} – предельное приращение параметра в эксплуатации над номинальным значением (8.1); ΔP_{II} – предельное снижение параметра в эксплуатации над номинальным значением.

Для контроля технического состояния регулировочных работ, текущего и капитального ремонта разрабатываются нормы на 80% и 100% восстановления проектного ресурса. Для 100% восстановления ресурса, что может быть для отдельных элементов, номинальный диагностический параметр отремонтированных или отрегулированных изделий не должен превышать

норму параметра (8.2) проектного качества стадии поставки. При неполном восстановлении ресурса, что чаще всего бывает на практике, диагностический параметр не должен превышать проектного качества больше, чем на 20-25%:

$$P_p = \bar{P} + KS + \Delta P_{\text{пр}}, \quad (8.4)$$

где P_p – предельное приращение параметра после ремонта (регулировки); $\Delta P_{\text{пр}}$ – снижение или повышение предельного приращения диагностического параметра над номинальным значением.

Идеальным вариантом диагностирования может быть состояние объекта линейно зависящее от его наработки, а диагностический параметр связан с состоянием так же линейно. Выразим величину наработки до предельного состояния некоторым законом распределения вероятностей $f(x)$.

Если выбрать величину допустимого диагностического параметра $P_{\text{п}}$, как показано на рис. 8.2, и проводить диагностику с периодичностью X_H , то часть объектов с высокой интенсивностью изменения состояния к моменту первой диагностики будет иметь диагностический параметр выше $P_{\text{п}}$. Эти объекты по результатам диагностики будут направлены на профилактические работы, а остальные оставлены для дальнейшей эксплуатации.

Некоторая часть объектов, прошедших первую диагностику, может достигнуть предельного состояния, то есть отказать до момента второй диагностики. Вероятность отказов после первой диагностики на рис. 8.2 выражается выделенной площадью под кривой плотности вероятностей.

Достоверность определения параметра $P_{\text{пр}}$ (8.4) зависит от точности определения исходной величины диагностического параметра (рис. 8.6), неточностей назначения режимов диагностирования, влияния условий окружающей среды на измерительный тракт, класса применяемых средств диагностирования, ошибки в назначении и выборе точки измерения параметра при использовании переносных средств, неточности установки датчиков и способа крепления датчика, назначения типа датчика с учетом рабочих характеристик, неточности выбора времени усреднения проведенных измерений, отклонения режима диагностирования от назначенного, точности назначенного значения диагностического параметра предельного состояния.

8.6.3. Нормирование классов качественной оценки технического состояния объекта диагностирования в эксплуатации

Определение классов нормативных значений структурных и диагностических параметров технического состояния составных частей является важнейшим этапом разработки систем диагностирования. К основным задачам оценки измеренных параметров состояния машин относятся выбор и обоснование структурных и диагностических моделей машин, разработка классов качественной и количественной оценки их технического состояния. Для разработки классов оценки технического состояния ресурсных и функциональных параметров весь диапазон допустимых значений диагностического параметра от P_H до $P_{\text{п}}$ разбивается на зоны (рис. 8.7). К нормативным

значениям диагностических параметров относятся: «хорошее», «допустимое», «требуется принятия мер», «недопустимое».

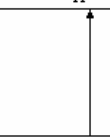
Значения снижения диагностического функционального параметра	Классы качественной и количественной оценки технического состояния		Значения повышения диагностического ресурсного параметра
	Диапазон снижения	Диапазон повышения	
Π_H  Π_{Π}		Недопустимое	 Π_H
		Требуется принятия мер	
		Допустимое	
		Хорошее	
	Допустимое	Отличное	Π_H
	Требуется принятия мер		
	Недопустимое		

Рис. 8.7. Нормы и классы качественной оценки технического состояния функциональных и ресурсных элементов:

Π_H – номинальные (исходные) нормативные диагностические параметры; Π_{Π} – предельные диагностические параметры

Номинальное (исходное) значение параметра Π_H соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Предельные значения («недопустимое») структурных и функциональных параметров соответствуют такому состоянию объекта, когда его дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной или экономически невыгодной. Верхняя граница допустимого значения ресурсного параметра класса «требуется принятия мер» характеризует величину приближения к предельному – «недопустимому» значению, при котором обеспечивается заданный уровень вероятности отказа на предстоящей межконтрольной наработке (см. рис. 8.7). Для функциональных диагностических параметров нормативные значения могут определяться как исходное – «нормативное» (Π_H), «допустимое», «требуется принятие мер» и предельное – «недопустимое» (Π_{Π}). Здесь верхняя граница допустимого значения диагностического параметра «требуется принятия мер» представляет собой ужесточенную величину предельного значения, при которой обеспечивается допустимое с экономических соображений техническое состояние машины.

Классификационные диапазоны предельного приращения (Π_{Π}) диагностического параметра в эксплуатации чаще всего определяют с разностью интервалов между близлежащими областями (зонами) в 20% изменения ресурсного параметра и 10% функционального параметра (рис. 8.7).

Пример разработанных диапазонов эксплуатационной вибрации и шкалу качественной оценки технического состояния, регулировочных и ремонтных работ для ресурсных и функциональных элементов машин приведен на рис. 8.8 [10]. Здесь увеличение эксплуатационной вибрации от исходного L_H до предельного параметра ΔL_{Π} на 20 дБ ресурсные элементы разбиты на классы вибрационного состояния: «Отличное», «Хорошее»,

«Допустимое», «Требуется принятия мер», «Недопустимое» с разностью интервалов между близлежащими областями (зонами) в 8 дБ. Величина в 4 дБ увеличения или снижения исходной вибрации ресурсных элементов указывает на изменения вибрационного состояния – появление зарождающейся неисправности, а разность в 8 дБ свидетельствует об изменении на уровне перехода механизма в другой класс технического состояния. Диагностирование вида неисправности (дефекта) и состояния механизма осуществляется методом сопоставления текущих значений вибрации с нормированными значениями.

Значение диагностических параметров и методы их определения, дБ	Диапазоны вибрации, дБ	Классы качественной оценки	
		технического состояния	регулирующих работ
		Недопустимое	Недопустимое (текущий ремонт)
		Требуется принятия мер	
		Допустимое	Недопустимое (замена элемента)
		Хорошее	Неисправность (регулирование с обкаткой)
			Допустимое
		Допустимое	Предельно допустимое
		Требуется принятия мер	Регулирование
		Недопустимое	Недопустимое

Рис. 8.8. Вибрационные нормы классов качественной оценки технического состояния и проведения регулирующих работ

В общем случае разница между нормативными классами (зонами) технического состояния (приращение или снижение диагностического параметра) на 20% указывает на признак появления неисправности (дефекта), а приращение или снижение на 40% свидетельствует об изменении технического состояния на уровне перехода механизма в другой класс технического состояния.

При системе технического обслуживания «по состоянию» допускаемое значение параметра выступает в качестве основного управляющего показателя. Сравнивая в момент контроля текущие значения диагностических параметров с допускаемыми, выносят решение об исправности объекта либо необходимости проведения технического воздействия – предупредительного ремонта или регулировки.

Работоспособность – состояние изделия, при котором оно может выполнять заданные функции с параметрами, значения которых отвечают тех-

нической документации, то есть находятся в интервале $\Pi_H - \Pi_{\Pi}$ (см. рис. 8.8). На рис. 8.9 приведены обозначения для случая совпадения структурного (S) и диагностического параметра (Π).

На рис. 8.9 приняты следующие обозначения: 1 – без разборки; 2 – после разборки; Δl_P – снижение ресурса; ЗР – зона работоспособности (допустимый прирост параметров); ЗО – зона отказов; ПМ – зона принятия решений для предотвращения отказов; $\Pi_{ПД}$ – предельно допустимое значение параметра; l_P – ресурс изделия; l_{Π} – ресурс предупреждения; Π_H – номинальное (исходное) значение параметра; Π_{Π} – предельное значение параметра; S_{Π} – предельный зазор; l_K – пробег до контрольной разборки.

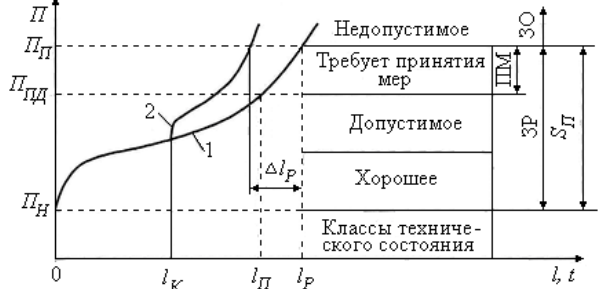


Рис. 8.9. Схема изменения ресурсных параметров технического состояния

Наработка изделия к предельному состоянию Π_{Π} называется ресурсом - l_P . В интервале наработки от $l = l_0$ к $l = l_P$ изделие технически исправно и может выполнять свои функции.

Если продолжать эксплуатировать изделие за пределами его ресурса (рис. 8.9), то есть при наработке $l > l_P$, наступает отказ, то есть событие, которое заключается в нарушении или потере работоспособности.

Общая динамика изменения технического состояния определяется следующим образом:

$$\Pi_i = [\Pi_H \rightarrow \Pi_1 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow \dots \rightarrow \Pi_{ПД} \rightarrow \Pi_{\Pi}].$$

Различают отказы автомобиля и его элементов (агрегатов, систем, деталей).

Итак, из всей совокупности параметров технического состояния (конструктивных Π и диагностических S) особое значение для эксплуатации имеют четыре:

- $\Pi_0 = \Pi_H$, $S_0 = S_H$ – номинальное или начальное значение, которое определяется проектно-конструкторской документацией и качеством изготовления изделия;

- Π_H , S_H – предельное значение, превышение которого приводит к отказу изделию и недопустимое;

- $\Pi_{ПД}$, $S_{ПД}$ – предельно допустимое значение, которое предшествует предельному и сигнализирует пользователю о необходимости принятия мер из возобновления технического состояния;

- Π_i , S_i – текущее значение параметра, величина которого определяется в эксплуатации и свидетельствует о фактическом техническом состоянии изделия.

Перечень неисправностей и условий, при которых запрещена эксплуатация транспортных средств, устанавливается нормативными документами.

Автомобиль может принимать участие в транспортном процессе, если он технически исправный и пребывает в работоспособном состоянии.

Допустимый норматив P_d является основным диагностическим нормативом при периодическом диагностировании, проводимом при ТО автомобиля. Он представляет собой ужесточенное значение предельного норматива $P_{пр}$, при котором обеспечивается заданный или экономически оптимальный уровень вероятности отказа на предстоящем межконтрольном пробеге автомобиля. На основании допустимого норматива ставят диагноз о состоянии объекта и принимают решение о необходимости текущего ремонта или регулировок.

Из практических соображений в зоне работоспособности выделяют так называемую предотказную зону ПМ принятия мер (см. рис. 8.8, 8.9), в начале которой (при $l=l_{п}$) параметр технического состояния достигает своего предельно допустимого $P_{пз}$ значения. Зона ПМ составляет значительно меньшую часть величины ЗР, для ресурсных параметров приблизительно 1/4-1/5 часть ЗР. Значение этого параметра называют также предупредительным. Попадание изделия в эту зону свидетельствует о приближении отказа и необходимости принятия профилактических мероприятий по его предупреждению для поддержки работоспособности.

Контрольные вопросы

1. Определите связи конструкторских и диагностических параметров.
2. На какой стадии жизненного цикла машины определяется номенклатура контролируемых диагностических параметров?
3. Приведите перечень структурных параметров.
4. Приведите перечень функциональных параметров.
5. Определите понятие и наведите примеры ресурсных параметров.
6. Какими свойствами должны обладать диагностические параметры?
7. Какие виды связей могут существовать между диагностическими и структурными параметрами?
8. Что значит единичная и комбинированная связь между структурным и диагностическим параметром?
9. Приведите процедуру поиска наиболее информативных диагностическим параметром.
10. Какие четыре типа задач относятся к проблеме распознавания образов?
11. Какие применяются этапы выполнения процесса отбора диагностических параметров?
12. Приведите алгоритм полного перебора всех возможных комбинаций диагностических параметров.
13. Какими методами производится нормирование исходных и предельных диагностических параметров?
14. Приведите схему иллюстрацию разброса исходных параметров.
15. Какие три метода применяются для нормирования предельных значений диагностических параметров?
16. Как можно нормировать классы качественной оценки технического состояния объектов диагностирования в эксплуатации машины?
17. Представьте пример нормирования классов качественной оценки технического состояния зубчатой передачи по параметру зазора в зубозацеплении.

9. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН

9.1. Виды диагностических моделей и способы их построения

9.1.1. Задачи и виды знаний в построении диагностических моделей

Для решения проблемы создания системы контроля и диагностирования сложных транспортных машин целесообразным является применение системного подхода как методологической основы, отличительные признаки которого следующие: формулировка цели, многоуровневая декомпозиция, установление связей между подсистемами, анализ и последующий синтез фрагментов, направленные на достижение поставленной цели. В приложении к созданию средств контроля и диагностирования системный подход означает согласованный выбор альтернатив между современными конструкторскими решениями и технологическими возможностями, уровнем автоматизации и сложностью программного обеспечения, глубиной диагностирования, надежностью и ценой.

Принято различать две основные диагностические задачи:

- прямая диагностическая задача или задача контроля технического состояния;
- обратная диагностическая задача или задача поиска дефектов на стадии доводки машины или поиска неисправностей в эксплуатации и при ремонте.

Исходя из этого, общее определение диагностической модели можно сформулировать следующим образом. Диагностическая модель объекта – это любое знание, используемое в процессе решения диагностической задачи и представленное в определенной форме.

Спектр форм диагностической модели широк – от образов дефектов (неисправностей) и их признаков в сознании отдельного специалиста-практика по обслуживанию и ремонту объекта диагностирования до математических конструкций, реализованных в формальных диагностических программах.

Прямая и обратная задачи являются по существу выражением в технической диагностике двух фундаментальных подходов общей теории систем, а именно: задача контроля есть выражение функционального подхода; задача поиска дефектов и неисправностей – выражение структурного подхода. Традиционно, используя готовый математический аппарат, для решения первой задачи применяют абстрактные модели (дифференциальное уравнение заданного порядка, аналитическое выражение логической функции, абстрактный конечный автомат), а для решения второй – структурные модели (структурные, комбинационные, последовательностные схемы). Каждая диагностическая модель имеет свои особенности, используемые для поиска дефектов.

Многообразие знаний, используемых субъектом диагностической деятельности при решении обратной задачи, велико. Для его систематизации

выделим пять видов знаний.

1. Знания о типичных (возможных) дефектах (неисправностей), об их причинах и об их прямых и косвенных показателях [9, 22]. Как правило, отдельный дефект не является изолированным явлением. На множестве возможных дефектов объективно существуют разнообразные отношения. Исследуются временные отношения, причинно-следственные отношения и отношения эквивалентности. Также может быть задана мера возможности.

2. Знание структурной организации и морфологического анализа объекта диагностирования. При рассмотрении технического устройства нас интересуют его функциональные связи, определяемые организацией и способом функционирования. Совокупность взаимосвязей элементов – их характер и свойства, определяющие работоспособность механизма.

Способ функционирования устройства проявляется во взаимодействии механизма с управляющими сигналами и внешней средой. Структурная функциональная организация устройства и способ функционирования тесно связаны между собой, находятся в причинно-следственном отношении друг с другом и могут рассматриваться в отдельности только абстрактно. Каждый конкретный способ функционирования механизма определяется его конкретной организацией и функциональными связями с элементами.

В диагностической задаче искомыми являются неизвестные свойства структурной организации обследуемого процесса или механизма, а способ его функционирования считается заданным. Определяемые свойства структуры в дальнейшем будем называть состоянием механизма, состоянием и качеством рабочих процессов.

При работе механизма возникает большое число разнообразных технических процессов, параметры которых доступны непосредственному измерению. Для двигателя это отдача мощности, потребление горючего, выпуск газов, температура, давление, шум, вибрация, процессы подачи и потребления топлива и т. д.

Для объектов «с процессом» данный вид знаний дополняется знанием о функциональном процессе. Будем различать объективную (физическую), функциональную и диагностическую структуры объекта. Две последние обобщает термин «логическая структура». Первая определяется сборочно-разборочными, крепежными, монтажными и т.п. отношениями между неделимыми частями объекта; она существует объективно в единственном варианте. Вторая может иметь несколько разновидностей в зависимости от степени детализации функциональных элементов и определяется динамическими или прагматическими отношениями на множестве этих элементов. Многовариантность диагностической структуры обуславливается, в первую очередь, заданной извне глубиной поиска дефектов.

Для разработки диагностической модели требуется морфологический анализ объекта диагностирования (рис. 9.1).

3. Знания типовых и возможных диагностических параметров (показателей) исследуемых процессов, дефектов и неисправностей [9, 29].

4. Знания инструментальных методов и средств определения действительных значений диагностических параметров [20, 23, 29].

5. Знания о возможных диагностических экспериментах. Диагностический эксперимент есть процесс оценки диагностических показателей при заранее определенных условиях с целью локализации неисправности (дефектов).

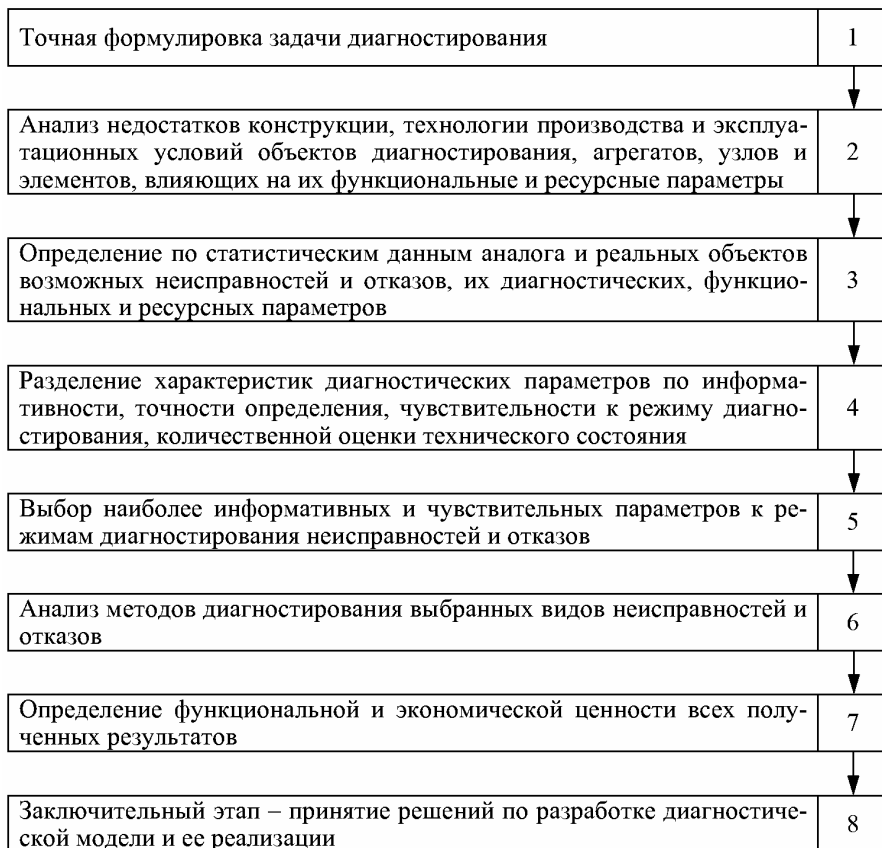


Рис. 9.1. Последовательность морфологического анализа объекта диагностирования

9.1.2. Виды диагностических моделей

Диагностическое обеспечение можно получить в результате анализа одной или нескольких диагностических моделей ОД. Диагностическая модель является формальным представлением объекта, учитывающим возможные изменения его состояний.

Диагностическая модель – это формальное описание механизмов и процессов, учитывающее возможность определять изменения их состояния при проектировании, изготовлении и во время эксплуатации. В большинстве случаев диагностическая модель должна поддаваться математической

обработке связей внутренних и внешних, управляющих и возмущающих параметров и реакций технического объекта.

Диагностическая информация, методы исследований, свойства системы диагностирования отображаются в диагностических моделях.

Модели объектов диагностирования нужны для построения алгоритмов диагностирования формализованными методами. Другим важным назначением моделей объектов диагностирования является их приложение для формализованного анализа заданных (в частности построенных интуитивно, вручную) алгоритмов диагностирования на полноту выявления, на глубину поиска неисправности или на предмет построения диагностических словарей.

Типы моделей. Объект диагностирования может быть в исправном состоянии, если удовлетворяет всем техническим требованиям, которые предъявляются ему в данный момент времени.

Модели объектов бывают функциональные и структурные. Первые отображают только выполняемые объектом (исправным или неисправным) функции, определенные относительно рабочих входов и рабочих выходов объекта, а другие, кроме того, содержат информацию о внутренней организации объекта, его структуре. Функциональные модели позволяют решать задачу проверки работоспособности и правильности функционирования объекта. Для проверки исправности (в общем случае) и поиска неисправностей с глубиной большей, чем объект в целом, нужны структурные модели.

Исправное состояние и все исправные состояния объекта диагностирования отображают его техническое состояние. Поэтому достичь цели диагностирования можно только после анализа многих исправных и неисправных состояний, в которых может находиться объект. Этот анализ можно выполнить теоретически в период разработки нового автомобиля и его агрегатов или экспериментально в период эксплуатации автомобиля. Однако выполнение такого эксперимента в период эксплуатации затруднено из-за большого количества возможных состояний объекта диагностирования или просто технически невозможно. В связи с этим необходимы специальные методы для теоретического анализа многих возможных состояний автомобиля в целом или его отдельных частей. Такие методы основываются на исследовании диагностических моделей. Эти модели определяют причинно-наследственные соотношения между техническим состоянием объекта диагностирования (входными и внутренними параметрами его структуры) и их диагностическими сигналами (выходными параметрами).

В некоторых случаях применяются модели, где используются зависимости (установленные опытным путем) между техническими состояниями объекта и его параметрами, которые не входят в общепринятые функциональные или структурные описания объекта.

Наконец, модели объектов диагностирования могут быть детерминированными и вероятностными. К вероятностному моделированию прибегают чаще всего при невозможности или неумении детерминировано описать поведение объекта.

Формализованной моделью объекта (или процесса) является его опи-

сание в аналитической, графической, табличной или другой форме. Для простых объектов диагностирования удобно пользоваться так называемыми явными моделями, которые содержат вместе с описанием исправного объекта описание каждой из его неисправных модификаций. Неявная модель объекта диагностирования допускает наличие только одного описания, например, исправного объекта, формализованных моделей дефектов и правил получения по заданному описанию и по моделям дефектов описаний всех неисправных модификаций объекта.

В ряде практических случаев в качестве диагностических моделей можно использовать характеристики объекта машины, как статические, так и динамические.

Различные виды диагностических моделей применяют самостоятельно и в различных сочетаниях в зависимости от специфики конкретного агрегата машины.

Выбор модели зависит от условий эксплуатации, возможных конструктивных исполнений, степени изученности этого объекта или его отдельной системы, степени абстрагирования от реальной системы и т. п.

Диагностические модели поиска дефектов или неисправностей могут быть частичные или полные. Нам неизвестны научные работы, в которых бы формально описывалась полная диагностическая модель [46]. Хотя в практике диагностирования использование полных неформальных диагностических моделей – это норма. Пример этому дают разнообразные инструкции по техническому обслуживанию и ремонту сложных технических систем. В них обязательно есть раздел «возможные неисправности и методы их устранения», в котором, как правило, приводится таблица с перечнем неисправностей, их диагностических показателей и методов устранения. В этой таблице сконцентрированы все пять видов диагностических знаний. Кроме того, в инструкциях обычно точно сказано, с чего следует начать осмотр. Если обнаруживаются те или иные особенности функционирования объекта диагностирования, то в инструкции сказано, какие дополнительные наблюдения или измерения необходимо сделать, какие профилактические мероприятия надо провести или, наконец, указывается действие, устраняющее неисправности. Для этого описываются алгоритмы диагностирования и ремонта.

Любая диагностическая модель, формализующая процесс поиска неисправности (дефектов), нужна для двух применений: для построения алгоритмов диагностирования и для построения эталонной модели объекта диагностирования. При автоматизации процессов диагностирования алгоритм поиска неисправности служит основой для синтеза технических средств диагностирования, а эталонная модель является носителем исправного технического состояния в этих средствах.

Диагностические модели и алгоритмы диагностирования разрабатывают на стадии проектирования для доводки макетных и опытных образцов, создания внутренних и внешних средств диагностирования. На стадии эксплуатации машин диагностические модели и алгоритмы диагностирования разрабатывают для решения частных задач поиска мест и видов неисправ-

ностей и отказов.

Наибольшего эффекта при диагностировании объекта можно достичь только в том случае, когда решения, принимаемые при проектировании отдельных элементов системы диагностирования, будут согласованы между собой. В процессе проектирования определяют эффективность системы диагностирования, которая может достигаться на практике.

Оптимальные решения задач технической диагностики сложных объектов могут быть получены только в результате анализа множества состояний, в которых эти объекты могут находиться в жизненном цикле. В связи с этим требуются специальные методы для теоретического анализа множества возможных состояний сложных технических объектов на диагностических моделях.

Теоретическая диагностика до сих пор не имеет полных диагностических моделей по следующим причинам [48]. В основном берут известный математический аппарат и применяют его к ограниченной этим аппаратом диагностической задаче – такова сегодня традиция в теории диагностирования. А с другой стороны, три вида диагностических знаний (1, 2, 5) не формализуются адекватно в рамках любого из существующих математических аппаратов. Подобная ситуация имеет место и в других областях науки и практики. Альтернатива установившейся традиции – это сочетание формальных и неформальных методов анализа в рамках целостного единого процесса исследования. Реализация такого подхода возможна в развитии теории диагностических экспертных систем.

Можно утверждать: не тот хороший диагност, кто умеет строить диагностические модели, а тот, который умеет строить такие модели, которые позволяют находить фактические неисправности (дефекты) в реальных объектах диагностирования.

Модель, не содержащую в достаточном объеме хотя бы одного из видов диагностических знаний, называют частной диагностической моделью.

Построение формальной диагностической модели – процесс неоднозначный. Несмотря на объективный характер модели, в деятельности исследователя очень много субъективного. Это, прежде всего, уровень детализации объекта диагностирования. Диапазон «степеней свободы» при построении динамической диагностической модели в основном ограничивается перечнем типовых динамических звеньев, а при построении логической модели – принципом функциональной близости, заключающимся в том, что на любом уровне деления объекта диагностирования на части каждый диагностический элемент должен иметь только один выход.

Диапазон варьирования диагностической структуры всегда имеет два предельных случая. В первом случае, когда установлен уровень деления объекта диагностирования на простейшие неделимые части, диагностические элементы модели должны отражать эти неделимые части (детали). Во втором противоположном случае, когда объект диагностирования физически или директивно вообще не делится на части, в качестве единственного диагностического элемента модели рассматривается сам объект. Внутри этого диапазона диагностические элементы всегда отражают делимые части

объекта.

Явная модель объекта диагностирования представляет собой совокупность формальных описаний его исправного состояния и всех возможных неисправных состояний. **Неявная модель** объекта диагностирования содержит, как правило, одно формальное описание объекта и чаще всего исправное его состояние, по которому можно в дальнейшем построить любые модели неисправных модификаций.

Общие требования к моделям исправного объекта диагностирования, а также к моделям неисправностей заключаются в том, что они должны с необходимой точностью описывать объекты диагностирования.

Объекты диагностирования, все сигналы которых могут приобретать значения из непрерывных множеств чисел, относят к классу аналоговых (непрерывных). К классу дискретных объектов относят те объекты диагностирования, значения сигналов которых, задаются на конечных множествах чисел, а время задается дискретно. Характерно, что аналоговый объект диагностирования можно подать как цифровой, но не наоборот. Например, аналоговый объект диагностирования – систему охлаждения двигателя автомобиля можно описать входным параметром – частотой вращения вала вентилятора, и выходным – температурой охлаждающей жидкости. Оба параметра являются непрерывными. Однако, если подать их в дискретных интервалах (например, в интервалах допустимых значений), то и сам объект диагностирования становится дискретным или цифровым. Если значения части диагностических параметров объекта диагностирования заданы на непрерывных, а значение других – на конечных множественных числах, то объект является аналогово-цифровым (гибридным).

Непрерывные модели описывают состояние аналогового или дискретного объекта диагностирования в том случае, когда смоделированные процессы проходят непрерывно, а время является аргументом соответствующих функций. Непрерывные модели наиболее распространены, потому что основные процессы изменения качества технических объектов носят постепенный характер.

Непрерывный объект диагностирования во время решения задачи диагностирования можно представить детерминированной моделью – адекватным математическим (формальным) описанием в виде совокупности функциональных соотношений.

Исправный или неисправный объект диагностирования представляется как динамическая система, состояние которой в каждый момент времени определяется значениями входных, внутренних и выходных параметров. В таком случае диагностическую модель называют динамической. Отдельным является случай, когда состояние объекта диагностирования не зависит от времени. Такая модель является статической. Например, статические модели используются для описания электронных блоков автомобиля.

Непрерывную диагностическую модель объекта можно представить в виде аналитических описаний или графоаналитических представлений основных свойств объекта. Это позволяет отвлечься от его физической природы, формализовать решение диагностической задачи и разработать алго-

ритм диагностирования в виде совокупности последовательных операций. Для осуществления диагностических процедур и создания средств их реализации широко используется теория тестов, распознавания образов, теория вопросников и др.

Теоретический анализ (мысленный эксперимент) многих возможных состояний автомобиля в целом или его отдельных частей производят сравнением исправных и неисправных состояний, в которых может быть объект, и экспериментально в период эксплуатации автомобиля. Однако, проведение такого эксперимента в эксплуатации осложняется из-за большого количества возможных состояний объекта диагностирования. Такие методы основываются на исследовании диагностических моделей.

В качестве диагностических моделей может рассматриваться формальное описание объекта для решения задач диагностирования. Описание объектов любых типов, например, механических, электрических, электро-механических, пневмогидравлических и др. может быть представлено в аналитической форме дифференциальными уравнениями, логическими соотношениями, в табличной, векторной, графической форме, в виде передаточных функций, структурно-последовательной в пространстве состояний и другой форме. Они представляют собой зависимости выходных диагностических параметров от входных. При этом неисправности автомобиля моделируются как недопустимые изменения значений, диагностических параметров.

Сложные технические объекты как объекты моделирования обладают функциональным и структурным разнообразием, что и определяет вид соответствующей диагностической модели. Все диагностические модели, используемые для получения диагностического обеспечения условно можно классифицировать на следующие **группы моделей**: непрерывные, дискретные, гибридные, специальные. Классификация непрерывных, дискретных и специальных диагностических моделей представлена на рис. 9.2.

Дискретные диагностические модели определяют состояние объекта только для последовательности дискретных значений независимой переменной, например, времени, но без учета характера протекания процесса в промежутках. Эти модели можно представить конечно-разностными уравнениями, дискретными уравнениями в пространстве состояний или конечными автоматами.

Дискретные диагностические модели в основном используют при описании импульсных и цифровых устройств, поскольку в них прерывистая структура импульсных сигналов служит принципиальной основой их полезных функций. Однако дискретные диагностические модели можно применять и при разработке диагностического обеспечения в процессе проектирования непрерывных объектов.

Гибридные (комбинированные) модели описывают реальные объекты, включающие устройства как непрерывного, так и дискретного действия.

У специальных моделей построение определяется спецификой объектов и особенностями диагностического обеспечения (функциональные модели, модели информационных потоков и др.).

Диагностическое обеспечение проектируемой машины разрабатывают в ходе анализа диагностической модели, который выполняют различными методами с использованием разнообразного математического аппарата.

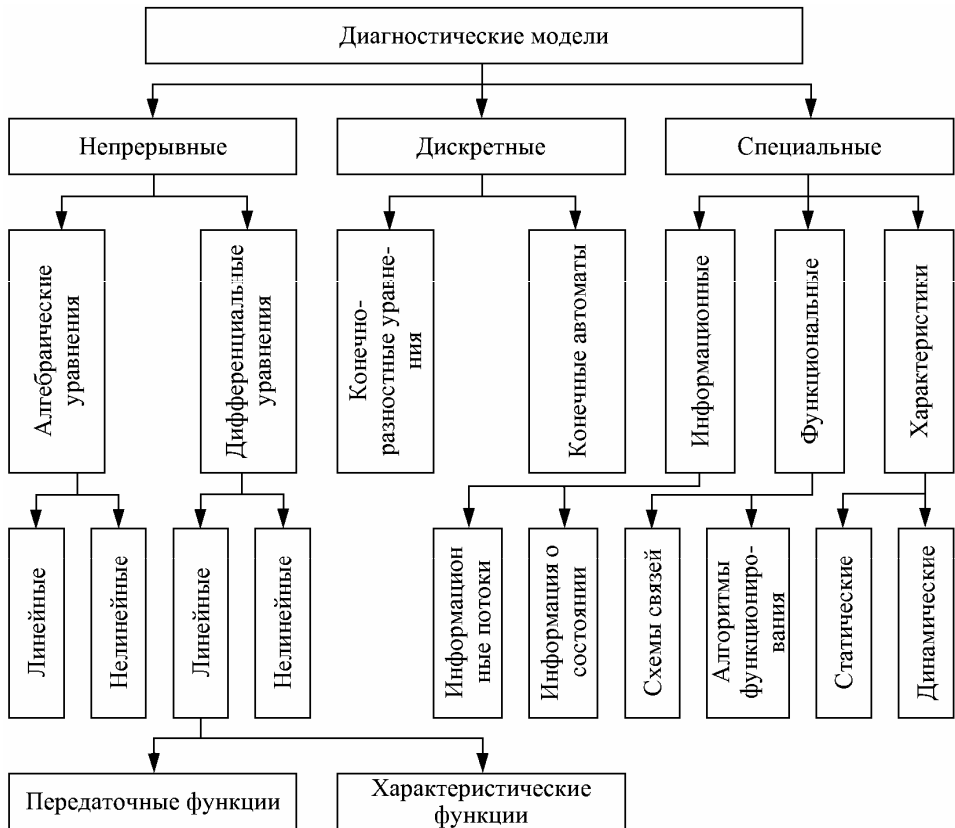


Рис. 9.2. Классификация диагностических моделей

По методам представления взаимосвязей между состоянием объекта, его элементами и параметрами выходных сигналов методы построения и анализа моделей можно разделить на аналитические, графоаналитические, функционально-логические и информационные.

Аналитическими моделями являются различные математические соотношения, связывающие между собой внешние измеряемые параметры и внутренние параметры элементов объекта контроля. О характере и степени влияния дефектов в объекте, проявляющемся в изменении коэффициентов модели, можно судить по степени изменения статических и динамических характеристик объекта диагностирования.

Аналитические методы позволяют в ходе анализа применить удобные способы оптимизации и получить соотношения, характеризующие машину при изменении ее состояния. К аналитическим методам анализа диагностических моделей относят методы малого параметра, теории чувстви-

тельности, планирования эксперимента, распознавания образов и математической логики.

Аналитические модели более полно описывают процессы диагностирования, позволяют получать соотношения между состояниями объекта, диагностическими параметрами и показателями качества в аналитическом виде (уравнения различного вида, формулы для преобразований сигналов, функции чувствительности и др.). С помощью аппарата математической логики можно анализировать специальные диагностические модели, характеризующиеся различным числом состояний. Однако при большом количестве структурных элементов и внешних эксплуатационных факторов, которые действуют на систему, получаются громоздкие модели, что затрудняет их применение для получения выходных параметров.

В этом случае для решения задач различимости дефектов объектов механического или пневмогидравлического типа предлагается использовать топологическую или графическую модель. Топологическая модель задается в пространстве параметров совместным представлением совокупности физических свойств объекта и его топологии в виде графа или матрицы с указанием причинно-следственных связей между физическими свойствами.

Графоаналитические модели – это своеобразные диаграммы, отображающие процессы в объектах и позволяющие вскрывать важные для диагностических задач связи и влияния (описания объектов на базе теории множеств и теории графов).

Графоаналитические методы представляют собой разнообразные комбинации графических и аналитических методов анализа.

При выполнении анализа непрерывных моделей, представленных линейными алгебраическими и дифференциальными уравнениями, а также при использовании теории графов широко применяют матричный аппарат. Это позволяет представить решение и исследовать системы уравнений в удобной и лаконичной форме, а кроме того, облегчает процедуру построения алгоритмов для реализации процессов на ЭВМ.

Графические методы обладают большой наглядностью и могут служить как для непосредственного анализа, так и для иллюстрации аналитических методов. Они весьма полезны при исследовании быстро протекающих процессов или характеристик. Среди графических методов особое место занимают методы, основанные на теории графов, ориентированных и неориентированных. При исследовании структурных свойств графов часто оказывается удобным использование матричных представлений.

Имитационные методы дают возможность экспериментально исследовать сложные внутренние взаимодействия с большой размерностью по количеству изменяемых связей между элементами модели, изучать действия на функциональные системы информационных и организационных изменений, которые имеют случайный характер, нелинейность, ограничения различных типов. По имитационным моделям можно оценить поведение системы в новых ситуациях, проверять новые стратегии и правила принятия решений.

По глубине описания модели объекта делятся на линейные и нели-

нейные, детерминированные и стохастические.

По способу формирования модели объекта можно выделить три группы: аналитические, эмпирические (экспериментальные) и полуэмпирические (экспериментально-аналитические). Преимущество аналитических моделей – их общность для описания процессов в широком круге объектов, а недостатки – невысокая точность в ряде случаев из-за отсутствия адекватных моделей для сложных процессов. Преимущество эмпирических моделей – их точность, а к недостаткам относятся необходимость большого объема экспериментов и адекватность моделей для ограниченного круга объектов и условий. Наибольшее распространение получили полуэмпирические модели, при формировании которых используются как общие физические закономерности, так и данные экспериментов, которые позволяют учесть многие особенности процесса, не учитываемые аналитическими моделями. Для выбора наиболее удобной формы уравнений для эмпирических и полуэмпирических моделей используются методы теории идентификации.

Приведенную на рис. 9.2 классификацию диагностических моделей можно дополнить физическими, символическими и интуитивными моделями (рис. 9.3) [49].



Рис. 9.3. Классификация диагностических моделей

Вероятностные модели разделяются на информационные, опознавательные образы и корреляционные. В информационных моделях реальный объект составляет совокупность исходных процессов, которые несут опре-

деляющее количество информации о состоянии объекта. Под вероятностными моделями опознавательных образов понимают совокупность исходных процессов, которые принадлежат одному классу совокупности значений структурных параметров.

Корреляционные модели определяют степень взаимосвязи исходных процессов и структурных параметров. Детерминированные модели можно разделить на аналитические, функциональные, конечные автоматы, адаптивные и экстремальные.

Адаптивные модели синтезируют в процессе идентификации реального объекта и исходной модели, идентичной реальному объекту при номинальных значениях его структурных параметров. Экстремальные модели используются в случае, если состояние реального объекта характеризуют не значениями структурных параметров при фиксированном режиме его работы, а зависимостями обобщенного параметра реального объекта от обобщенных параметров его частей при соответствующих режимах его работы. В этом случае под моделью понимают зависимости, которые получают при оптимизации обобщенного параметра реального объекта по результатам настройки обобщенных параметров его частей при условии, что эти настройки можно осуществить на реальном объекте.

Интуитивная модель характеризует представление человека о связях исходных процессов реального объекта и его структурных параметров. Представление реального объекта той или иной моделью определяется степенью наших знаний о нем. Модель строится на основании обобщения данных эксперимента или наблюдения, которые отображают свойства реального объекта как объекта диагностики.

В процессе моделирования в первую очередь решают вопрос о возможности получить детерминированную модель. Она простая и указывает конкретный путь к выбору метода диагностирования и средств его реализации без предварительных статистических исследований реального объекта или сбора статистической информации о его функционировании в процессе эксплуатации.

Диагностическая модель определяет также методы диагностирования, самые распространенные из которых – методы диагностирования дискретных объектов и их функционирования. Эта модель описывается аппаратом математической логики. Разработку метода диагностирования и его оптимизацию сводят к составлению логических функций и их оптимизации, то есть эта задача сугубо математическая. Конечно, задачу разработки методов диагностирования непрерывных объектов можно возвести к математической задаче в случае, когда функционирование объектов описывается математическими зависимостями.

Таким образом этот метод диагностирования в первую очередь определяется математическими зависимостями, которые достаточно точно описывают функционирование объекта. В этой связи методы диагностирования можно разделить на индикационные, поисковые и интуитивные.

Индикационные методы диагностирования основываются на автоматической индикации состояния структурных параметров функциони-

рующего объекта диагностики. Сигналы, которые обеспечивают индикацию значений структурных параметров, снимают с датчиков, установленных на объекте.

Поисковые методы диагностирования основаны на определении в процессе поиска и выхода значений структурных параметров за пределы допусков. Различают два вида поиска: последовательный и комбинационный. При комбинационном поиске структурные параметры, которые вышли за пределы допусков, определяют путем выполнения заданного количества проверок, порядок проведения которых не имеет значения. При последовательном поиске проверки выполняют в соответствующем порядке. Результат каждой проверки анализируют сразу после его получения, и если не определены структурные параметры, которые вышли за пределы допуска, то проводят следующую по порядку проверку.

Последовательный и комбинационный поиски могут быть активными и пассивными. При активном поиске определяют такие структурные параметры, которые оптимизируют обобщенный параметр объекта в данный момент эксплуатации при неизменных структурных параметрах.

При идентификационном поиске устанавливают идентичность объекта и его модели структурным параметрам при диагностировании. В качестве исходной берут модель, идентичную реальному объекту при номинальных значениях структурных параметров. Такой поисковый метод пассивен из-за того, что диагноз получают по результатам сравнения значений структурных параметров с их номинальными значениями.

Поисковый метод можно трактовать и как задачу распознавания образов, которые являются частным случаем статистической задачи проверки гипотез. Тогда этот метод можно сформулировать так: по результатам некоторого количества измерений параметров исходных процессов необходимо принять оптимальное решение о принадлежности его состояния к тому или иному классу общей совокупности состояний.

Интуитивный метод диагностирования – это метод, при реализации которого необходимую информацию получает оператор, порядок действий которого (стратегия поиска) обуславливается не коротким алгоритмом, а его личным опытом (интуицией).

Автомобиль как сложная система имеет части разной физической природы, процессы в которых описываются математическими зависимостями. Это привело к большому количеству разработанных разнообразных методов их диагностирования. Практически любой из этих методов может быть использован для диагностирования автомобиля. При этом задача заключается в оптимальном выборе определенного метода с точки зрения получения минимума стоимости поиска. Вообще преимущество должно быть на стороне детерминированного метода как самого простого, корректного и универсального. В противовес ему при вероятностно-детерминированных и вероятностных методах необходимо первоначальное накопление статистической информации по результатам испытаний и эксплуатации. Результат диагноза при этом имеет вероятностный характер. Главный изъян этих методов – необходимость повторных накоплений статистической информации при кон-

структивных изменениях и изменении условий эксплуатации. Преимущество детерминированных методов над вероятностными становится очевидным, когда глубину диагноза определяют не обобщенным параметром системы, а ее структурными параметрами. Потребность в такой глубине диагноза возникает при прогнозировании отказов элементов системы.

Исходные процессы определяются структурными параметрами, их взаимосвязью, возмущениями и режимом функционирования. Наиболее информативными исходными процессами являются процессы при динамическом режиме действия механизма. Поэтому динамический режим работы механизма при его нормальном функционировании является наиболее благоприятным с точки зрения диагностирования этого механизма.

В общем виде динамический режим работы механизма может быть описан дифференциальными уравнениями, которые устанавливают связи между исходными процессами, возмущениями, структурой и структурными параметрами механизма.

Большой класс объектов диагностирования допускает применение детерминированного моделирования из-за своей сложной структуры, а создание полной аналитической модели усложнено из-за отсутствия соответствующей информации. В этом случае для решения задач распознавания технических состояний объектов механического или пневмогидравлического типа используют случайные модели. Самые характерные из них – это регрессионные. Эти модели строятся с помощью методов математической статистики, а именно дисперсного и регрессионного анализа. Регрессионные модели отображают связь или взаимосвязь диагностических, структурных параметров или параметров надежности автомобиля. Дискретные или топологические модели задаются в рабочем диагностическом пространстве параметров в виде совокупности физических свойств объекта диагностирования и его структуры в виде графа или бинарной матрицы с причинно-следственными связками между физическими величинами. Если модель подается в виде графа, то вершинам отвечают параметры объекта диагностирования (выходные и входные, основные и вспомогательные, структурные параметры), а дугам – известные аналитические или статистические зависимости и качественные соотношения между параметрами.

Разновидностью топологических моделей являются двузначные логические модели, которые охватывают большой класс реальных технических объектов, изображаемых блочной функциональной или структурной схемой: система зажигания, система освещения и сигнализации, система питания с впрыском топлива и т. п.

9.1.3. Функциональное и информационное моделирование

Существует ряд диагностических моделей, которыми описывают процессы, проходящие в объекте диагностирования безотносительно времени, поэтому их нельзя отнести ни к дискретным, ни к непрерывным. Такими моделями являются информационные, функциональные и технические характеристики.

Модели информационных систем или информационные модели можно разделить на такие, которые касаются передачи данных; информационно-измерительные; преобразования информации; информационно-поисковые; хранения информации; управления; экспериментальных исследований. Самыми распространенными в практике диагностирования автомобилей являются модели, которые объединяют под названием системы передачи информации. Такими являются, например, системные анализаторы двигателя (FSA 560 фирмы BOSCH), моторные тестеры MOT-240, MOT-251 этой же фирмы.

Информационные модели представляют собой информационные описания систем и процессов контроля и диагностирования, которые циркулируют в объектах машины. В этом случае диагностирование рассматривают как преобразователь информации. К информационным диагностическим моделям также относят и описания, представляющие собой информационную оценку изменения состояния. Информационные диагностические модели наиболее универсальны, поскольку не зависят от принципа построения и действия объекта диагностирования.

Основой для построения моделей служат функциональная, структурная и принципиальная схемы объекта, которые позволяют получить все интересные зависимости и набор диагностических параметров, если известны алгоритм функционирования объекта и физические процессы в нем.

При построении и исследовании диагностической модели необходимо учитывать следующее: существующие теоретические разработки для аналогичных объектов, возможность и уровень их использования, информативность и достоверность модели, особенности проявления отказов в системе, имеющей функциональные и конструктивные отличия, необходимость и достаточность глубины поиска дефекта, возможность практической реализации процедур контроля работоспособности и поиска дефектов, уровень контролепригодности объекта.

Функционально-логические модели – это модели, построенные на основе логического анализа функциональных схем устройств, учитывающие их особенности, а также описывающие их работу в режиме диагностирования. Логическими моделями можно представить большой класс реальных технических объектов в виде блочной функциональной или структурной схемы. При построении логической модели каждому функциональному элементу ставится в соответствие совокупность логических блоков так, чтобы выход каждого логического блока характеризовался только одним параметром и при этом остаются только те входы, которые формируют данный выход.

Применение логической модели основывается на применении допусковых способов диагностирования, характеризующихся тем, что заключение о правильности функционирования объекта делается на основании качественной оценки некоторой совокупности диагностических параметров. Если значение сигнала находится в допустимых пределах, то значение данного выходного сигнала полагается равным 1, в противном случае – 0.

Функциональные диагностические модели отражают совокупность

операций, выполняемых машиной и ее отдельными частями (объектами) в процессе функционирования. В качестве функциональных диагностических моделей рассматривают схемы связей между отдельными объектами, диаграммы прохождения сигналов (ориентированные графы) или алгоритмы функционирования.

Если модель представляется в виде графа, то вершинам соответствуют параметры объекта (выходные и входные, основные и вспомогательные, структурные параметры), а дугам – известные аналитические или статистические зависимости и качественные соотношения между параметрами.

Функциональная модель объекта контроля может отличаться от структурной схемы выбором функциональных узлов и элементов. Так, при построении обычной структурной схемы исходят из закономерностей процессов, описывающих работу устройства. При построении функциональной модели для поиска неисправностей выбор функциональных элементов (узлов) определяется точностью локализации неисправностей (например с точностью до одного модуля).

Функциональная модель строится при определенных предположениях, которые в основном сводятся к тому, что для каждого функционального элемента заданы номинальные значения входных и выходных сигналов, их функциональная зависимость и способ контроля. Функциональный элемент считается неисправным, если при его номинальных входных сигналах выходные сигналы отличаются от номинальных.

9.1.4. Логическое и математическое моделирование

Логическое моделирование составляет основу исследований всех процессов и явлений в человеческой деятельности. Общий подход к моделированию процессов, требующих учета при исследовании объектов диагностирования и проектирования можно представить схемами на рис. 9.4.

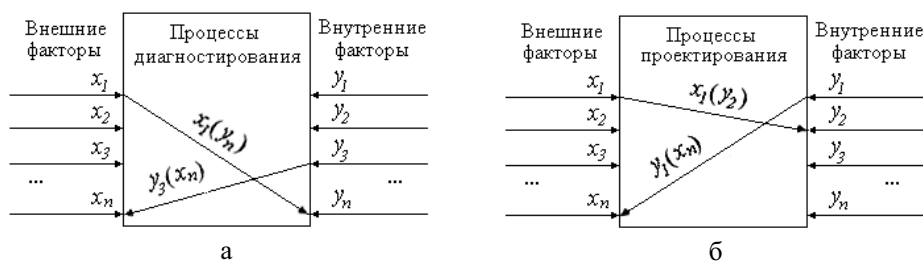


Рис. 9.4. Логические модели объектов исследований

Если объектом исследований являются, например, процессы дорожного диагностирования (рис. 9.4, а) трансмиссии и двигателя автомобиля, то необходимо учитывать влияние:

- внешних факторов (дорожные условия, температура, влажность, атмосферное давление, ветер и т. п.);
- внутренних факторов (вес автомобиля, давление и температура на-

полнителя шин, температура тормозных механизмов, состояние (износ) шин, зубчатых передач и подшипниковых узлов; состояние, объем и уровень масла; состояние кузова, подвески, двигателя и т. д.);

- точности и достоверности средств измерения диагностических параметров (разгон, замедление, начальная скорость торможения, тормозной путь, момент экстренного торможения и т. д.);

- взаимосвязи внешних (x) и внутренних (y) факторов и их влияние на достоверность диагностирования.

Цели создания объекта проектирования (рис. 9.4, б) должны учитывать требования окружения объекта [39, 69]:

- непосредственное окружение, где будет работать объект;
- непрямоe окружение, к которому относятся факторы научно-технические, экономические и социальные;

- взаимосвязь непосредственных и не прямых факторов.

Для наглядности и систематизации целей (x и y) удобно использовать граф целей. Все окружение разбивается на уровни в зависимости от их масштаба. На первом уровне размещается сфера, которая учитывает интересы всего человечества; на втором – интересы государства; дальше – сфера интересов отрасли, предприятия, проектной организации, отдела; наконец, сфера личных интересов. На каждом уровне возникают свои цели, подчиненные целям более высокого уровня. [39]

Простую модель объекта проектирования (рис. 9.4, б) можно привести на примере разработки СТО или АТП. Здесь при обосновании проектирования необходимо учитывать:

- внешние факторы (количество автомобилей в регионе; ожидаемое количество автомобилей, поступающих на диагностирование, техническое обслуживание и ремонт; рынок запчастей; стоимость видов работ по диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту в регионе; место расположения проектируемых СТО или АТП относительно потребителей услуг и т. д.);

- внутренние факторы (проектирование отдельного предприятия или создание участка на существующих площадях СТО (АТП); объем строительных работ или реконструкции; наличие и необходимость приобретения диагностического и другого оборудования и приборных средств; наличие и обучение квалифицированного персонала; количество постов; затраты на эксплуатацию здания и оборудования предприятия (участка); коммунальные платежи по эксплуатации предприятия; аттестация предприятия и его метрологическое обеспечение; налоговые затраты и т. д.);

- влияние уровня решаемых задач ($x(y)$ и $y(x)$) на эффективность работы предприятия.

Логическое моделирование объекта диагностирования представляет собой процедуру проверки функционирования логической схемы, математической модели объекта диагностирования, отражающая структурную совокупность компонентов объекта, связи между компонентами и связь объекта с внешней средой. Для выполнения логического моделирования необходимы следующие компоненты: внешнее описание схемы, внутреннее

описание представления схемы работы объекта, входные воздействия, библиотека знаний неисправностей, их диагностические параметры. Здесь в большинстве случаев представляется графическое описание на логическом и функциональном уровне. Отображения из физической области на логический и функциональный уровень облегчают процесс обнаружения неисправности и отказа. В сложных объектах диагностирования основной целью моделирования неисправностей заключается в получении списков проверяемых и непроверяемых неисправностей.

При построении логической модели каждому функциональному элементу объекта диагностирования ставится в соответствие совокупность логических блоков так, чтобы выход каждого логического блока характеризовался только одним параметром, и при этом остались только те входы, которые формируют этот выход. Применение логической модели основывается на применении пороговых способов диагностирования, которые характеризуются тем, что вывод о правильности функционирования объекта диагностирования делается на основании качественной оценки некоторой совокупности диагностических параметров. Если значение сигнала находится в допустимых пределах, то значение выходного сигнала берется как логическая «1», в другом случае – логический «0».

Логическая диагностическая модель всегда позволяет найти такую условную или безусловную последовательность элементарных проверок, которая гарантирует фиксацию всех логически неисправных диагностических элементов. Кроме того, логическая диагностическая модель – это идеальный аппарат для построения систем функционального диагностирования распределенных объектов диагностирования. Здесь каждый диагностический элемент взаимно однозначно моделирует пространственно обособленную часть объекта диагностирования, и тем самым обеспечивается изоморфизм объекта диагностирования и его диагностической модели [5, 37].

Логическая диагностическая модель не только отражает определенную диагностическую структуру объекта диагностирования, но может дополнительно включать следующие сведения: перечень точек подачи рабочих и тестовых воздействий; перечень точек проверки диагностических параметров с описанием способов их оценки и приближенными данными о затратах времени на оценку (контрольные точки); перечень допустимых значений диагностических параметров; описание возможностей пробных замещений диагностических элементов и возможностей появления различных дефектов одного и того же диагностического элемента (обрыв, перегрузка, расстройка и др.). Таким образом, она в достаточной мере описывает знания второго и пятого видов.

Логическая диагностическая модель участвует в диагностическом эксперименте косвенно – она служит средством для разработки оптимального алгоритма поиска неисправности (дефектов). Поэтому для нее должно быть определено понятие «модели дефекта». Моделью дефекта (неисправности) называют формализованное представление факта проявления физического дефекта в виде неправильных значений сигналов на входах или выходах диагностических элементов.

Обе разновидности структурных диагностических моделей имеют существенный недостаток – объем знаний первого вида в них существенно ограничен: логическая модель описывает только неисправности (дефекты), нарушающие логику функционального процесса, а динамическая – динамику этого процесса. Интересный опыт в данном отношении имеет теория надежности, ее структурные модели для расчета количественных показателей надежности включают только такие элементы, возможность отказа которых по каким-либо причинам и для любых последствий в заданном временном интервале не вызывает сомнений. Иными словами, уровень детализации элементов структурной модели объекта назначается, исходя из статистических данных по интенсивности отказов его физических элементов. Это означает, что учитываются возможные неисправности этапа эксплуатации.

Комбинационные и последовательностные схемы, являясь специфической структурной диагностической моделью цифровых устройств, также требуют задания модели неисправности (дефектов). Их специфика в классе логических моделей определяется главным образом многообразием входных наборов. Часть этих наборов используют в качестве контрольных или диагностических тестов. Эти модели всегда конструктивны при решении задач синтеза схем функционального контроля и определения контрольных тестов. Задача же поиска неисправности (дефектов) (определение диагностических тестов) с необходимостью ставит проблему изоморфизма физической структуры объекта диагностирования и диагностической структуры его модели. Важность проблемы изоморфизма подчеркивается также в работах по исследованию диагностическими моделями программных средств. Если эта проблема решена, то только тогда выводы, полученные на диагностической модели, будут справедливы и для объекта диагностирования. Кроме того, применение конечных автоматов в качестве диагностических моделей цифровых устройств остро ставят проблему эквивалентности неисправности (дефектов). Контроль внешних выходов явно недостаточен. Необходимы серьезные исследования контролепригодности цифровых устройств с целью расширения множества диагностических параметров путем назначения внутренних контрольных точек. Структурные конечные автоматы можно отнести к классу «полуструктурных» диагностических моделей. Они имеют структуру, но она никак не используется в организации диагностического эксперимента, который строится на идеологии черного ящика.

Структурные схемы и структурные конечные автоматы – это модели, которые используются разработчиками систем в процессе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Эти же модели без существенных изменений применяются для решения диагностических проблем. Логические же модели – это собственный формальный аппарат технической диагностики.

Достоинство динамической диагностической модели – это возможность описания диагностического эксперимента по схеме аппарата теории идентификации. Задают входную функцию, вычисляют динамические характеристики в определенных точках структурной схемы и получают разность этих характеристик с экспериментальными характеристиками, изме-

ренными в соответствующих точках объекта диагностирования. Но здесь создается проблема технической возможности измерения динамических характеристик объекта диагностирования в тех контрольных точках, которые предписываются данной динамической диагностической моделью. Поэтому опять же должен существовать изоморфизм между структурой объекта диагностирования и структурой его диагностической модели. При этом весь диагностический эксперимент является однородным и безусловным. Элементарная проверка – это измерение мгновенного значения динамической характеристики в заданной контрольной точке. Динамические объекты диагностирования, как правило, имеют контуры обратных связей. Аппарат теории идентификации с его однородным диагностическим экспериментом при наличии «моделей-соответствий» позволяет относительно просто автоматизировать процесс диагностирования с глубиной, превышающей контуры обратных связей. Динамическая диагностическая модель конструктивна в том смысле, что она непосредственно участвует в диагностическом эксперименте в качестве носителя исправного технического средства.

Во многих случаях наиболее полно изучить и проанализировать объект диагностирования можно лишь при условии, что его модель имеет математический вид. Математическое моделирование приобретает математическую ценность, когда возникает необходимость изучить особо сложные процессы диагностирования.

При синтезе и анализе средств контроля и диагностирования требуется формальное описание проявления дефектов при функционировании объектов. Исходной информацией для этого служит математическая модель объекта при его нормальном функционировании. Считается, что появление дефекта приводит к изменению параметров модели, поэтому необходимо конкретизировать характер этих изменений для возможных дефектов и учесть их в модели. Такая модель по своей структуре чаще всего подобна модели объекта при отсутствии дефектов и отличается от нее отдельными компонентами.

Математическая модель – формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностирования. Математическая модель объекта – совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений, эмпирических формул, таблиц, графиков, матриц, описывающих характеристики объекта.

Любая математическая модель лишь приближенно отражает протекание процессов в реальном объекте. Для оценки меры близости поведения реального объекта и модели необходимо ее идентифицировать, то есть установить соответствие поведения модели и реального объекта.

Этап математического моделирования объекта познания заключается в моделировании качественной либо количественной (численной) связи между определенными параметрами объекта познания, для чего необходима локализация познавательной процедуры, то есть задание (или нахождение) той области во времени и в физическом пространстве или в структуре объекта, к которой должен быть отнесен результат процедуры.

Получив модель объекта познания, ее, как правило, необходимо опти-

мизировать для того, чтобы она как можно ближе характеризовала объект познания.

После построения и оптимизации математической модели объекта познания необходимо оценить ее достоверность – адекватность объекту познания при определенных допущениях.

Математическая модель является конечным продуктом процесса абстракции, формализации изучаемого явления. На рис. 9.5 представлена схема построения математической модели. Первой стадией разработки математической модели является построение структурной модели объекта диагностирования. Задачей математического обеспечения является формализация структурной модели. Следующая стадия – математизация структурной диагностической модели, установление необходимой совокупности параметров и функциональных характеристик, установление определенных связей между ними.

Построение математической модели. С целью сокращения объема работ по диагностированию объекта, установления взаимосвязи между параметрами, вскрытия физической сущности происходящих процессов, идентификации измеряемых величин и параметров технического состояния, применяют методы физического и математического моделирования. При физическом моделировании модель и исследуемый объект, а также происходящие в нем процессы имеют одну и ту же физическую природу. Примером такого моделирования является исследование процессов коррозии и изнашивания на образцах-свидетелях. Математическое моделирование осуществляют с помощью математических моделей формализованного представления об объекте и происходящих с ним процессов. При разработке таких моделей широко применяют системный анализ процессов функционирования и изменения объекта во времени.

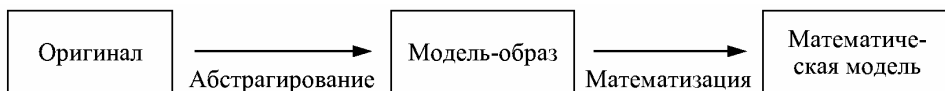


Рис. 9.5. Схема построения математической модели

В результате проведенной математизации и образуется то, что принято называть математической моделью. С формальной моделью можно выполнять различные преобразования и эксперименты (упрощать структуру модели, применять схемы замещения и т. п.). Математические модели, численные методы и ЭВМ дали возможность проектировать сложные технические системы и получать характеристики, близкие к расчетным.

Математическая модель должна быть по возможности простой в обращении и понятной для тех, кто ее использует, представительной во всем диапазоне применения, достаточно адекватной, чтобы с необходимой точностью отображать изучаемый объект, а также ориентированной на вычислительные возможности, имеющиеся в распоряжении исследователя.

Применение математической модели в разработке системы диагностирования часто называют вычислительным экспериментом.

В зависимости от условий решаемой задачи объект может описываться как линейными, так и нелинейными уравнениями. Если позволяют условия решения, то всегда имеет смысл решать хотя бы в первом приближении линейное (линеаризованное) уравнение. Применительно к задачам контроля и диагностирования линейные зависимости пригодны для моделирования неисправностей, если процесс их развития не сопровождается значительными отклонениями параметров, характеризующих состояние объекта.

Применяемые в технической диагностике математические методы можно разделить на два больших класса: математическое моделирование диагностических процессов и применение различных теорий, часть из которых представлена на рис. 9.2. Основными математическими моделями являются: математическое моделирование диагностических процессов, матричные алгоритмы; вероятностные алгоритмы; методы граф-моделей; теория распознавания образов и размытых образов и др. Наиболее эффективно применение математического моделирования при определении неисправностей в устройствах, содержащих электронные элементы, например, в электронных системах диагностирования. Методы анализа диагностических моделей представлены на рис. 9.6 [14, 21, 24, 25].



Рис. 9.6. Классификация основных методов, используемых при исследовании диагностических моделей

Можно выделить достаточно большое число классов диагностических моделей. По способу формирования выделяют: эмпирические, полуэмпирические и аналитические модели. Аналитические модели обладают наибольшей общностью, однако имеют недостатки: низкую точность и большую трудоемкость получения решения для случаев сложных процессов.

По форме зависимости математические модели делятся на линейные и нелинейные. Получение линейной модели значительно упрощает задачу диагностики, так как для этого класса задач существуют хорошо разработанные методы решения. Важным достоинством линейных систем, отражающимся не только на процессе решения, но и на процессе получения диагностической информации, является принцип суперпозиции – взаимная независимость реакций системы на отдельные воздействия. В задачах технической диагностики линейные модели применимы, если развитие дефектов приводит к незначительным отклонениям параметров, характеризующих состояние объекта.

В зависимости от характера исходных данных модели делятся на детерминированные и стохастические (вероятностные). В этих двух случаях существенно различаются аппарат описания и методы получения решения.

Исправный или неисправный объект может быть представлен как динамическая система, состояние которой в любой момент времени определяется значениями входных, внутренних и выходных параметров. При этом следует отметить, что наиболее достоверными будут те параметры, которые получают в динамическом состоянии объекта. В любом сложном объекте можно выделить достаточное количество узлов, которые можно представить как отдельные законченные блоки, взаимосвязанные и взаимозависимые между собой. Выход из строя одного блока влияет на работоспособность и техническое состояние другого блока.

Построению диагностической модели должны предшествовать различные исследования, в результате которых необходимо выяснить структуру объекта, выполняемые функции блоков и объекта в целом, режим работы, состав элементов и связи между ними, наличие обратных связей и возможность их разрыва на время диагностирования, признаки и параметры нормального функционирования, рабочие сигналы, диапазон измерения параметров при нормальном функционировании, характерные отказы элементов и их комбинации, наличие узлов регулирования.

Математическую модель объекта диагностирования можно представить в аналитической, графической, векторной или табличной формах. Обозначим символом X n -мерный вектор, компонентами которого являются значения n входных переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ (рис. 9.7). Аналогично Y является m -мерным вектором значений m внутренних переменных $y_1, y_2, \dots, y_m$, а Z – k -мерным вектором значений k выходных функций $z_1, z_2, \dots, z_k$. Выходная функция $Z = \psi(X, Y_{нач}, t)$ является **математической моделью исправного объекта**. При этом $Y_{нач}$ выражает начальное значение внутренних параметров объекта, а t – фактор времени. В процессе работы объекта происходит изменение внутренних переменных $y_1, y_2, \dots, y_m$ и возможно появление одиночных или кратных отказов. Под одиночной неисправностью понимают элементарный отказ, не являющийся совокупностью более мелких незначительных неисправностей. Кратная неисправность является совокупностью одновременного появления двух и более одиночных неисправностей.

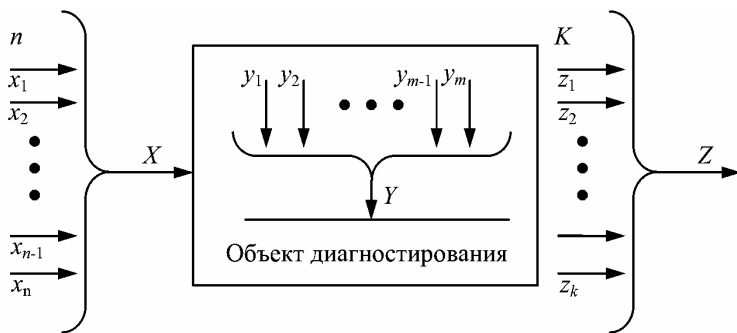


Рис. 9.7. Математическая модель объекта диагностирования

Объект диагностирования, находящийся в i -неисправном состоянии, реализуется системой передаточных функций $Z^i = \psi^i(X, Y_{нач}^i, t)$ и является математической моделью i -неисправного объекта. Но для решения задач построения и реализации алгоритмов диагностирования необходимо иметь понятие об элементарных проверках объекта. Обозначим символом Π множество элементарных проверок π_j , где $j = 1, 2, 3, \dots$. Каждая элементарная проверка характеризуется значением воздействия, подаваемого на объект при реализации элементарной проверки и ответом объекта на это воздействие. Значение a_j воздействия в элементарной проверке $\pi_j \in \Pi$ определяется составом входных переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ и последовательностью времени t их значений X_j , а также начальным значением $Y_{нач}^i$ внутренних переменных. В элементарной проверке π_j ответ объекта характеризуется составом $\{Y\}$ контрольных точек и значений R_j^i , зависящим от технического состояния объекта. Таким образом, результат R_j^i элементарной проверки представляется в общем случае последовательностью $\{Y\}_j$ -мерных векторов и является функцией значения a_j воздействия

$$R_j^i = \psi^i(a_j, \{Y\}_j).$$

Более короткая запись: $R_j = \psi(\pi_j)$ – для исправного объекта и $R_j^i = \psi^i(\pi_j)$ – для неисправного объекта.

Математическую модель диагностируемого объекта можно представить в табличной форме, используя результаты элементарных проверок. Отказ хотя бы одного из элементов системы может привести ее в неработоспособное состояние, что можно определить как с помощью таблицы функций неисправностей, так и аналитическим способом. Но для построения оптимальных алгоритмов диагностирования объекта необходимо учитывать параметры надежности объекта, такие как: вероятность отказа, частота отказов, исходя из соответствующего закона распределения, и другие параметры.

Определим эти величины для произвольных законов надежности элементов объекта, для чего рассмотрим небольшой отрезок времени, ограниченный точками t и $t + \Delta t$. Введем случайную величину T – время возникновения отказа в объекте. Вероятность попадания отказа в промежуток време-

ни $[t, t + \Delta t]$ обозначим $P(t \leq T \leq t + \Delta t)$.

Для любой случайной величины с плотностью распределения $f(t) = F'(t)$, где $F'(t)$ – закон ее распределения, вероятность попадания в малый отрезок Δt равна

$$f(t)\Delta t = F'(t)\Delta t.$$

Для экспоненциального закона распределения отказов $P_i(f) = \Gamma^{\lambda_{it}}$ вероятность отказа каждого элемента при условии отказа системы есть величина постоянная для данной системы и выражается формулой

$$P_i = \lambda_i I \sum_{i=1}^N \lambda_i.$$

Эта формула позволяет утверждать, что оптимальный алгоритм проверок элементов системы, построенный с учетом вероятностей P_i , будет оптимальным во время всего периода эксплуатации системы.

Используя математическую модель объекта контроля, можно создать наиболее рациональные методы диагностирования конкретной системы в целом или отдельных ее функциональных узлов и блоков.

Если же в дереве найдется хотя бы один ранг с несколькими внутренними вершинами, которые представлены разными методами их элементарной проверки, то алгоритм диагностирования, представляемый этим деревом, называется **условным алгоритмом**. Другими словами, в условных алгоритмах диагностирования выбор или назначение некоторых или всех элементарных проверок проводится с учетом результатов предыдущей, уже реализованной элементарной проверки. Достоинством безусловных алгоритмов является их простота представления в средствах диагностирования, так как необходимо хранить лишь состав элементарных проверок множеств и единственную последовательность их реализации. Для условных же алгоритмов необходимо хранить, кроме состава элементарных проверок множеств состояний, не одну, а несколько последовательностей реализации элементарных проверок.

Неисправности, возникшие при работе объекта, могут развиваться достаточно быстро, но сам объект может иметь такую протяженность, что реакция на неисправность поступает в точку измерения с запаздыванием (длинные линии электропередачи, гидропередачи, трубопроводные системы и т. п.). Такие объекты, как известно из теории управления, относятся к системам с распределенными параметрами, в отличие от традиционных систем с сосредоточенными параметрами.

Быстрота развития неисправностей и рабочих процессов определяет необходимость учета динамических эффектов при моделировании. Если время развития соизмеримо с временем регулирования объекта (управления рабочим процессом), то следует ввести в модель производные от переменных по времени. В противном случае можно ограничиться статической моделью объекта.

При построении модели допустимая степень ее упрощения определя-

ется условиями ее функционирования. Иногда полезно начать исследование с более простой модели, удобной с точки зрения отражения наиболее общих закономерностей процессов в ней.

Модели объектов, состоящих из связанных между собой подсистем различного уровня, в том числе и разнородных по физическим принципам действия и техническим решениям, формируются в несколько этапов: сначала создаются модели отдельных узлов, затем подсистем и, наконец, системы в целом с учетом структуры связей подсистем.

Правильный выбор диагностической модели не только служит для определения связи диагностических сигналов с параметрами состояния, но и во многом предопределяет выбор методов решения задачи и точность, достигаемую при таком решении.

Основное назначение математической модели – это установление связи между значениями диагностических параметров и значениями параметров технического состояния (или непосредственно с техническим состоянием).

Таким образом, процесс постановки диагноза можно изобразить следующим образом (рис. 9.8). На объект контроля (ОК) с параметрами технического состояния Z действует внешнее возмущение X . С помощью средств измерения определяют диагностические параметры Y . Значения этих параметров с использованием математической модели (ММ) преобразуются в значения параметров технического состояния Z^M . Далее эти значения сравниваются со значениями параметров технического состояния (ТС), заданных нормативно-технической документацией Z^{HD} , и по результатам этого сравнения делается заключение о техническом состоянии объекта контроля.

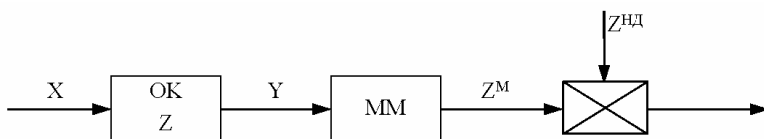


Рис. 9.8. Схематичное представление процесса определения технического состояния

Математическое описание (модель) объекта диагностирования может быть выполнено как с использованием диагностических параметров, так и с использованием диагностических признаков. Отличие этих двух понятий заключается в следующем. Диагностические признаки формируются (выбираются) на основе диагностических параметров, они образуют дискретное множество, а появление их конкретных значений непосредственно связано с нахождением объекта диагностики в соответствующем классе **технического состояния (диагнозе)**. Например, пусть диагностический параметр выражает температуру газов двигателя. Пусть (условно) определены три класса технического состояния двигателя, которые характеризуются соответственно пониженной (меньше 450 °С), нормальной (450...600 °С) и повышенной (выше 600 °С) температурой. Попадание значения температуры газов в один из этих интервалов и есть появление диагностического признака, соот-

ветствующего двигателю с пониженной, нормальной или повышенной температурой.

Назначение математических (диагностических) моделей состоит не только в установлении связи между параметрами состояния и диагностическими параметрами, они позволяют составлять алгоритмы технического диагностирования.

Аналитические модели позволяют решать оптимизационные задачи и получать соотношения между состояниями объекта, диагностическими параметрами и показателями качества в аналитическом виде. Аналитическими моделями являются различные функции, связывающие между собой внешние и внутренние параметры элементов системы и выходные параметры вида $Z_{\text{вых}} = \psi(X, Y_{\text{нач}}, t)$. В процессе работы объекта изменяются внешние и внутренние параметры, а следовательно, происходит изменение выходных параметров. Решая функциональные уравнения зависимостей, можно выявить техническое состояние объекта в произвольный промежуток времени с учетом изменения внешних и внутренних параметров. Для реализации аналитических моделей технического состояния объекта наиболее перспективно использование микропроцессорных устройств.

При диагностировании сложных динамических объектов, какими являются автомобили, использование математического моделирования затруднено из-за сложности определения аналитических зависимостей, связывающих внешние признаки и соответствующие им неисправности в деталях объекта. Так, для определения дефектов в дизельном двигателе необходимо составить систему дифференциальных уравнений, связывающих внешние признаки с состоянием отдельных деталей и узлов. Тем не менее использование математического моделирования позволяет расширить возможности диагностирования.

Благодаря применению микропроцессорной вычислительной техники математическое моделирование позволяет сократить и удешевить процесс диагностирования, выбрать наиболее информативные диагностические параметры, проводить накопление информации в аналитической форме для прогнозирования технического состояния объекта.

При разработке математической диагностической модели необходимо учитывать вероятность появления отказов и законы распределения отказов по времени работы или по пробегу автомобиля.

9.1.5. Вероятностные и детерминированные модели построения решающих правил

Определение параметров состояния объекта контроля на основе результатов измерения диагностических параметров не является достаточным для решения задачи диагностики. Необходимо решить задачу распознавания – отнести состояние системы к одному из возможных классов D_i . Множество всех возможных классов состояния D можно разбить на два подмножества: D' – все состояния, позволяющие объекту выполнять возложенные на него функции, D'' – все состояния, соответствующие отказам в рабо-

те объекта. Анализ состояний в подмножестве D' позволяет устанавливать характер изменений его работоспособности и в ряде случаев предсказать момент перехода в подмножество D'' , то есть решить задачу прогноза. Выявление состояния в подмножестве D'' соответствует поиску конкретных неисправностей.

Множество состояний D_i должно удовлетворять условиям:

$$\bigcup_i D_i = D; \quad D_k \cap D_l = 0 \quad \text{при всех } i \neq l,$$

которые означают, что в множестве D нет состояний, не охваченных классификацией, и что одно и то же состояние одновременно не принадлежит разным классам. Поскольку в сложных объектах связь состояния и контролируемых параметров является вероятностной, то данной совокупности параметров состояния можно сопоставить вероятность P_i принадлежности системы к классу D_i .

Существует два основных подхода к задаче распознавания: вероятностный и детерминированный. Принципиальных различий они не имеют. Вероятностные методы являются более общими и требуют значительно большего объема предварительной информации.

Метод вероятностного прогнозирования основывается на использовании вероятностных моделей. Этот метод прогнозирования является методом, адекватным природе изучаемых объектов, и его использование не может считаться лишь промежуточным этапом в исследованиях. Использование методов вероятностного прогнозирования возможно лишь при выполнении требования статистической устойчивости параметров объекта. Смысл этого заключается в том, что в процессе производства и эксплуатации вероятностные характеристики параметров исследуемого объекта от экземпляра к экземпляру обладают определенной однородностью, как в отношении начального разброса параметров, так и при изменении внешних воздействий во времени. Это означает, что выборочные значения исследуемого параметра принадлежат одной генеральной совокупности.

Индивидуальное прогнозирование основывается на изучении вероятностной связи между значением прогнозируемого параметра данного экземпляра по истечению времени, называемом временем прогнозирования, и начальным состоянием этого экземпляра.

Постановка задачи при вероятностных методах заключается в следующем. Имеется система, которая находится в одном из n случайных состояний D_i . Известна совокупность признаков (параметров) $\bar{R}$ и $\bar{S}$, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние системы. Требуется построить решающее правило, согласно которому диагностируемая совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных диагнозов D_i .

Детерминистские подходы более кратко описывают процесс распознавания, меньше зависят от избыточной информации, больше соответствуют логике мышления человека. Основные преимущества статистических методов распознавания состоят в возможности одновременно учета призна-

ков различной физической природы, так как они характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их появления при различных технических состояниях объекта диагностирования.

При детерминистском подходе предполагается, что D_i соответствует некой области рассматриваемого пространства признаков. Решающее правило позволяет разделить пространство признаков на области диагнозов, которые обычно считаются непересекающимися, то есть вероятность одного из диагнозов равна 1, а вероятность других равна 0. Признак либо встречается при данном диагнозе, либо отсутствует.

Более общими являются вероятностные методы. Детерминистские методы описывают процесс распознавания в задачах технического диагностирования с меньшей точностью, но они позволяют упростить процедуру обработки измерительной информации и принятия решения по результатам диагностики.

Можно привести ряд примеров подхода к решению задачи технической диагностики при детерминированной модели задачи [14].

Допусковый метод. При этом методе считается известной область допустимых значений состояний объекта контроля D_i . Тогда поступают следующим образом:

- по этой области определяют допустимые значения и поля допустимых значений $\bar{S}$ ($s_{i \min} < s_i < s_{i \max}$);
- по ним определяют допуски на контролируемые параметры $\bar{R}$ ($r_{i \min} < r_i < r_{i \max}$);
- каждому r_i сопоставляют логическую переменную l_i , равную 1, если r_i укладывается в заданный диапазон, и 0 – в противном случае;
- оценку технического состояния определяют конъюнкцией логических переменных.

Метод достаточно прост, однако имеет ограничения по количеству контролируемых точек и возможностям аппаратуры контроля.

Метод оценки системы по значениям входных параметров. В этом случае используем обратную процедуру: по значениям характеристик r_i рассчитываются значения параметров s_j , которые сравнивают с полем своих допустимых значений. Процедура сложнее, но надежнее.

Оценка состояния по показателям качества. В этом случае оценивается состояние правильного функционирования и работоспособность технического объекта. В качестве показателя качества могут выступать: мощность машины или двигателя, производительность оборудования, количество перекачиваемого продукта и т. д.

Во всех подходах используется диагностическая модель объекта. Если она достаточно точно и полно отражает поведение контролируемой системы, то, несмотря на возможные технические сложности, реализация указанных подходов не представляет принципиальную проблему.

Статистические методы последовательного распознавания технического состояния. Если система определяется вероятностной моделью, то процесс принятия решения несколько сложнее. В этом случае следует обратиться к статистическим методам распознавания. Основное их преимущест-

во состоит в возможности одновременного учета признаков различной физической природы, так как они характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их появления при различных состояниях системы.

Статистические методы технической диагностики базируются, в основном, на обобщенной формуле Байеса, которая занимает особое место благодаря простоте и эффективности [14, 21, 32, 51]. Другим методом последовательного анализа является метод Вальда [50, 51].

Метод Байеса основан на простой формуле. Если имеется диагноз D_j и простой признак k_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния D_j и признака k_j)

$$P(D_j k_j) = P(D_j) \cdot P(k_j/D_j) = P(k_j) \cdot P(D_j/k_j). \quad (9.1)$$

Из этого равенства вытекает формула Байеса:

$$P(D_j/k_j) = P(D_j) \frac{P(k_j/D_j)}{P(k_j)}, \quad (9.2)$$

где $P(D_j)$ – вероятность диагноза D_j , определяемая по статистическим данным, так называемая априорная вероятность диагноза; $P(k_j/D_j)$ – вероятность появления признака k_j у объектов с состоянием D_j ; $P(k_j)$ – вероятность появления признака k_j у объектов независимо от состояния (диагноза); $P(D_j/k_j)$ – вероятность диагноза D_j после появления у объектов признака k_j , так называемая апостериорная вероятность диагноза.

С помощью этой формулы, которая связывает априорные и апостериорные вероятности, можно вычислить послеопытные (апостериорные) вероятности гипотез о наступлении некоторого события, если оно осуществилось. Событие (признак) $k_1, k_2, \dots$ наступает совместно с одним из взаимоисключающих событий (диагнозов) $D_1, D_2, \dots$ (например, исправное или неисправное состояние). События D_j называются обычно «гипотезами», $P(D_j)$ – априорными вероятностями гипотез и вероятности $P(D_j/K)$ – апостериорными вероятностями этих гипотез (при условии, что событие K произошло).

Таким образом существует возможность формализовать логический процесс анализа дефектов при несовпадении всех диагностических параметров по вероятностному алгоритму.

Метод Вальда применяется для последовательного анализа дифференциальной диагностики (распознавания двух состояний). Этот метод отличается от метода Байеса тем, что число обследований не устанавливается заранее. Их может быть столько, сколько необходимо (чаще всего обследование двух состояний) для принятия решения с определенной степенью точности (риска) [21, 50].

В методе последовательного анализа отношения вероятностей признаков (отношения правдоподобия) составляются не сразу, а в последовательном порядке, поэтому, как правило, требуется меньшее число обследований, чем в методе Байеса.

9.1.6. Диагностические матрицы

Постановка диагноза, когда проводится поиск неисправности сложного механизма, системы и используется несколько диагностических параметров, значительно более сложная. Для решения задачи постановки диагноза в этом случае необходимо на основе данных о надежности объекта выявлять связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами. С учетом этих связей определяют техническое состояние путем перехода от диагностических параметров к вероятным неисправностям объекта, то есть ставят диагноз. Подобные задачи решают с помощью диагностических матриц, особенно если объект диагностирования имеет небольшой набор диагностических параметров.

Диагностические матрицы являются основой автоматизированных логических устройств, употребляемых в современных средствах технического диагностирования.

Чаще всего табличные алгоритмы применяются для предварительного диагноза, так как устройства диагностирования могут работать только по жесткой программе – **детерминистской логике**. Простота детерминистской логики во многих случаях не позволяет поставить достоверный диагноз, так как необходимым условием является полное совпадение диагностических параметров, при несоблюдении которого могут появиться признаки, отсутствующие в матрице. Табличные алгоритмы легко можно реализовать на релейных элементах, диодных матрицах или микропроцессорных устройствах.

Пример несложной матрицы приведен в табл. 9.1. На практике диагностических параметров возможных неисправностей может быть значительно больше.

Таблица 9.1

Схема диагностической матрицы

Диагностические параметры	Неисправности				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
P_1	0	1	1	0	1
P_2	1	0	1	1	0
P_3	0	1	1	1	0
P_4	1	0	1	0	1

Диагностическая матрица (см. табл. 9.1) является логической моделью, которая описывает связи между диагностическими параметрами P и возможными неисправностями объекта X .

Единица на месте пересечения строки и столбца означает возможность существования неисправности, а ноль – отсутствие такой возможности. Применяют также и более сложный вариант вероятностных матриц, в которых на пересечении столбцов и строк вместо единиц и нулей подставляются полученные экспериментальным путем статистические оценки достоверности возникновения данной неисправности при достижении диагностическим

параметром допустимого или предельного значения.

С помощью показанной в табл. 9.1 диагностической матрицы решается задача локализации одной из пяти возможных неисправностей объекта с помощью четырех диагностических параметров.

Диагностическая матрица (см. табл. 9.1) – это строчный набор связей между диагностическими параметрами P и неисправностями объекта X (то есть параметрами технического состояния, которые достигли предельных значений). Числовые коэффициенты этих связей в простых матрицах имеют значение 0 и 1, а в вероятностных – дробные, промежуточные значения.

Горизонтальные ряды матрицы отвечают применяемым диагностическим параметрам, а вертикальные – неисправностям объекта. Единица в месте пересечения горизонтального и вертикального рядов означает возможность существования неисправности, а ноль – отсутствие такой возможности.

Подобная матрица позволяет локализовать неисправности диагностируемого механизма по наличию соответствующего комплекса диагностических параметров, которые достигли нормативной величины.

Позлементная диагностика применяется для того, чтобы выявлять место возникновения неисправности. Если автомобиль работоспособен, то результаты диагностирования используют для последующего прогнозирования его остаточного ресурса.

Физическая сущность решения задачи – исключение неисправностей, несовместимых с существованием данной комбинации измеренных диагностических параметров. Процесс выявления неисправностей можно рассматривать как снижение энтропии (степени неопределенности технического состояния диагностируемого механизма) путем последовательного введения в диагностическую матрицу доз информации, которая содержится в используемых диагностических параметрах.

Логическая матрица указанного вида может быть основой автоматизированного диагностического комплекса.

Применяют также и более сложный вариант вероятностных матриц, в которых на пересечении столбцов и строк вместо единиц и нулей подставляются полученные экспериментальным путем статистические оценки вероятностей возникновения данной неисправности при достижении диагностическим параметром допустимого или предельного значения.

9.1.7. Разработка таблиц-матриц неисправностей объектов диагностирования

Многие формулировки и решения задач технической диагностики предусматривают задание формализованного описания множественного числа допустимых неисправностей (моделей неисправностей). Как правило, каждой неисправности можно поставить в соответствие некоторое изменение параметров элементов объекта диагностирования. Например, часто как допустимые рассматриваются неисправности типа потери герметичности, отсутствия напряжения, низкой частоты. Обычно модель неисправности за-

висит от элементной базы объекта диагностирования, а также от типа модели объекта диагностирования. Например, для объекта диагностирования, которое содержит электрические элементы (электромашин, резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы), неисправностями могут быть обрывы и короткие замыкания. Для объекта диагностирования, который состоит из гидравлических и пневматических элементов (клапанов, дросселей, аккумуляторов, гидроцилиндров и т. п.) допустимые неисправности – потеря гидро- и пневмоплотности, несоответствующий расход жидкости, газа и т. п. Для механических объектов диагностирования – неправильные зазоры, натяги, деформации и т. п. [49].

Различают единичные и кратные неисправности. Под единичной понимают неисправность, взятую как элементарную, то есть такую, которая не может быть представлена совокупностью нескольких других, более «мелких» неисправностей. Кратная неисправность является совокупностью одновременно существующих двух или больше отдельных неисправностей.

Таблица функций неисправностей (ТФН) и таблица неисправностей – это специальные формы представления поведения объекта диагностирования в исправном и неисправном состояниях. Методы на основе таблицы функций неисправностей и таблицы неисправностей целесообразно применять в серийном сервисе, когда может быть выделено ограниченное количество возможных неисправностей, а расходы на подготовку необходимой информации покрываются за счет диагностирования большого количества однотипных объектов диагностирования. Кроме этого таблица функций неисправностей и таблица неисправностей являются наглядной и удобной формой для иллюстрации результатов теоретических исследований. Таблица функций неисправностей содержит сведения о поведении исправного объекта диагностирования, а также об объекте диагностирования с каждой из возможных неисправностей (табл. 9.2) [49]. Она состоит из $r + 1$ подтаблицы (далее – матриц) $M_0, M_1, \dots, M_r$. Строки ТФН отвечают отдельным входным элементарным проверкам последовательности $X = x_1, x_2, \dots, x_k, x_n$, которые подаются на объект диагностирования во время диагностирования.

Таблица 9.2

Структура функций неисправностей

Проверки	M_0			M_1			M_r		
	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m
x_1	t_0^{11}		t_0^{1m}	t_1^{11}		t_1^{1m}	t_r^{11}		t_r^{1m}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
x_n	t_0^{n1}		t_0^{nm}	t_1^{n1}		t_1^{nm}	t_r^{n1}		t_r^{nm}

Матрица M_0 задает поведение исправного объекта диагностирования, матрица M_i ($i = 1, \dots, r$) – поведение объекта диагностирования с неисправностями из множественного числа $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ возможных неисправностей. Количество столбцов каждой матрицы равняется количеству диагностических параметров, причем i -й столбец сопоставлен параметру b_i , из множественного числа допустимых диагностических параметров

$B = \{b_1, \dots, b_m\}$. На пересечении k -й строки и i -го столбца матрицы M_i ($i = 0, 1, \dots, r$) проставляется допустимое значение t_i^{kl} параметра b_i на наборе x_k во время диагностирования объекта диагностирования, которое находится в техническом состоянии s_i . В случаях цифровых диагностических параметров обычное значение $t_i^{kl} \in \{0, 1, x\}$, где $x = \{0, 1\}$, для аналоговых диагностических параметров значения параметра – некоторый непрерывный интервал или номинальное значение. Для интервала указываются значения его верхнего и нижнего пределов. Иногда для значений аналоговых диагностических параметров используется многозначный конечный алфавит, в котором каждому символу ставят в соответствие определенный интервал значений.

При переходе от аналоговых значений диагностических параметров к цифровым применяют преобразование:

$$b_i = \begin{cases} 1, & \text{если } b_i \in (a, c); \\ 0, & \text{если } b_i \notin (a, c), \end{cases}$$

где a, c – соответственно верхний и нижний пределы допуска диагностического параметра; (a, c) – допуск числового значения диагностического параметра.

Структура таблицы неисправностей приведена в табл. 9.3. Она отличается от таблицы функций неисправностей, во-первых, отсутствием матрицы, которая описывает исправный объект диагностирования, во-вторых, значение элемента $\tilde{t}_i^{kl}$ является результатом сравнения элементов $\tilde{t}_i^{kl}$ и $\tilde{t}_0^{kl}$ из таблицы функций неисправностей (см. табл. 9.2) [49].

Таблица 9.3

Структура неисправностей

Элементарные проверки	$\tilde{M}_1$			...			$\tilde{M}_r$		
	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m
x_1	$\tilde{t}_1^{11}$		$\tilde{t}_1^{1m}$	...	...	...	$\tilde{t}_r^{11}$		$\tilde{t}_r^{1m}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
x_n	$\tilde{t}_1^{n1}$		$\tilde{t}_1^{nm}$	...	...	...	$\tilde{t}_r^{n1}$		$\tilde{t}_r^{nm}$

Таблица 9.4

Варианты кодировки аналоговых диагностических сигналов

Сигналы		t_i^{kl}		
		1	0	x
t_0^{kl}	1	0	1	x
	0	1	0	x
	x	0	0	0

Варианты кодировки результатов сравнения для аналогового объекта диагностирования более разнообразны (табл. 9.4). Например, можно ис-

пользовать трехзначный алфавит $\{0, 1, x\}$, присваивая $\tilde{t}_i^{kl}$ значение 1, x или 0, если интервалы t_0^{kl} и t_i^{kl} непересекающиеся, частично пересекающиеся или все значения t_i^{kl} входят в t_0^{kl} .

На основе построенной модели диагностирования осуществляется распознавание технического состояния. Это можно делать различными методами. Например, используют методы теории графов. Для этого строят упорядоченный граф и соответствующую ему матрицу контрольных пар, строки которой отвечают элементарным проверкам, а столбцы – номерам блоков. При этом элементы строки равняются «1», если проверки охватывают объекты диагностирования, и «0» – если не охватывают. Условие распознавания состояний формулируется как распознавание столбцов матрицы. В случае неопределенности состояний предусматривается ввод дополнительных точек контроля.

Контроль объекта диагностирования с помощью моделей осуществляют следующим образом. Подают данные тестов X в таблицу функций неисправностей и измеряют диагностические параметры B . По результатам измерений формируют матрицу M_x такого же формата, что и матрицы M_i ($i = 1, \dots, r$). Сравнивают поэлементно матрицы M_x и M_0 . Если $M_x = M_0$, то считают объект диагностирования исправным, если $M_x \neq M_0$ – неисправным.

Для определения места неисправности объекта диагностирования выполняют следующие действия. Матрицу M_x поочередно сравнивают с каждой матрицей M_i , где $i = 1, \dots, r$. Если $M_x = M_i$ то неисправность s_i относят к списку возможных неисправностей. В этот список может попасть несколько неисправностей, из-за которых объект диагностирования имеет одинаковую реакцию. Чтобы сократить объем таблицы функций неисправностей и таблицы неисправностей, неисправности с одинаковыми исходными сигналами совмещаются в группы эквивалентных неисправностей, а в таблице функций неисправностей и таблице неисправностей под каждую такую группу формируется только одна матрица. Поиск неисправности с использованием бинарной таблицы неисправностей выполняется аналогично.

Главным в технической диагностике является понятие проверки и распознавание неисправностей. Рассмотрим сначала эти термины относительно цифровых объектов диагностирования, а затем распространим их на аналоговые объекты диагностирования.

Неисправность $s_k \in S$ называется такой, которая однозначно проверяется, если $M_0 \in M_k = \emptyset$. Практически это значит, что при наличии у объекта диагностирования одной из неисправностей, значение любого диагностического параметра на любой входной сигнал будет отличаться от его значения в исправном объекте диагностирования. Неисправность $s_k \in S$ называется такой, которая не может быть обнаружена, если $M_k \subseteq M_0$. Неисправность $s_k \in S$ называется такой, которую можно условно обнаружить, если $M_0 \in M_k = \emptyset$ и $M_k \not\subseteq M_0$. Если есть такая неисправность, то результаты измерений диагностических параметров могут в некоторых случаях совпадать с возможными значениями исправного объекта диагностирования, а в дру-

гих – не совпадать.

Неисправности s_i и s_j называются такими, которые можно различить, если $M_i \cap M_j = \emptyset$. Неисправности s_i и s_j называются такими, которые нельзя различить, если $M_i = M_j$.

Рассмотренные примеры могут быть распространены и на аналоговые объекты диагностирования, если возможные значения диагностических параметров заданы интервалами.

9.1.8. Построение структурных, структурно-наследственных и функционально-логических моделей

9.1.8.1. Построение структурных схем диагностирования объекта

Сложные технические системы практически всегда могут быть представлены в виде иерархической структуры, каждый уровень которой содержит одну или несколько составных частей, выполняющих в рамках системы свои локальные функции. Принцип декомпозиции на уровни (подсистемы) может быть различным: функциональный, конструктивный, организационный. Указанные системы характеризуются многомерностью, многосвязностью, разнообразной природой элементов, составляющих систему и обуславливающих разнородность информационных и энергетических потоков, относительной самостоятельностью функций подсистем, направленных на достижение заданной цели функционирования системы в целом.

Для определения в сложных случаях возможного набора диагностических параметров применяют построение структурных схем узлов или механизмов. Структурно-следственная схема представляет собой граф-модель, увязывающую в единое целое основные элементы механизма, характеризующие их структурные параметры, перечень характерных неисправностей и набор возможных для использования параметров. Пользуясь подобной схемой, составленной на основе изучения объекта диагностирования, можно относительно определенного перечня структурных параметров и неисправностей установить первичное перечисление диагностических параметров и связей ими. Закономерности смены значений диагностических параметров предопределены изменениями структурных параметров механизма, агрегатов, системы. Перечень характерных неисправностей механизма составляется на основе статистических оценок показателей его надежности. Структурно-следственная схема позволяет оценить работоспособность устройства (системы) без его разборки и указывают на конкретную неисправность и наиболее вероятные параметры диагностирования.

Для повышения эффективности процесса диагностирования следует из всех возможных проверок проводить только необходимые и в совершенно определенной последовательности по алгоритму. Строить диагностический процесс нужно как некоторую процедуру, в результате чего не только оцениваются значения параметров, но и происходит управление процессом сбора информации. Для сбора информации об объекте проектирования диагностического обеспечения используют морфологический анализ конструкции (см. подраздел 9.3, а также работы [39, 47, 69]).

Структурные модели систем диагностирования относятся к классу графа и имеют фундаментальное значение для системного анализа проблемы. Они имеют наглядность и понятны широкому кругу специалистов, являются удобной формой представления результатов. Структурная модель объекта диагностирования может быть выражена графически в виде матрицы, графов, номограмм и на других языках моделирования структур. Построение структурных моделей сводится к установлению первичных, наименее сложных взаимосвязей между элементами исследуемой системы диагностирования. В реальных системах любые связи носят причинно-следственный характер (рис. 9.9).

На рис. 9.9 на уровне I располагаются высокоотказные механизмы (элементы) объекта диагностирования; на II – соединения между ними, то есть структурные параметры; на III – показатели отклонения этих величин, которые превышают предельные значения, то есть характерные неисправности. На уровне IV размещают рабочие или сопутствующие диагностические признаки, которые соответствуют структурным параметрам. На уровне V размещают диагностические параметры, то есть физические величины, с помощью которых можно измерять сопутствующие или рабочие процессы объекта диагностирования и таким образом определить техническое состояние объекта без его разборки.



Рис. 9.9. Структурно-наследственная диагностическая модель цилиндропоршневой группы двигателя

Главный порок приведенных моделей – трудность синтеза моделей больших сложных систем. В связи с этим наибольшее распространение получает имитационное моделирование и построение функционально-структурной схемы.

Структурно-наследственная модель создается на основе инженерных знаний о конструкции, ее функционировании, на основе статистического анализа неисправностей, отказов и диагностических параметров объекта.

В представленной на рис. 9.10 структурной вибрационной модели 1, 2, 3 – источники вибрации подшипниковых узлов, зубчатых передач и валов. На уровни их собственной вибрации влияют погрешности сборки и монтажа отдельных узлов, агрегатов и валопроводов машины. Конструктивными участками, реагирующими на вибрационную нагрузку, возбуждаемую источниками 1-4, являются соединения элементов, корпуса и несущая конструкция машины. Эти участки конструкции машины являются подсистемами, которые могут рассматриваться как вторичные источники возбуждения (усиления) или снижения (затухания) вибрации. Их влияние на уровни вибрации первичных и вторичных источников вибрации определяется динамическими свойствами конструкции 2-4 (источник 5, см. рис. 9.10), взаимодействующими с другими подсистемами машины. На уровни вибрации, возбуждаемой внутренними источниками погрешностей 1-5 кинематических пар и динамических характеристик систем, оказывают влияние внешние возмущающие силы 6, рис. 9.10. При определении вибрационных характеристик не учитывается влияние на уровни виброускорений механизмов машины ряда внешних воздействий: движение машины по неровной дороге, характеристики силового воздействия, пульсации крутящего момента, нагрузки, пуски, торможение, реверс, сброс и набор нагрузки, характер «отбора мощности», качество энергоносителей (см. рис. 9.10, силы 6).

Таким образом, все подсистемы источников вибрации 1-6 (см. рис. 9.10) находятся в тесной взаимосвязи с протекающими процессами в парах трения и присоединительных деталях конструкций машины. Вся взаимосвязанная система первичных и вторичных источников вибрации создает вибрационную нагрузку конструкции трансмиссии и машины. Поэтому расчеты надежности и ресурса трансмиссии машины на стадии проектной разработки без учета взаимосвязи всех возмущающих сил 1-6, прежде всего группы источников 4-6, могут быть лишь ориентировочными. Фактические возмущающие силы могут быть определены по вибродиагностическим характеристикам отдельных узлов, агрегатов и комплектной машины в заданных режимах работы.

Минимизацию динамической напряженности и виброактивности трансмиссии и всей машины можно вести поэтапно (1-3, см. рис. 9.10), но подлинная вибрационная оптимизация конструкции возможна только при изучении источников вибрации динамических и импедансных свойств всей системы в целом 2-4 (источники 1-6, см. рис. 9.10).

Источники внутренних и внешних возмущающих воздействий механического происхождения					
1	2	3	4	5	6
Подшипниковые узлы качения	Зубчатые передачи	Валы привода и их соединения	Погрешности сборки и монтажа отдельных узлов агрегатов и комплектных машин	Динамические свойства конструкции	Внешние возмущающие силы
Погрешности изготовления подшипников	Пересопороченные зубьев	Дисбаланс	Дисбаланс	Распределение собственных частот деталей, узлов корпуса в сборе	Нагрузочные режимы
Отклонение формы беговых дорожек колец подшипника	Отклонение размера формы зубьев	Зазоры в опорах валов	Изменение формы беговых дорожек колец подшипников при посадке на вал и корпус (стакан)	Жесткостные характеристики деталей, валов, узлов, корпусов, соединений	Скоростные режимы
Отклонение формы тел качения	Цилиндрическая ошибка зацепления	Несоосность валов	Повреждение беговых дорожек и тел качения при сборке подшипникового узла	Демпфирующие свойства материалов	Климатические условия
Разноразмерность тел качения	Радиальное биение	Изгиб валов	Перекосы подшипников при монтаже	Характеристика силового воздействия	Характеристика силового воздействия
Погрешность сепаратора	Боковой зазор между зубьями шестерен	Овальности шеек валов	Смещение наружного кольца подшипника относительно внутреннего	Демпфирующие свойства конструкции деталей и соединений	Пульсация крутящего момента
Погрешность изготовления посадочных мест подшипника	Отклонение осевого расстояния между валами шестерен	Неодинаковые моменты инерции	Изгиб вала	Резонансная чувствительность элементов и конструкций к изменению внутренних и внешних возмущений	Пульсация нагрузки, пуск, торможение, реверс, сброс и набор нагрузки, характер "отбора" мощности
Отклонение формы посадочных мест вала и корпуса подшипникового узла	Непараллельность зубьев	Дефекты соединений валов муфтами	Перекосы в сопряжении зубчатых передач	Податливость и сопротивляемость изгибным и крутильным колебаниям, переменной нагрузке	Качество энергосистем, смазки
Перекосы колец из-за перекосов или несоосностей посадочных мест, непараллельности буртиков валов, корпусов и крышек	Инерционные жесткостные параметры шестерни валов	Характер посадок деталей на вал	Создание местных напряжений в элементах и соединениях		Движение по неровностям дороги
Погрешности сборки подшипниковых узлов			Нарушение нормативных зазоров и натягов в сопряжениях элементов		
Возбуждение ударного вибрационного процесса				7	
Поток информационных вибрационных диагностических сигналов				8	
Идентификация дефектов, нормирование вибрации и контроль качества				9	
Проектирование	Изготовление	Сборка и монтаж	Эксплуатация	Ремонт	

Рис. 9.10. Структурная вибрационная модель механической системы машины

Под действием возмущающих сил 1-6 (см. рис. 9.10) в отдельных кинематических парах и механической системе машины возникают вибрационные движения, дополнительные к основному рабочему движению (7, см. рис. 9.9). Они образуют поток информационных диагностических сигналов о дефектах и техническом состоянии элементов. При этом спектр вибрации механизмов в заданных режимах работы указывает на технический уровень конструкции, а идентификация дефектов позволяет распознавать качество проектирования, изготовления, сборки, монтажа, эксплуатации и ремонта отдельных агрегатов и комплектной машины (8, 9, см. рис. 9.10).

Среди наиболее распространенных моделей выделяют класс дерево-подобных или иерархических структур. Дерево декомпозиции позволяет определить соотношение между объектами структурными элементами, взаимосвязи между разными подсистемами и элементами диагностирования, выявить область поиска информации, выделить структурные элементы, необходимые для оценки технического состояния или проверки.

9.1.8.2. Разработка структуры системы диагностирования машины

Методология разработки системы диагностирования сложной машины в жизненном цикле представляет, с точки зрения системотехники, большую систему физических, технических, внутренних и внешних факторов (окружения) объектов диагностирования машины. Для понимания проблемы и сущности путей ее решения чаще всего принимают логический системный анализ, метод дерева целей. Дерево целей – это иерархическая структура, полученная путем декомпозиции общей цели на подцели. Эта структура представляется в виде неориентированного графа, вершины которого интерпретируются как элементы, а ребра – как связи между ними. [39, 69]

Рассмотрим такой подход на примере создания вибрационной системы диагностирования машины в жизненном цикле. Дерево целей показано на рис. 9.11, а задачи и цели исследований оценки качества машины в табл. 9.5.

На первом уровне модели системы решения проблемы ставится задача комплексного достижения трех целей (2.1, 3.1, 4.1) – разработки методов оценки качества проектирования, изготовления и эксплуатации (рис. 2.1 и 2.3). Оптимальным путем достижения этих целей является разработка вибрационных норм проектирования и контроля качества машины на стадиях доводки, изготовления и эксплуатации – цели 2.2, 3.2, 4.2. На этих уровнях система функционирует во времени как одно целое ради единой цели, поставленной перед всей системой. Научно обоснованные нормы вибрации должны отражать состояние функционального оптимума и таким образом обеспечивать качественное и количественное управление процессом проектирования, изготовления и эксплуатации машины. Каждая цель (2.2, 3.2, 4.2) на третьем уровне разбивается на более мелкие цели, которые обеспечивают решение задачи и достаточно полно раскрывают содержание, степень и факт их достижения.

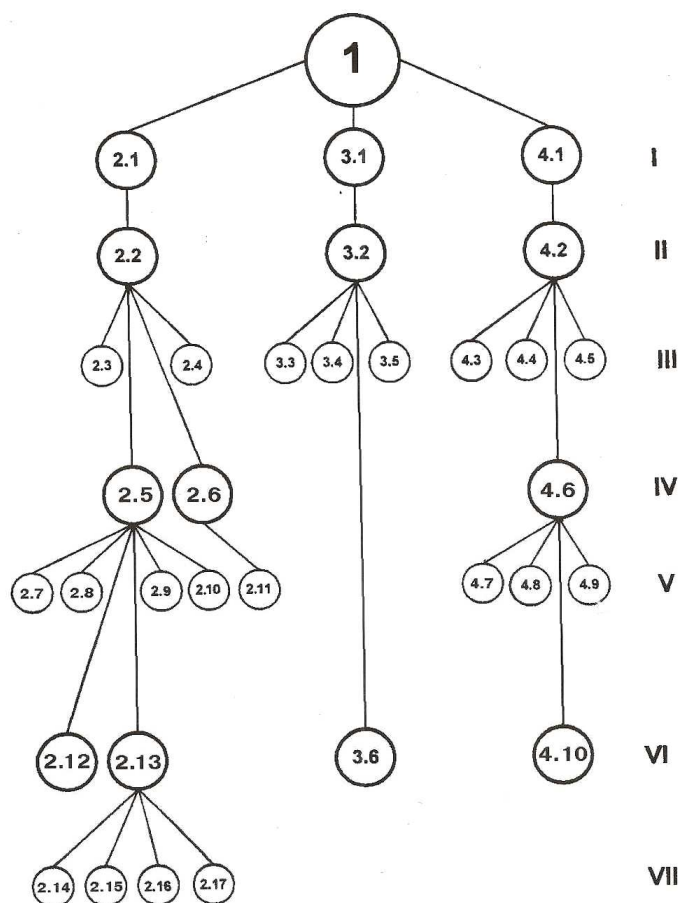


Рис. 9.11. Дерево целей и задачи исследований

Поскольку наибольшее влияние на выходные вибродиагностические характеристики оказывают управляющие воздействия, связанные с конструктивными изменениями параметров проектируемой и обрабатываемой системы, узла и элемента, на четвертом уровне поставлены цели разработки методов и средств снижения вибрации подшипниковых узлов, зубчатых передач и валов (2.5, см. рис. 9.11) до заданного класса вибрации (цель 2.2). Уровень детализации доводки (цель 2.1) оказывает непосредственное влияние на выходные вибродиагностические характеристики разрабатываемого узла, механизма, элемента. Накопление достаточного статистического материала по снижению вибрации целесообразно строить для каждого вида управляющих воздействий конструктивными способами, приведенными в работах [10, 23], другими известными способами и полученными при достижении целей 2.5, 2.13. Влияние каждого управляющего воздействия (2.7...2.10, 2.14...2.17) на выходные вибродиагностические характеристики системы оценивается качественно и количественно по характеру и уровню

изменения вибрации отдельного механизма или всей системы. Это позволяет быстро по изменению вибрации, не ожидая полного цикла испытаний, дать объективную оценку влияния каждого отдельного управляющего воздействия на техническое состояние механизма и разработать конкретные рекомендации на активное вмешательство в процесс доработки системы, узла, элемента до заданного класса вибрации и строить модель снижения вибрации и роста надежности агрегата и машины. Таким образом, уже на этапе лабораторно-стендовых испытаний происходит существенное изменение уровня вибрации и надежности обрабатываемых узлов, агрегатов и машины. Доработку узлов и систем машины разработанными методами 2.5...2.17 производят до тех пор, пока вибродиагностические характеристики не достигнут заданного класса вибрации и соответственно – заданной надежности и ресурса.

Таблица 9.5

**Задачи и цели исследований оценки качества машины
по вибродиагностическим характеристикам**

Задачи и цели исследований	Аспекты	Характер решения
Задачи первого уровня: разработка критериев и методов оценки качества машины на стадии проектирования (2.1), изготовления (3.1), эксплуатации (4.1)	Методологические, моделирования	Методологический
Цели второго уровня: разработка классов вибрации машины (2.2), норм вибрации для оценки качества изготовления (3.2) и норм вибрации для оценки технического состояния в эксплуатации (4.2)	Методические	Теоретический, статистический
Третьего уровня: определение допустимых вибраций (2.3), разработка классов вибрации машины (2.4); разработка методов нормирования вибрации (3.3), методов контроля вибрации (3.4) и методов измерения вибрации (3.5); разработка методов нормирования исходных (4.3) и предельных (4.4) вибрационных параметров, разработка классов качественной оценки эксплуатационной вибрации (4.5)	Методические, классификации, нормирования, структуризации	Теоретический, статистический, расчетный
Четвертого уровня: разработка конструктивных и технологических методов снижения вибрации (2.5), средств испытаний агрегатов и диагностирования машины (2.6), режимов диагностирования (4.6)	Методические, метрологические, конструкционные, испытаний	Методический, экспериментальный
Пятого уровня: определение вибродиагностических характеристик отдельных агрегатов машины (2.7); разработка методов снижения вибрации подшипниковых узлов (2.8), зубчатых передач (2.9) и валов (2.10); разработка ТЗ и ТУ, технической документации и опытных образцов (2.11); разработка методов эксплуатационной диагностики, периодичности контроля, определения остаточного ресурса (4.7); разработка методов контроля качества ремонта, оценки объема ремонтных работ и проведения заказного ремонта (4.8); методов определения исходных вибрационных параметров индивидуальных норм (4.9)	Измерения, конструктивно-технологические, метрологические, методические, распознавания	Теоретический, экспериментальный, конструктивно-технологический

Задачи и цели исследований	Аспекты	Характер решения
Шестого уровня: разработка алгоритмов проектирования машины заданного ресурса (2.12), рекомендаций по доводке макетных и опытных образцов отдельных агрегатов и машины (2.13); разработка алгоритмов и методов контроля качества изготовления (3.6); разработка алгоритмов и технологий диагностирования агрегатов трансмиссии машины (4.10), внедрение вибрационных методов оценки качества проектирования, изготовления и эксплуатации в производство	Испытаний, алгоритмические, прогнозирования, моделирования, метрологические	Методический, алгоритмический, Разработка ТЗ, ТУ и технической документации, опытных образцов, акты внедрения
Седьмого уровня: разработка рекомендаций по выявлению и устранению резонансных явлений (2.14), оценке равноресурсности механизмов машины (2.15), обеспечению виброконтролепригодности (2.16), проведения комплексных вибрационных испытаний (2.17)	Методические, конструктивно-технологические, сопоставления	Методические рекомендации

Контроль и индивидуальная доводка вибрации до требований норм производятся также при изготовлении машины в ходе достижения подцелей 3.3...3.6. Аналогичный контроль и учет изменений уровней вибрации происходит и на стадии эксплуатации при достижении подцелей 4.3...4.5, а также после истечения технического ресурса (цели 4.8, 4.9). Для комплексного метрологического обеспечения средствами испытаний и диагностирования достигаются цели 2.6...2.11.

Такой системный подход к созданию единых методов и средств диагностирования, дающий возможность эффективно управлять качеством проектирования и изготовления позволяет осуществлять и эффективное обслуживание машины.

Анализ системы методов оценки качества машины. Выделенные из главной цели три подсистемы (2.1, 3.1, 4.1) целей (см. рис. 9.11) могут рассматриваться как самостоятельные системы соответствующего уровня иерархии. Но максимальный технический и экономический эффект возможен тогда, когда поставленная главная цель будет достигаться комплексно на стадии проектирования. На первой стадии достигаются цели 2.1...2.17, на второй – цели 3.1...3.6, на третьей – цель 4.1, их подцели, и решаются детализированные задачи 4.2...4.10.

Традиционные подходы выделения и исследования отдельных подсистем и их узкая систематизация неэффективны. Так, допустим, что на первом уровне ставится цель разработки вибрационных методов повышения контроля качества изготовления (цель 3.1, рис. 9.11) серийно выпускаемых машин, которые не проходили стадию решения задач 2.1...2.17. Это значит, что в серийном производстве находится недоведенная и неконтролепригодная машина (см. цели 2.5, 2.10). Полностью решать задачи 2.1...2.17 на стадии изготовления или эксплуатации не всегда оказывается технически возможным без изменения конструкции элементов машины. Без достаточной

информации о свойствах систем, полученных на стадии решения задач 2.1...2.17, сложно на должном техническом уровне решить задачи 3.1...3.6. В результате вынужденного компромисса при решении этих задач на практике снижается эффективность системы 3.1 контроля качества изготовления. Аналогично, эффективность системы диагностирования 4.1 (см. рис. 9.11) будет тем ниже, чем меньше исследованы свойства подсистем 2.1 и 3.1 по обеспечению виброконтролепригодности машины, устранению резонансных явлений, нестабильности рабочих процессов и, соответственно, вибрационных параметров. Уход от такой последовательности решения задач внедрения вибрационных методов диагностирования – самая распространенная ошибка практических работников. Поэтому внедрение важных научных результатов и средств диагностирования на практике может не принести требуемого эффекта.

Таким образом, предложенная система последовательности оценки качества позволяет поэтапно устранять дефекты и этим обеспечивать повышение качества машины, получать достоверную индивидуальную входную информацию о ее техническом состоянии при вводе в эксплуатацию, что позволяет повысить ресурс и с большей точностью прогнозировать выходные данные об изменении технического состояния.

Учитывая многоаспектность и сложность взаимосвязей между показателями обеспечения качества машины на стадиях проектирования, доводки, изготовления, эксплуатации и после технического обслуживания, разработка критериев оценки технического состояния осуществляется, исходя из требований создания единых средств, методологии и метрологического обеспечения, позволяющих одним прибором диагностировать любые агрегаты машины. Предложенная последовательность решения (рис. 9.11) увязывает между собой направления и задачи разработки методов оценки качества машин по вибродиагностическим характеристикам на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации.

9.1.8.3. Построение функционально-логической модели объекта

Для целей диагностирования удобнее представить объект в виде функционально-структурной схемы [21, 39, 47]. В ней часть конструктивных элементов, непосредственно влияющих на рабочую функцию, обособлена. Такой подход способствует правильному выбору функционального и тестового диагностирования всего объекта.

Для дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) функционально-структурная схема (модель) может быть представлена, например, в виде граф-дерева, показанного на рис. 9.12.

С корневой вершиной сопоставлен ДВС, а с вершинами I уровня (ранга) – энергопреобразование: эффективная мощность двигателя (1); удельный расход топлива (2); системы ДВС (3, 4, 5) и его механизмы (6 и 7).

Известно, что для обеспечения рабочего процесса (II уровень) в двигателе требуется подача в его цилиндр топлива (8), воздуха (9) и обеспечение герметичности камеры сгорания (10). Из приведенной схемы видно, какие

именно приборы, узлы (III уровень) или другие элементы (IV уровень) влияют на топливоподачу и герметичность камеры сгорания (здесь показан принцип построения модели и многие элементы упущены).

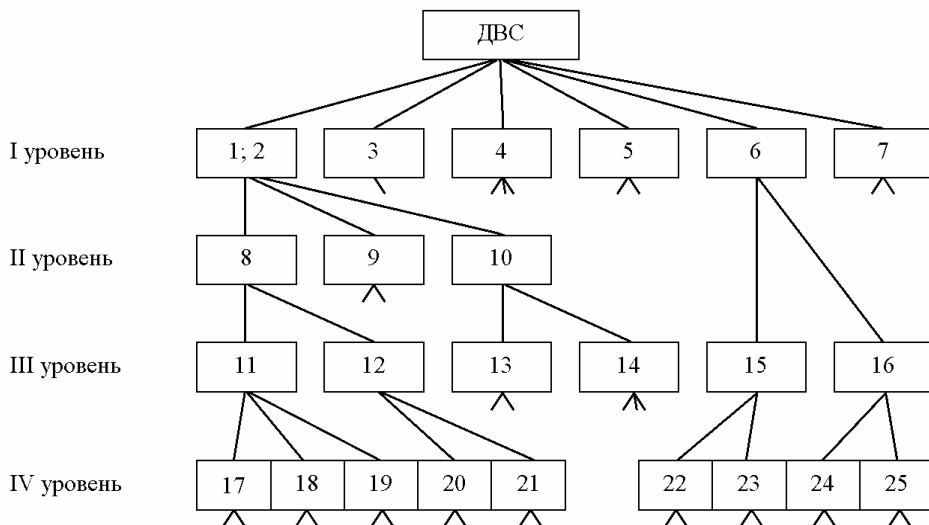


Рис. 9.12. Функционально-структурная схема дизельного ДВС:

I уровень (энергопреобразование): 1 – эффективная мощность; 2 – удельный расход топлива; 3 – система смазки; 4 – система охлаждения; 5 – система пуска; 6 – кривошипно-шатунный механизм; 7 – газораспределительный механизм; II уровень (обеспечение рабочего процесса в двигателе): 8 – топливоподача; 9 – воздухоподача; 10 – герметичность камеры сгорания; III уровень (приборы и узлы): 11 – топливный насос высокого давления (ТНВД); 12 – форсунка; 13 – клапанная группа; 14 – цилиндропоршневая группа (ЦПГ); 15 – кривошипно-шатунная группа (КШГ); 16 – шатунно-поршневая группа (ШПГ); IV уровень (единичные сопряжения и процессы): 17 – герметичность плунжерной пары; 18 – герметичность нагнетательного клапана; 19 – угол опережения впрыска; 20 – герметичность форсунки; 21 – давление впрыска; 22 – зазор в коренном подшипнике; 23 – то же, в шатунном подшипнике; 24 – зазор в сопряжении «палец-поршень»; 25 – то же, «палец-шатун»

Число уровней может быть увеличено. Например, к уровню V можно отнести величины износ, то есть численные значения структурных параметров от номинального до предельного состояния, различимые с помощью диагностического средства. К другим уровням (рангам) можно отнести возможные причины износ, их характер и т. д., то есть все то, что представляет интерес при определении технического состояния объекта и оценке количества необходимой информации для его диагностирования.

Предложенная функционально-структурная схема ДВС позволяет представить его как сложную диагностическую систему со взаимосвязанными элементами, рассчитать неопределенность (энтропию) его технического состояния, а следовательно, необходимое и достаточное количество информации для поиска дефекта с заданной глубиной, обосновать методы и алгоритм диагностирования.

Диагностирование по степени охвата объекта может быть общим и элементарным (локальным). При общем диагностировании определяют работоспособность объекта диагностирования, выявляют наличие повреждений в структурных единицах (узлах и агрегатах), дают им качественную оценку. При поэлементном техническом диагностировании осуществляют поиск неисправного узла, когда объект диагностирования находится в работоспособном состоянии. При этом особое значение приобретают признаки, характеризующие техническое состояние.

Под функциональной моделью диагностируемой системы будем понимать модель, состоящую из функционально связанных между собой элементов до уровня которых может осуществляться поиск неисправности. То есть, если система состоит из N элементов, то в каждый момент времени она может находиться либо в исправном, либо в одном из N неисправных состояний по количеству функциональных элементов. Отказ двух и более элементов одновременно считается событием маловероятным.

Функциональная модель может совпадать с функциональной схемой диагностируемой системы, если диагностика будет осуществляться до уровня элементов функциональной схемы. Рассмотрим функциональную модель диагностируемой системы, изображенную на рис. 9.13.

Система состоит из семи функциональных элементов и может находиться либо в исправном состоянии, либо в одном из семи неисправных состояний. На вход модели подается сигнал X , а с выходов снимаются контролируемые сигналы Z_i . Определение различных технических состояний диагностируемой системы, а так же учет влияния отказов каждого функционального элемента на все остальные осуществляется с помощью таблицы неисправностей (матрицы неисправностей).

Для диагностируемой системы, функциональная модель которой изображена на рис. 9.13, таблица неисправностей имеет вид табл. 9.6.

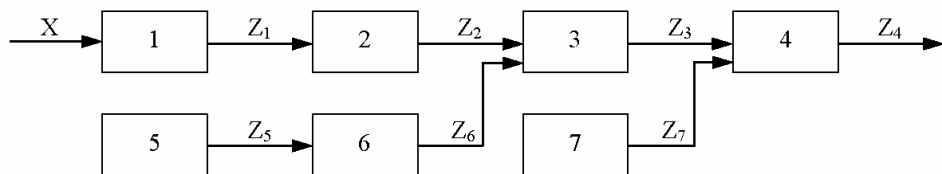


Рис. 9.13. Модель диагностируемой системы

Таблица неисправностей представляет собой матрицу, в которой число столбцов равняется числу функциональных элементов модели плюс один, то есть числу возможных технических состояний диагностируемой системы, а число строк равняется числу контролируемых параметров. Таблица заполняется на основании логического анализа функциональной модели диагностируемой системы.

Простейшим подходом к построению логической модели объекта сложной структуры является эвристический, базирующийся на знании причинно-следственных связей между основными функциональными звеньями

и их обобщенными диагностическими параметрами (признаками). На системном уровне декомпозиции структуры объекта строится его функционально-логическая модель.

Таблица 9.6

Таблица неисправностей

S_i/Z_i	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Z1	1	0	1	1	1	1	1	1
Z2	1	0	0	1	1	1	1	1
Z3	1	0	0	0	1	0	0	1
Z4	1	0	0	0	0	0	0	0
Z5	1	1	1	1	1	0	1	1
Z6	1	1	1	1	1	0	0	1
Z7	1	1	1	1	1	1	1	0

Разработка блок-схем структурно-следственных связей осуществляется по следующей цепи: агрегат – элемент – структурный параметр – неисправность – признак – диагностический параметр. Этим определяются уровни поиска неисправностей:

- 1-й включает в себя основные агрегаты и узлы, из которых состоит диагностируемая система;
- 2-й содержит сопряжения и элементы узлов и агрегатов, имеющие в процессе эксплуатации наиболее ощутимые износы и отклонения структурных параметров;
- 3-й включает в себя структурные параметры сопряжений и элементов. Состав структурных параметров определяется на основе анализа взаимодействия элементов и сопряжений с учетом критериев эксплуатационной надежности;
- 4-й содержит перечень возможных неисправностей объекта;
- 5-й – перечень симптомов, посредством которых проявляется каждая неисправность;
- 6-й – предварительный перечень всех возможных диагностических параметров, из которых выбираются только удовлетворяющие перечисленным требованиям.

9.1.8.4. Построение функционально-структурной модели

Потребность в представлении функционально-структурной модели объекта возникает при отсутствии статистических данных об изменении технического состояния объекта диагностирования по времени. При большом количестве составных частей объекта эксперименты по установлению степени их взаимного влияния трудоемки при непрерывном совершенствовании и изменении конструкции. В такой модели часть конструктивных элементов, непосредственно влияющих на рабочую функцию, обособлена. Такой подход способствует правильному выбору функционального и тестового диагностирования всего объекта (рис. 9.14).

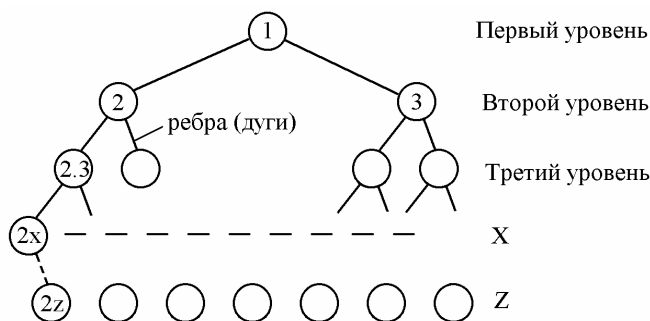


Рис. 9.14. Идеализированная структурная диагностическая модель

Элементы модели (2, 2.3, 2x, 2z) каждого уровня должно быть взаимно независимыми, зависеть от элементов нижнего уровня и влиять на элемент вышестоящего уровня. При этом вершинами дерева будут структурные составляющие объекта диагностирования, а ребрами – функциональные и структурные связи. Граф должен удовлетворять таким условиям: не содержать замкнутых циклов (петель) и несвязанных вершин, то есть иметь форму дерева. Один цикл структуры дерева (2, 2.3, 2x, 2z) должен быть рассчитан на поиск одной неисправности (отказа). После построения структуры дерева поиска дефектов, можно выделить приоритеты отдельных ветвей диагностирования.

Интегральный параметр может быть выбран, исходя из назначения системы или узла машины. При выборе элементов модели необходимо учитывать возможность их контроля современными диагностическими средствами. На основе структуры диагностической модели (см. рис. 9.14) строится условный алгоритм поиска дефекта, направление поиска при этом определяется критерием скорости получения информации о состоянии n -го элемента. Для этого для электронных систем диагностирования может быть применена программа поиска дефектов, а для диагностирования органами чувств и мышления разрабатываются таблицы поиска неисправностей с представлением иллюстраций типа рис. 9.15 или других графов [21].

Граф – система объектов произвольной природы (вершин) и связей (ребер), соединяющих некоторые пары этих объектов. Граф считается заданным, если имеются множество вершин, множество ребер и трехместный предикат (инцидектор), означающий высказывание: «ребро x_i соединяет вершину x_n с вершиной x_m ». Вершины делятся на два типа: преобразователи, из которых исходят две или более дуги и которые являются педикаторами, меняющими переход программы, поиск неисправности, ход вычислений.

Из граф-модели (см. рис. 9.15) можно определить источники неисправностей и отказов, что позволяет выбирать методы их диагностирования. Например, источники (5-3) можно диагностировать вибрационными методами, а другие параметры 5-1, 5-2 и 5-4 – дополнительно по измерению электрических параметров и температуры.

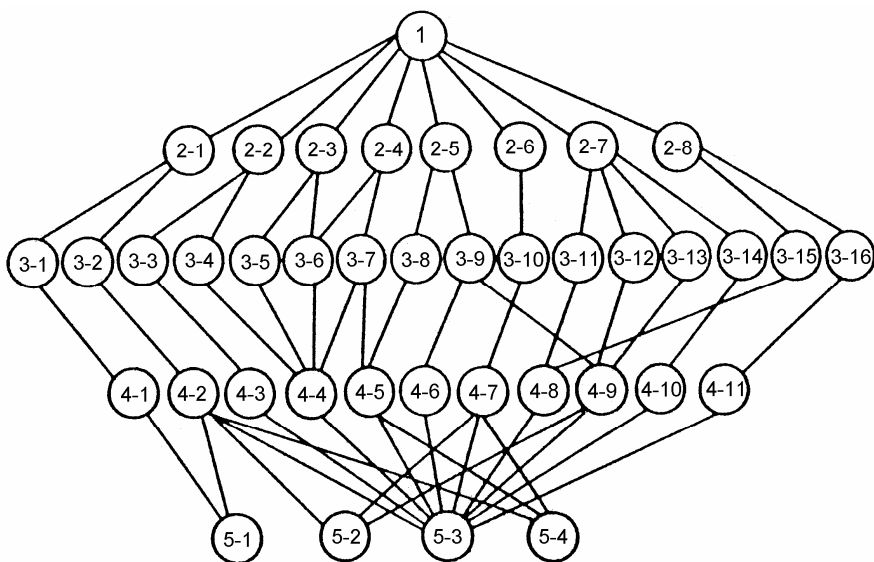


Рис. 9.15. Виброакустическая граф-модель привода машины – асинхронного короткозамкнутого электродвигателя:

- 1 – электродвигатель; 2-1 – обмотка статора; 1-1 – активное железо статора;
 2-3 – корпус статора; 2-4 – подшипниковые щиты; 2-5 – подшипники;
 2-6 – обмотка ротора; 2-7 – ротор с валом и активным железом; 2-8 – вентилятор;
 3-1 – параметры изоляции; 3-2 – пространственная симметрия обмотки;
 3-3 – плотность опрессовки; 3-4 – размеры и форма расточки; 3-5 – качество сборки;
 3-6 – размеры посадочных мест; 3-7 – качество посадки;
 3-8 – размеры, форма и микрогеометрия тел и поверхностей качения, смазка;
 3-9 – радиальный зазор; 3-10 – пространственная симметрия обмотки;
 3-11 – уравновешенность; 3-12 – размеры и форма бочки ротора;
 3-13 – форма оси вала; 3-14 – плотность опрессовки; 3-15 – уравновешенность;
 3-16 – качество сборки; 4-1 – ухудшение изоляции; 4-2 – обрывы, замыкания;
 4-3 – ослабление опрессовки; 4-4 – статический эксцентриситет;
 4-5 – изменение формы колец; 4-6 – увеличение зазоров; 4-7 – обрывы, замыкания;
 4-8 – неуравновешенность; 4-9 – динамический эксцентриситет;
 4-10 – ослабление опрессовки; 4-11 – ослабление посадки на вал;
 5-1 – сопротивление изоляции; 5-2 – ток статора; 5-3 – вибрация; 5-4 – температура

Представление объекта с помощью граф-моделей является частью теории распознавания образов в задачах определения надежности и технического диагностирования сложных технических систем, в которых совмещаются алгебраические методы распознавания и топологические свойства объекта.

9.1.9. Построение граф-моделей в пространстве свойств и параметров

В теории распознавания образов совмещаются алгебраические методы распознавания и топологические представления объекта граф-моделями.

Описание сложных объектов граф-моделями находит широкое распространение в различных областях знаний, при построении процедур диагностирования с учетом топологических свойств объекта.

Топология (греч. *topos* – место и *logos* – понятие, учение) – раздел математики (геометрии), изучающий топологическое пространство и составляющий основу современного теоретико-множественного метода. Множество, на котором задана топологическая структура, называется топологическим пространством.

Задачи технического диагностирования сложных объектов граф-моделями широко распространены в различных областях знаний при построении процедур диагностирования с учетом топологических свойств объекта [14, 21, 51, 52].

В транспортных задачах широко распространены графы взвешенные, в которых каждой дуге x соответствует некоторое число, называемое ее весом. К таким задачам относятся задачи о кратчайшем пути, о максимальном потоке и др.

Метод граф-моделей основан на использовании теорий отношений и теории графов. Применение этого метода позволяет значительно сократить объем вычислений при достаточной точности решения.

Задачу технической диагностики, связанную с построением программы поиска неисправностей и контроля работоспособности, можно отнести к задачам математического программирования. Одним из вариантов решения задач математического программирования является метод «ветвей и границ». Преимущество данного метода заключается в том, что для него не требуется точных количественных соотношений между параметрами. Топологическая модель позволяет описать работу сложного объекта в целом и дает возможность легкого построения модели в случае конструктивных изменений в объекте.

На рис. 9.16 показана процедура построения граф-модели в пространстве свойств функционирования тормозной системы грузового автомобиля с пневматическим приводом.

Первоначально при синтезе модели производится выбор множества наиболее существенных свойств функционирования объекта. На функциональной схеме объекта цифрами обозначаются основные функциональные элементы, а символами $x_{01}, x_{02}, x_i, \dots, x_{06}$ связи между ними (см. рис. 9.16, а, б). Основные функциональные свойства объекта представлены на модели величинами x_i (в виде вершин графа (см. рис. 9.16, в)).

На втором этапе осуществляется выделение причинно-следственных связей между свойствами объекта. Если соединить ребрами вершины с учетом причинно-следственных связей, получим граф-модель функционирования объекта в пространстве свойств.

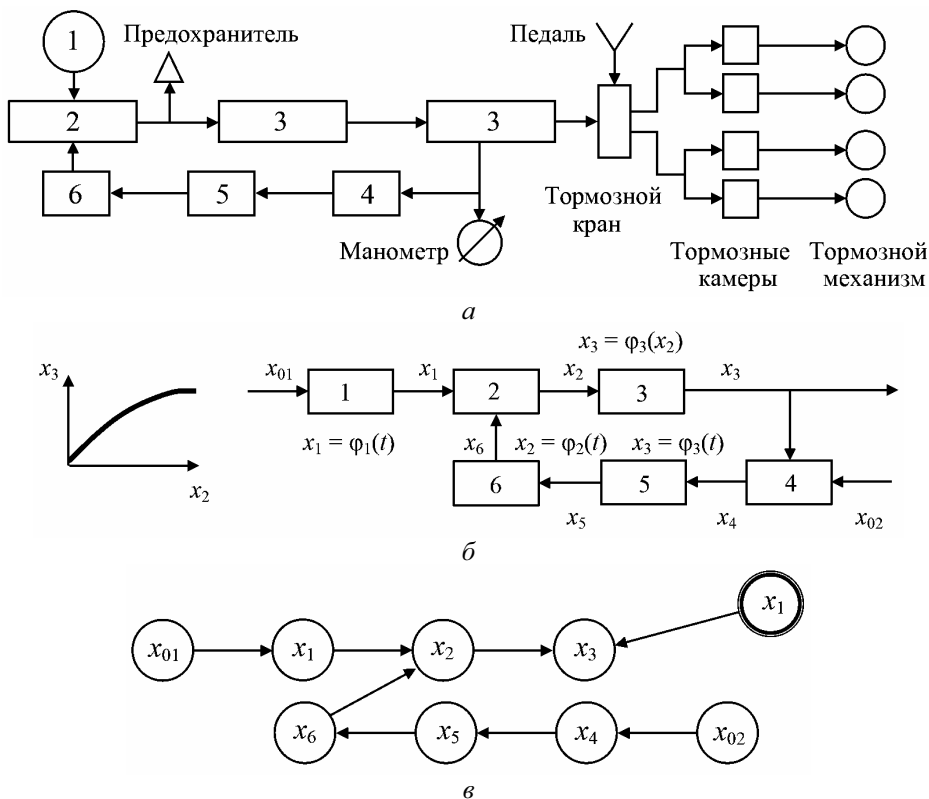


Рис. 9.16. Построение граф-модели в пространстве свойств:

a, б – функциональные схемы объекта; *в* – граф-модель объекта в пространстве свойств; 1 – привод компрессора; 2 – компрессор; 3 – баллоны ресивера; 4 – регулятор; 5 – камера диафрагмы; 6 – разгрузочные клапаны; x_{01} – вращательное движение коленчатого вала двигателя; x_{02} – установка необходимого давления в пневмосистеме; x_1 – передача вращения на компрессор; x_2 – производство сжатого воздуха; x_3 – аккумуляция давления в ресивере; x_4 – воздействие регулятора; x_5 – перемещение диафрагмы; x_6 – воздействие клапанов разгрузки на компрессор; x_7 – негерметичность пневмосистемы

На третьем этапе синтеза модели выполняются уточнение граф-модели и более детальный анализ свойств с учетом возможных неисправностей (например, наличие негерметичности системы x_7). При этом любое свойство x_i первоначальной модели заменяется характеризующими его параметрами (рис. 9.17, б).

При решении задач диагностирования необходимо переходить к модели пространства параметров, что составляет четвертый этап синтеза граф-модели.

В пневматических тормозных системах насчитывается около 30 основных параметров, которые необходимо учитывать при диагностировании системы. Любая неисправность оказывает влияние на эффективность работы тормозов.

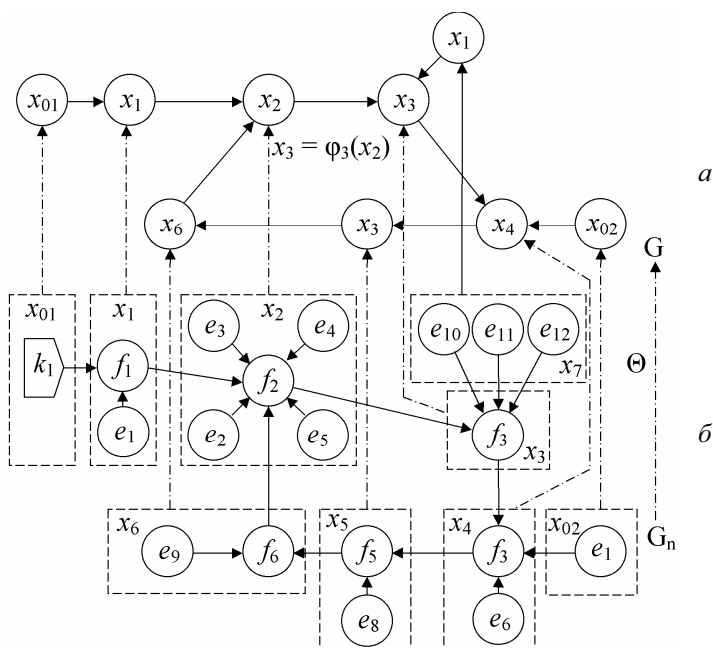


Рис. 9.17. Построение граф-модели в пространстве параметров:

a – в пространстве свойств; *б* – в пространстве параметров; x_{01} – вращательное движение коленчатого вала; x_{02} – установка необходимого давления в пневмосистеме; x_1 – передача вращения на компрессор; x_2 – производство сжатого воздуха; x_3 – аккумуляция давления в ресивере; x_4 – воздействие регулятора; x_5 – перемещение диафрагмы; x_6 – воздействие клапанов разгрузки на компрессор; x_7 – негерметичность пневмосистемы; f_1 – частота вращения вала компрессора; f_2 – полезная производительность компрессора в единицу времени; f_3 – давление воздуха в системе; f_4 – степень срабатывания регулятора; f_5 – перемещение диафрагмы; f_6 – степень открывания клапанов разгрузки; e_1 – натяжение приводного ремня; e_2 – герметичность сопряжения клапан-седло разгрузочных клапанов компрессора; e_3 – герметичность задней стенки картера компрессора; e_4 – суммарный зазор поршень-цилиндр; e_5 – состояние нагнетательных клапанов; e_6 – техническое состояние регулятора давления; e_7 – номинал срабатывания регулятора (уставки); e_8 – состояние диафрагмы; e_9 – регулировка, состояние привода разгрузочных клапанов; e_{10} – регулировка, состояние вентиля; e_{11} – герметичность сопряжения клапан-седло вентиля; e_{12} – герметичность соединительных трубопроводов; k_1 – частота вращения коленчатого вала двигателя

Например, давление в баллоне ресивера x_3 (f_3) зависит от состояния вентиля (e_{10}), герметичности сопряжения клапан-седло вентиля (e_{11}), герметичности соединительных трубопроводов (e_{12}) и от производительности (исправности) компрессора в единицу времени (f_2), которая, в свою очередь, зависит от герметичности сопряжения клапан-седло разгрузочных клапанов компрессора (e_2), герметичности задней стенки картера компрессора (e_3), суммарного зазора поршень-цилиндр (e_4), состояния нагнетательных клапанов (e_5), частоты вращения вала компрессора (f_1) и натяжения приводного ремня (e_1).

9.1.10. Диагностические модели гидравлических систем и механизмов

Диагностические модели гидравлических приводов. Оптимальное решение задач диагностики гидравлических приводов машин может быть получено только на основе комплексных теоретических и экспериментальных исследований множества E состояний, в которых они могут находиться при эксплуатации. Такие исследования наиболее удобно проводить с помощью аналитических описаний или графоаналитических представлений основных свойств гидравлических приводов как объектов диагностирования, которые называют диагностическими моделями. В общем случае под диагностической моделью системы гидропривода понимают формальное ее описание или графоаналитическое представление, отражающее основные изменения, происходящие в объекте диагностирования при эксплуатации.

В качестве диагностических моделей сложных технических систем могут рассматриваться дифференциальные уравнения, логические соотношения, диаграммы прохождения сигналов, графы причинно-следственных связей и др.

Применительно к системам гидравлических приводов машин в качестве диагностических моделей наиболее часто используются аналитические модели и структурно-функциональные схемы, позволяющие определить функциональные связи между структурными и выходными параметрами системы гидропривода, ее отдельных функциональных участков и агрегатов.

Аналитические модели. Аналитические модели нашли широкое применение при исследовании отдельных агрегатов гидравлических приводов и их элементов. Эти результаты исследований показывают, что гидравлические приводы машин и отдельные гидроагрегаты, такие как насосы, насосные станции, рулевые приводы и рулевые агрегаты, гидрораспределители и многие другие, представляют собой сложные нелинейные динамические системы, описываемые нелинейными дифференциальными уравнениями высоких порядков. Такие уравнения трудно поддаются аналитическим методам анализа, в связи с чем их исследования проводятся в большинстве случаев численными методами с применением ЭВМ.

Структурно-функциональные модели. В связи с тем, что гидравлические приводы современных машин представляют собой сложные гидромеханические системы с распределенными параметрами, их аналитическое описание настолько усложняется, что применение аналитических моделей в качестве диагностических во многих случаях становится нецелесообразным. Более приемлемым является использование структурно-функциональных схем с применением для их анализа методов алгебры логики и теории графов.

Характерной особенностью систем гидравлических приводов машин является то, что их принципиальные схемы могут быть легко разбиты на блоки структурных схем. Блоками в этом случае являются гидроагрегаты (бак, фильтр, гидроаккумулятор, гидроцилиндр и др.) или отдельные узлы

(например, узел регулятора подачи насоса, золотниковый распределитель следящего гидроусилителя и др.). Выходом такого блока S_i (рис. 9.18, а) является вектор Z_i параметров z_{ji} , характеризующих состояние потока рабочей жидкости на выходе гидроагрегата или состояние выходного элемента гидродвигателя. Составляющими вектора Z_i являются давление, расход, температура рабочей жидкости, ее загрязненность и некоторые другие параметры для источников расхода и агрегатов гидрораспределительной аппаратуры, а также положение, скорость перемещения, угловая скорость выходного звена, развиваемое усилие, крутящий момент на выходном штоке или выходном валу для гидродвигателей. Входами для блока S_i являются вектор X_i управляющих воздействий и вектор Y_i параметров, характеризующих состояние потока рабочей жидкости на входе в гидроагрегат. Для насосов и насосных станций составляющими вектора Y_i являются также параметры механического или электрического привода (мощность, частота вращения и др.), а для электрогидравлических агрегатов – параметры электропитания.

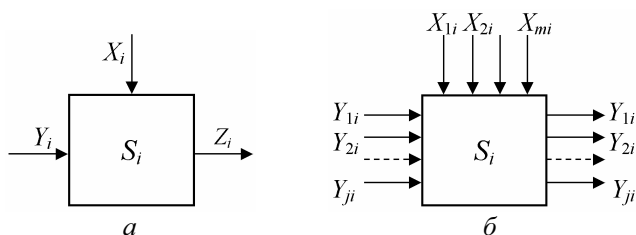


Рис. 9.18. Расщепление параметров входа и выхода блока структурной схемы системы гидропривода

Переход от структурной схемы гидропривода системы к функциональной осуществляется путем расщепления входов и выходов блоков структурной схемы на составляющие (рис. 9.18, б), а также расщепления блоков S_i на блоки S_{ji} и их соединения в функциональные цепочки по параметрам расщепления, в которых выходной параметр z_{ji} блока S_{ji} является входом $Y_{j(i+1)}$ блока $S_{j(i+1)}$. Если при этом сохраняется структура построения исследуемой системы гидропривода, то полученную схему будем называть структурно-функциональной схемой гидравлического привода с расщепленными параметрами.

Логические модели. Номинальные значения выходных функциональных параметров гидравлических приводов, как правило, приведены в технических условиях. Совокупность номинальных значений выходных параметров для каждой конкретной системы гидропривода определяет область их допустимых значений. Аналогично определяется область допустимых значений и для выходных функциональных параметров отдельных агрегатов, входящих в систему гидропривода. Контроль технического состояния гидроприводов при эксплуатации во многих случаях проводят с использованием оценок вида «в допуске – не в допуске», «в норме – не в норме», «в ТУ – не в ТУ», то есть имеет место допусковый способ диагностирования. В связи с использованием допусковых оценок при контроле технического со-

стояния систем гидравлических приводов машин возникает стремление многих отечественных и зарубежных исследователей применить при разработке диагностики гидравлических приводов математические модели логического типа, а для анализа последних – методы алгебры логики.

Логическая модель системы гидравлического привода может быть построена путем преобразования ее структурно-функциональной схемы с расщепленными параметрами, в которой функциональные блоки S_i заменяются на блоки логической схемы W_i . Входы и выходы таких блоков считаются двоичными логическими входными (выходными) переменными, принимающими значение «истинно» (1), если значения соответствующих их входов (выходов) допустимы (находятся в пределах ТУ), и значение «ложно» (0) в ином случае.

Применение логических моделей для целей диагностики требует выполнения ряда условий и, прежде всего, правильности всех входящих в логическую схему объекта диагностирования блоков, то есть чтобы при наличии нескольких входов $y_i = \{y_{ji}\}$ каждый i -й блок имел только один выход z_i . При этом выход z_i блока был бы допустимым только в том случае, когда все его входы допустимы ($y_{ji} = 1$) и блок W_i исправен. В этом случае выходную функцию блока можно рассматривать как конъюнкцию переменных y_i и W_i .

$$z_i = y_i W_i.$$

Логическая модель объекта считается правильной, если для любой пары блоков подмножества допустимых значений входа и выхода и подмножества их недопустимых значений совпадают, если выход одного из блоков является входом другого, а для блоков, имеющих одинаковые входы, подмножества допустимых значений и подмножества недопустимых значений их входов совпадают.

Вводя в логическую схему исследуемой системы возможные в эксплуатации гидропривода неисправности, получаем для каждого случая совокупность выходных параметров логических блоков $\{z_i\}$, принимающих значения «1» или «0» в зависимости от соответствия значения z_i требованиям ТУ. Если система исправна, то значения выходов всех логических блоков должны принимать значение «1».

Графы причинно-следственных связей. Затруднения, возникающие при применении логических схем для диагностики гидроприводов машин, могут быть устранены при использовании графов причинно-следственных связей. Их целесообразно применять в тех случаях, когда объект диагностирования не имеет явно выраженных функциональных блоков (например, автономные рулевые приводы летательных аппаратов), когда отсутствуют точные аналитические или экспериментальные зависимости между параметрами объекта и известно лишь то, что один параметр каким-то образом зависит от другого.

Графом причинно-следственных связей системы гидропривода будем называть ориентированный граф, вершины которого представляют собой входные, внутренние и выходные параметры системы, а дуги отражают причинно-следственные связи между соответствующими вершинами. На-

правление дуги соответствует перемещению от причины к следствию.

В качестве примера на рис. 9.19 представлен граф причинно-следственных связей рассмотренного функционального участка гидроподъемника для режима с наличием внутренних утечек в гидромоторе.

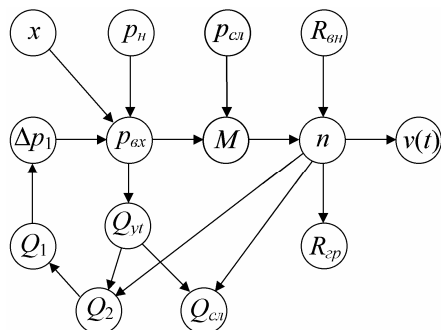


Рис. 9.19. Граф причинно-следственных связей функционального участка гидропривода подъемника при наличии внутренних утечек в гидромоторе

Для того чтобы по графу причинно-следственных связей можно было выполнить строго формальное заключение относительно технического состояния соответствующего объекта диагностирования, должны быть справедливы основные предпосылки, которые принимаются при построении логических моделей. При этих условиях во многих случаях от графа причинно-следственных связей системы можно перейти к логической модели, и наоборот. При построении графа причинно-следственных связей его вершинам можно сопоставлять не только внутренние и внешние параметры гидропривода, но и события, определяемые логическим высказыванием типа «значение параметра вышло из ТУ».

При построении графа причинно-следственных связей системы гидропривода можно представлять не все входные, внутренние и выходные параметры системы (или события, отражающие предельно допустимые значения этих параметров), а только те из них, которые доступны для измерений и могут быть использованы в качестве диагностических.

9.2. Аналитическое описание графической модели

Основные достоинства аналитических диагностических моделей – глубина и полнота описаний, недостатки – сложность и отсутствие инженерной наглядности. Вследствие этого одной из широко применяемых форм диагностической модели являются графоаналитические модели. Исходными данными для построения таких моделей являются структурные, функциональные и принципиальные схемы объекта, алгебраические или дифференциальные уравнения причинно-следственные связи между параметрами объекта (см. рис. 9.16, 9.17).

Ориентированные графы (топологические модели) дают одно из наиболее наглядных представлений объекта диагностирования. Если объект

диагностирования может быть описан например, системой линейных алгебраических уравнений, то эту систему можно представить, например, функцией – диаграммой прохождения сигналов. Она строится на основе принципиальной или функциональной схемы объекта и представляет собой схему, состоящую из узлов (искомых переменных), которые соединены направленными ветвями соответствующими своему оператору (коэффициенту при переменных). Используя определенные правила, преобразовывают диаграмму прохождения сигналов и находят решение уравнений объекта диагностирования. Построение указанной диаграммы позволяет выявить дополнительные связи и оптимизировать число контролируемых параметров.

Ориентированные графы могут быть построены непосредственно по функциональной схеме объекта диагностирования (рис. 9.20). Граф обозначают символом $G(\bar{X}, \bar{V})$, где $\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ и $\bar{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – соответственно, множества вершин и дуг.

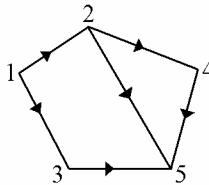


Рис. 9.20. Ориентированный граф

С понятием «ориентированный граф» связан термин «отображение». Отображение показывает, каким образом вершина x_i отображается в других вершинах. Граф имеет отображение следующего вида:

$$\Gamma x_1 = \{x_2, x_3\}; \Gamma x_2 = \{x_4, x_5\}; \Gamma x_3 = \{x_5\}; \Gamma x_4 = \{x_5\}; \Gamma x_5 = 0.$$

Последнее равенство указывает на отсутствие отображения. Дуги (ветви) графа представляют собой причинно-следственные связи между параметрами, причем каждой дуге ставится в соответствие некоторое число – вес дуги, оцениваемый по определенным правилам (по статистической информации о функционировании объекта или по экспертным оценкам). Обычно используются относительные веса дуг. Граф $G(x, \Gamma)$ позволяет наглядно проследить взаимное влияние предыдущих выходов на последующие и определить взаимное влияние параметров.

Применение изображения функциональных схем в виде ориентированных графов позволяет также представить схему, как и любой граф, в виде матрицы, называемой «матрицей смежности».

Матрица смежности графа G , состоящего из n вершин – это квадратная матрица $\bar{A} = [a_{ij}]$ порядка n . Ее элемент $a_{ij} = 1$, когда между вершинами есть связь, и $a_{ij} = 0$, когда вершины x_i и x_j не соединены дугами. Для рис. 9.20 матрица смежности определяется в виде, приведенном далее.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Строка матрицы, состоящая из нулей, свидетельствует о том, что эту вершину отображают остальные.

При рассмотрении некоторых задач диагностирования используется особый вид графа, называемый «деревом». Особенность этого графа в том, что в нем нет контуров и в вершину x_1 не заходит ни одна дуга, а в каждую другую вершину заходит только одна дуга. Вершины графа, в которые дуги не заходят, называются висячими. «Дерево» является своеобразной формой описания логических возможностей схем, представляемых данным графом, и находит применение для составления диагностических программ.

В ряде случаев в качестве диагностической модели используется так называемый «двудольный граф», составляемый по функциональной схеме объекта и включающий в себя весь возможный комплекс контролируемых параметров. По определенному правилу из графа выделяется наименьшее устойчивое подмножество параметров (исключаются «висячие вершины»), которое может быть принято в качестве целесообразного при автоматизированном диагностировании.

Еще одним видом графоаналитических моделей является матрица состояний, называемая также таблицей состояний, таблицей неисправностей. Матрица строится на базе диагностической модели. Номер столбца соответствует номеру вида технического состояния объекта диагностирования, номер строки – элементарной проверке на выходе блока U_j . При составлении таблицы логическим путем оценивают результаты проверки U_i для состояния j . Если результат проверки положительный, в элемент таблицы (i,j) записывается (1), в противном случае – (0). Матрица состояний обычно формируется в предположении, что в системе имеет место одновременно один отказ.

Наибольшее распространение графоаналитические модели получили для решения задач диагностирования электронных систем, однако есть примеры их применения и для электромеханических систем.

9.3. Анализ и проверка диагностических моделей

Анализ диагностической модели при разработке диагностического обеспечения предусматривает последовательное выполнение следующих задач:

1. Определение множества диагностических показателей – прямых и косвенных. Прямыми называют диагностические показатели, непосредственно присущие в диагностической модели, косвенными – диагностические

показатели, формируемые из прямых, или показатели, характеризующие прямые, но отсутствующие в диагностической модели.

2. Выбор из множества совокупности оцениваемых диагностических показателей, обеспечивающих определенную достоверность диагностирования.

3. Выбор методов оценки диагностических показателей, обеспечивающие требуемую точность оценки с учетом характера решаемых задач диагностирования. При этом необязательно, чтобы все диагностические показатели механизмов машин оценивались одинаковыми методами.

4. Определение условий работоспособности и признаков дефектов в пространстве оцениваемых диагностических показателей машины, исходя из основных требований, предъявляемых к механизмам при их использовании по прямому назначению. Таким же образом выявляют признаки дефектов в машине, которые в отличие от условий работоспособности не всегда определяют неработоспособность машины.

Рассмотренная процедура призвана оценить изменение состояния технических систем машины с учетом принятия перечня оцениваемых диагностических показателей, методов их оценки, условий работоспособности и признаков неисправности, а также алгоритмы программы, средства диагностирования и деятельность человека-оператора при определенной квалификации обслуживающего персонала.

Анализ диагностических моделей объекта позволяет сформулировать условие работоспособности, определить признаки неисправностей и выбрать ограниченное множество характеристик, показателей или параметров, которые следует контролировать в процессе диагностирования. При выборе методов диагностирования необходимо учитывать возможность их технической реализации, конструктивное исполнение и условия эксплуатации объекта. При этом должно быть установлено, какие встроенные или внешние технические средства будут использоваться в процессе диагностирования. В результате должны быть решены конструкционные вопросы, связанные с объектом и встроенными средствами диагностирования, а также разработано техническое задание на внешние средства диагностирования.

Метод морфологического анализа является одним из общенаучных методов [39]. В настоящее время он является наиболее разработанным и относится к группе системно-структурных методов. Он включает анализ и синтез исследуемой системы и применяется с целью получения всех возможных вариантов решения создания системы диагностирования. При этом синтезируются как известные, так и новые варианты, которые при простой переработке могли быть упущены. Морфологические исследования направлены на выявление альтернативных вариантов развития системы диагностирования путем расчленения объекта диагностирования на структурные, ресурсные и функциональные элементы с дальнейшим анализом и синтезом всех возможных комбинаций элементов, компонентов и эффектов. Для морфологического описания системы диагностирования часто используют представление ее в виде дерева декомпозиции.

Основные способы оценки диагностических параметров: оценка

органами чувств человека (органолептическая оценка), измерение, контроль, замена в объекте диагностирования «подозреваемых» элементов на заведомо исправные, проверка «подозреваемых» элементов на заведомо исправном объекте, наблюдение за реакцией объекта диагностирования при подаче тестового стимулирующего воздействия и др. Диагностический эксперимент или процесс диагностирования состоит из отдельных испытаний, которые принято называть элементарными проверками.

Позлементное диагностирование – когда диагностический прибор подсоединяется к каждому контролируемому агрегату (системе) и проверяются все его параметры – предназначается для выявления скрытых неисправностей узлов и агрегатов автомобиля, устранение которых требует выполнения регулировочных и ремонтных работ большой трудоемкости.

Элементарная проверка есть акт однократной оценки определенного диагностического параметра. Оценка диагностического параметра производится в заранее фиксированных местах объекта диагностирования, их принято называть контрольными точками. Часто элементарной проверкой называют пару, первая компонента которой – это определенное воздействие на объект диагностирования, а вторая – реакция объекта диагностирования на это воздействие. Понятно, что объект диагностирования, находящийся в разных технических состояниях, может выдавать разные реакции в одной и той же элементарной проверке. При таком узком понимании элементарных проверок можно различать три их вида.

Первый вид: фиксируется значение входного воздействия и наблюдается реакция в нескольких контрольных точках.

Второй вид: подается определенная последовательность входных воздействий и наблюдается последовательность реакций в одной контрольной точке.

Третий вид – это общий случай: подается последовательность входных воздействий и наблюдается множество контрольных точек.

Исход диагностического эксперимента всегда случаен, так как если он предопределен, то проводить его бессмысленно. Таким образом, всякий процесс диагностирования состоит из последовательности элементарных проверок при данном наборе контрольных точек и при одинаковых условиях. В рамках структурного подхода понятие «элементарная проверка» применяют также к отдельным частям объекта диагностирования или их совокупностям. В этом случае предполагается доступность входов и выходов этих частей. Мощность множества возможных элементарных проверок характеризуется конечным множеством параметров. Формально для объекта диагностирования, состоящего из n блоков, элементарную проверку можно обозначить n -разрядным двоичным набором по одному разряду для каждого блока. Каждая элементарная проверка устанавливает исправность или неисправность группы из k блоков. Остальные $n-k$ блоков остаются непроверенными. Различные элементарные проверки могут иметь различную величину k и различный состав охваченных проверкой блоков. Нуль на i -м месте в двоичном наборе данной элементарной проверки означает, что i -й блок объекта диагностирования охвачен проверкой и является исправным, если ре-

зультат проверки положительный. При отрицательном результате формулируется вывод о том, что отказал по меньшей мере один из блоков, имеющих нуль в двоичном наборе данной элементарной проверки. Единица на i -м месте указывает, что i -й блок данной элементарной проверкой не охвачен. При формальном рассмотрении можно считать, что существует столько разных элементарных проверок данного объекта диагностирования, сколько может быть различных n -разрядных двоичных наборов. Проверка с единичным набором не дает полезной информации, ее следует исключить. Тогда число элементарных проверок будет равно $2^n - 1$. При исследовании реальных объектов диагностирования не все проверки могут оказаться технически осуществимыми, поэтому формальная постановка вопроса должна быть дополнена конкретным исследованием объекта диагностирования.

В зависимости от характера последовательности элементарных проверок различают два основных способа поиска дефектов (неисправностей): комбинационный и последовательный. При использовании первого способа состояние объекта диагностирования определяется путем выполнения заданного количества элементарных проверок, порядок осуществления которых безразличен. Выявление дефектных блоков производится после проведения всех заданных элементарных проверок. С этой целью производится анализ результатов проведенных проверок. Для данного способа характерны такие ситуации, когда не все результаты выполненных элементарных проверок необходимы для определения состояния объекта диагностирования. При использовании второго способа проверки, осуществления которых достаточно для определения всех заранее заданных различимых состояний объекта диагностирования, выполняются в некотором порядке. Результат каждой элементарной проверки анализируется непосредственно после его получения, и если состояние объекта диагностирования еще не определено, то выполняется следующая по порядку проверка. Порядок выполнения элементарных проверок может быть строго фиксированным или же зависеть от результатов предыдущих проверок. Поэтому алгоритмы, реализующие второй способ, можно разделить на условные, в которых каждая последующая элементарная проверка назначается в зависимости от исхода предыдущей, и безусловные, в которых элементарные проверки выполняются в некотором заранее фиксированном порядке.

Если фиксированный диагностический элемент соответствует нескольким не связанным между собой частям, то для проверки его исправности требуется проверить все эти части. Это означает, что число элементарных проверок должно быть, по крайней мере, равно числу частей, описываемых данным диагностическим элементом и не имеющих между собой функциональных связей. Число необходимых элементарных проверок данного диагностического элемента может быть сокращено при наличии таких связей. Когда все части внутри диагностического элемента связаны между собой и их функции генерируют один внешний выход по схеме конъюнкции, тогда состояние данного диагностического элемента может быть оценено одной элементарной проверкой сигнала на этом выходе. Именно эти крайности достаточно полно характеризуют принцип функциональна бли-

зости: при определении внутреннего содержания диагностического элемента следует собирать в нем части, работающие на формирование общего сигнала на его единственном выходе.

9.4. Общий подход к разработке алгоритмов поиска неисправностей

Основопологающим шагом при выявлении причин любого отказа являются алгоритмы поиска неисправностей, которые разрабатываются на стадии доводки опытных образцов машин (систем) и указывается в технической эксплуатации по ее эксплуатации. При отработанных алгоритмах на стадии доводки объектов автомобиля причина отказа (неисправности) может находиться «на поверхности». Если алгоритмы поиска неисправностей для эксплуатационной документации не отработаны, на стадии доводки приходится потрудиться, проводя иногда большое исследование. При этом эффективным оказывается спокойный логический подход к поиску вышедшего из строя узла или компонента. Обязательно следует принять во внимание все предшествовавшие неисправности, иногда незначительные, признаки истораживающие сигналы, такие как потеря развиваемой двигателем мощности, изменение показаний измерителей, возникновение необычных звуков и запахов и т. п. Отказ таких компонентов, как предохранители или свечи зажигания могут являться лишь признаком более глубоко скрытого нарушения технического состояния.

Для большинства деталей, особенно сложных систем машины, характерно протекание нескольких разрушительных процессов, приводящих к отказу детали. В этом случае все попытки рассчитать ресурс детали, выделив только один из деградиационных процессов, не дают положительных результатов.

Для диагностирования нужно применять методы, которые основываются на исследовании графоаналитических представлений свойств объекта диагностирования и называются диагностическими моделями, их классификация приведена на рис. 9.21.

Процесс поиска неисправностей двигателя разрабатывается на основе структурных схем и граф-моделей. Они строятся по различным признакам, например по функциональным, в пространстве свойств элементов или в пространстве параметров. Поэтому алгоритм поиска неисправностей также различен. Наилучшим считается алгоритм, позволяющий локализовать неисправность с меньшим числом проверок и с меньшей трудоемкостью.

Процесс поиска неисправности заключается в логической обработке некоторой объективно существующей информации, поступающей от работающих агрегатов в определенный отрезок времени. Эта информация поступает в виде системы внешних признаков, прямо или косвенно характеризующих состояние автомобиля.



Рис. 9.21. Схема решения диагностических задач

Очень важно при поиске неисправности подобрать такие признаки, которые бы полностью характеризовали состояние агрегата (узла) автомобиля, поддавались бы несложным замерам и были бы наиболее дешевыми. Разрабатывая систему диагностики, следует выполнять необходимые вычислительные и экспериментальные работы и устанавливать функциональные зависимости параметров сигналов и состояний системы.

Сам процесс диагностирования предусматривает наличие умения и способности производить целенаправленные действия. Эти способности и определяют алгоритм управления, то есть совокупность правил, методов и способов, которые дают возможность производить управление. Организовать такое целенаправленное действие (управление) можно только тогда, когда известно действительное состояние объекта управления.

Построение алгоритмов диагностирования заключается в выборе такой совокупности элементарных проверок, по результатам которых в задаче выявления неисправностей (дефектов) можно отличить исправное, работоспособное состояние или состояние правильного функционирования объекта от его неисправных состояний, а также в задачах поиска неисправностей различать разные виды неисправных состояний (или группы неисправных состояний).

При построении алгоритмов диагностирования по явным моделям объектов элементарные проверки выбирают путем попарного сравнения тех описаний, технические состояния которых нужно различать. В задаче тестового диагностирования контрольные точки объекта часто определены заранее и они одинаковы для всех элементарных проверок. В таких случаях выбирают только входные действия элементарных проверок – это задача

построения тестов. В задачах функционального диагностирования, напротив, входные действия элементарных проверок определены заранее рабочим алгоритмом функционирования объекта и выбору подлежат только контрольные точки.

Формализованные методы построения тестов нашли широкое приложение для дискретных объектов и редко применяются для аналоговых объектов. Последнее объясняется тем, что для аналоговых объектов не является естественным ни выделение значительного количества различных входных действий, ни, что самое главное, определение значений ответов на эти действия исправного объекта и его неисправных модификаций [26].

Существующие системы построения тестов для дискретных объектов электронной техники работают с неявными моделями и обычно ограничиваются проверяющими тестами для выявления неисправностей. Для дискретных объектов даже средней сложности сложность вычислений вынуждает отказываться от построения тестов поиска неисправностей с заданной глубиной. Для дискретных объектов высокой сложности имеющиеся системы не позволяют получить даже проверяющие тесты с приемлемыми расходами времени. Для эффективной организации диагностического обеспечения таких объектов нужно повышение их контролепригодности и применение современных внешних программных средств тестового диагностирования. Вместе с этим необходима разработка проблемно ориентированных систем проектирования диагностического обеспечения.

Построение алгоритмов функционального диагностирования заключается в определении условий работы средств, которые реализуют эти алгоритмы. Средства функционального диагностирования, как правило, являются встроенными в объект диагностирования и их часто называют средствами встроенного контроля. Обычно стремятся к тому, чтобы при нормальном функционировании объекта в условиях применения его по назначению, средства встроенного контроля на своих выходах выдавали известные постоянные значения сигналов и изменяли эти значения при нарушении правильности функционирования объекта. По этому принципу строятся схемы встроенного контроля дискретных объектов (схемы сравнения, схемы контроля, за модулем и др.). Эту же идею применяют при построении средств встроенного контроля методом избыточных переменных для аналоговых объектов. При организации проверки правильности функционирования или поиска неисправностей, которые нарушают правильное функционирование аналоговых объектов на основе допустимого способа контроля параметров, задание построения алгоритма диагностирования сводится к выбору состава контрольных точек.

Эффективность процессов диагностирования, которое оценивается, например, временем диагностирования или расходами аппаратуры на хранение и реализацию алгоритмов диагностирования, в некоторых случаях существенно зависит от их качества.

Оптимизация алгоритмов диагностирования возможна тогда, когда число элементарных проверок, достаточных для решения конкретной задачи диагностирования, меньше числа всех допустимых (то есть физически

возможных и реализуемых) элементарных проверок данного объекта. Для разных элементарных проверок могут быть необходимы различные расходы на их реализацию, эти проверки могут давать разную информацию о техническом состоянии объекта. Кроме того, одни и те же элементарные проверки могут быть реализованы в разной последовательности.

Поэтому для решения одного и того же задания диагностирования можно построить несколько алгоритмов, которые различаются составом элементарных проверок или последовательностью их реализации или, наконец, тем, что требуют различных расходов на их реализацию. Построение оптимальных алгоритмов во многих случаях связано с трудностями вычислений и поэтому часто удовлетворяются оптимизированными алгоритмами диагностирования, затраты на реализацию которых несколько меньше, но не обязательно минимальные.

Задача построения оптимальных алгоритмов диагностирования при невысокой размерности может успешно решаться методами обработки таблиц покрытий (для безусловных алгоритмов) и методами теории опросов (для условных алгоритмов).

Эффективность процессов диагностирования определяется не только качеством алгоритмов диагностирования, но и не в меньшей мере качеством средств диагностирования. Последние могут быть внешними или встроенными, ручными, автоматизированными или автоматическими, специализированными или универсальными.

Наличие объективных статистических данных о вероятности возникновения дефектов, а также о средних расходах на обнаружение, поиск и устранение дефектов, расширяет возможности эффективной организации процессов диагностирования. Для сбора таких данных необходимо применять надежно работающие внешние и встроенные средства диагностирования, которые обеспечивают получение объективной и полной информации.

Для совершенствования методов диагностирования необходимо, основываясь на анализе причинно-следственных предпосылок отказов, разрабатывать логическую модель поиска и локализации неисправностей (дефекта). Техническое программное обеспечение сложных причинно-следственных неисправностей и отказов без логического анализа диагностом отдельных операций диагностирования не позволяет решать такие задачи.

Основной в решении является база знаний, которая включает описание с определенной мерой детализации каждого из известных технических состояний автомобиля; закономерности функционирования объекта диагностирования; способы и средства диагностирования и физические процессы, связанные с ними.

Решение этих задач должно сопровождаться минимальными расходами ресурсов на контрольно-измерительные операции, достаточным уровнем точности и, соответственно, достоверностью результатов. Каждой из трех задач отвечает определенный методологический аппарат. Учитывая, что для решения диагностических задач используются информационно-аналитические базы, можно создать общую схему решения.

Рациональная организация поиска дефекта, неисправности или отказа

возможна при создании достаточно совершенных «мыслительных» алгоритмов поиска. Начальный этап алгоритмизации поиска заключается в разбиении объекта диагностирования на функциональные подсистемы, далее анализируется математическая модель и характер влияния неисправностей в подсистемах различного уровня на их работоспособность, то есть анализируется диагностическая модель.

Алгоритм диагностирования должен быть построен таким образом, чтобы по выбранному перечню параметров надо определить работоспособность системы, сравнить ее с нормой, принять решение о локализации имеющейся неисправности и прогнозировать остаточный ресурс.

Локализация неисправностей, то есть их поиск и устранение, – неотъемлемая часть технологического процесса диагностирования. Основные метрологические требования, которым должны удовлетворять методы и средства локализации неисправностей, не отличаются от требований к самому процессу диагностирования. Это – точность, достоверность, быстроедействие и эффективность.

Точность локализации характеризуется степенью возможности выявить неисправность того или иного элемента технической системы. Иногда этот термин называют **глубиной** контроля, диагностирования или локализации.

Достоверность локализации неисправности – это вероятность того, что место (источник) отказа определено правильно.

Нестабильность диагностического параметра снижает достоверность оценки технического состояния механизма при его использовании, что в некоторых случаях вынуждает отказаться от быстродействующих и удобных методов диагностирования.

Быстродействие характеризует скорость поиска и устранения неисправности, которая определяется выбранным алгоритмом его поиска.

Эффективность – комплексная оценка метода локализации – определяет снижение трудоемкости при оптимизации алгоритма поиска и устранения неисправности.

Особенность методов локализации заключается в том, что поиск неисправностей ведется не после наступления отказа, а в его предположении. Поэтому алгоритмизация поиска должна базироваться на логике и вероятностной основе с учетом функциональных связей между параметрами.

Логическая алгоритмизация поиска основана на использовании структурно-следственных связей с жестко заданными параметрами диагностирования. Алгоритм диагностирования должен быть построен таким образом, чтобы по выбранному перечню параметров определить работоспособность системы и локализовать имеющиеся неисправности. Глубина локализации неисправностей определяется эксплуатационными и экономическими факторами и устанавливается до съемного в условиях эксплуатации блока или элемента. Кроме того, при диагностировании должны выявляться те элементы, неисправности которых могут быть устранены путем регулировок при техническом обслуживании.

Контрольные вопросы

1. Перечислите задачи и виды знаний в построении диагностической модели.
2. Объясните понятие «диагностическая модель». Какими особенностями она должна обладать?
3. Какие бывают типы «диагностических моделей»?
4. Что представляют собой явная и неявная модель объекта диагностирования?
5. В каком случае объект диагностирования можно представить непрерывной моделью?
6. Какие группы моделей можно использовать для получения диагностического обеспечения.
7. Приведите примеры графоаналитических моделей диагностирования.
8. Какие модели можно выделить по способу формирования модели?
9. Каковы преимущества аналитических моделей?
10. Какие преимущества графоаналитических моделей.
11. Что означает интуитивная модель?
12. Что означает информационная модель?
13. На основе какого анализа строится функциональная модель?
14. На основе какого анализа строится математическая модель?
15. Объясните этапы математического моделирования.
16. Приведите методы вероятностного прогнозирования.
17. Объясните возможности применения метода Байеса и Вальда. В чем их разница?
18. Приведите примеры построения диагностической матрицы.
19. Как строятся структурные модели диагностического объекта? Приведите примеры построения таких моделей.
20. Как строится структурно-наследственная диагностическая модель? Приведите пример такой модели для ЦПГ двигателя.
21. Объясните преимущества использования функционально-логической модели объекта.
22. Приведите примеры построения граф-модели в пространстве свойств и параметров.
23. Приведите пример построения графа причинно-следственных связей функционирования гидропривода.
24. Приведите пример разработки алгоритма поиска неисправностей.

10. Построение диагностических моделей, тестов и алгоритмов контроля и диагностирования электрических и электронных систем

10.1. Моделирование оценки работоспособности схем и систем

При проектировании, производстве и эксплуатации систем и схем решаются задачи контроля работоспособности и диагностирования неисправных элементов. Эти операции выполняются путем измерения входных и выходных параметров. При тестовом диагностировании затраты на реализацию контроля и диагностирования связаны с рациональным выбором контрольных точек и тестов.

Формализованный метод определения работоспособности систем и диагностирования неисправностей включает следующие процедуры:

- моделирование системы;
- анализ модели и разбиение системы на подсистемы;
- назначение контрольных точек для определения работоспособности системы и ее подсистем;
- назначение контрольных точек для диагностирования неисправных элементов;
- разработка диагностических тестов.

Приведем разработанную методику матричного преобразования, удобного для программирования при автоматизированном проектировании.

10.2. Моделирование схем и систем

Моделирование систем и схем осуществляется с помощью направленных графов. Каждый функциональный элемент системы или схемы изображается в виде вершины, а все информационные связи представляются в виде направленных дуг. Входные и выходные сигналы показываются стрелками (рис. 10.1, а).

Направленные графы описываются матрицей связей и матрицей достигаемости. При помощи этих матриц раскрываются свойства графов (систем и схем) и формируются другие матрицы, необходимые для анализа модели объекта.

Если исследуемый объект имеет n элементов, то матрица связей P является матрицей размера $n \times n$, в которой элемент $P_{ij} = 1$, когда существует направленная ветвь от элемента i к элементу j , и $P_{ij} = 0$, когда направленная ветвь отсутствует (рис. 10.1, б).

Матрица достигаемости D является матрицей размера $n \times n$, в которой $d_{ij} = 1$, если имеется хотя один направленный путь от элемента i до элемента j , и $d_{ij} = 0$, если направленный путь отсутствует (рис. 10.1, в).

После завершения этапа моделирования решается задача декомпозиции структуры объекта, то есть выделяются отдельные подсистемы, каждая из которых выполняет определенные функции в рамках объекта как системы.

10.3. Расчленение систем на подсистемы

Расчленение систем на подсистемы выполняется с целью повышения эффективности контрольных операций. Эта процедура позволяет выделить подграфы в графе, с помощью которого представлен объект или схема. Для исследуемого объекта, представленного на рис. 10.2, в результате декомпозиции получим три подсистемы (рис. 10.3). Первая подсистема состоит из элементов (5, 7, 8, 10), вторая подсистема состоит из элементов (2, 3, 6, 9), в третью подсистему входят элементы (4, 11).

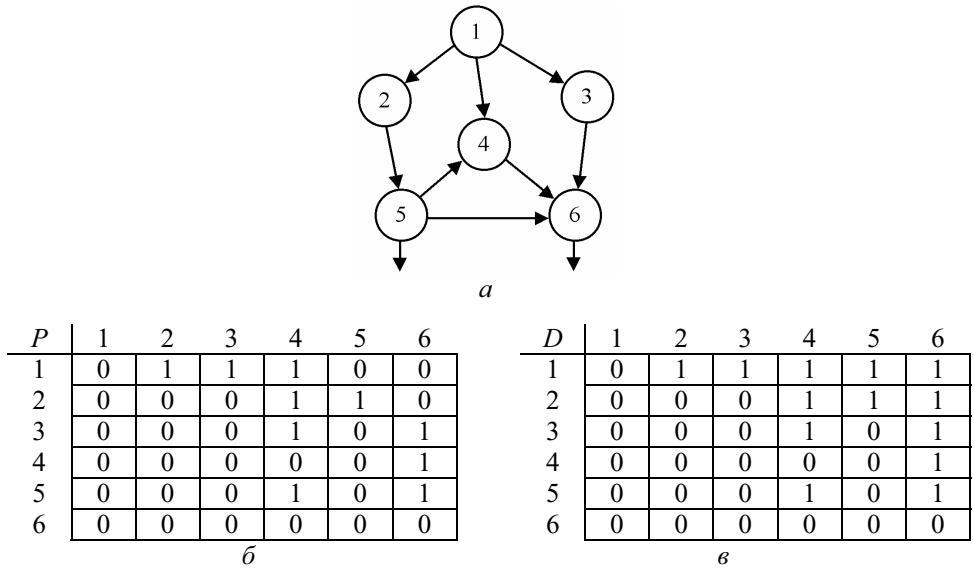


Рис. 10.1. Описание структуры объекта:

a – граф, *б* – матрица связей, *в* – матрица достигаемости

Процедура расчленения системы на подсистемы выполняется следующим образом. Сначала определяется матрица достигаемости (рис. 10.4). Затем для матрицы достигаемости составляется транспонированная матрица D^T путем замены строк столбцами (рис. 10.5).

После этого определяется матрица M путем выполнения операции:

$$m_{ij} = d_{ij} \times d^T_{ij}, \quad (10.1)$$

то есть каждый элемент m_{ij} матрицы M находится путем умножения соответствующих элементов d_{ij} и d^T_{ij} из матриц D и D^T (рис. 10.6).

Из матрицы M получают матрицу $\bar{M}$ путем замены нулей на единицы и наоборот, рис. 10.7. Матрица $\bar{M}$ будет использована на последующих этапах решения задачи.

В матрице M выделим отличающиеся друг от друга строки. Эти строки соответствуют подсистемам.

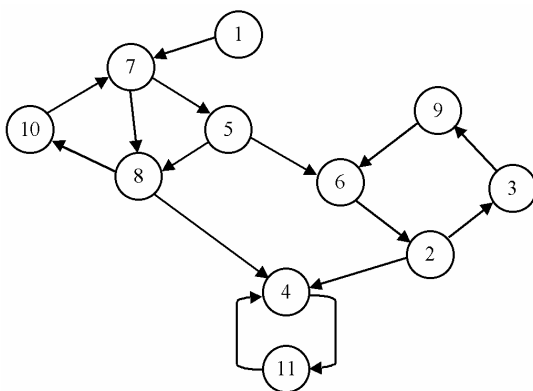


Рис. 10.2. Исходный граф

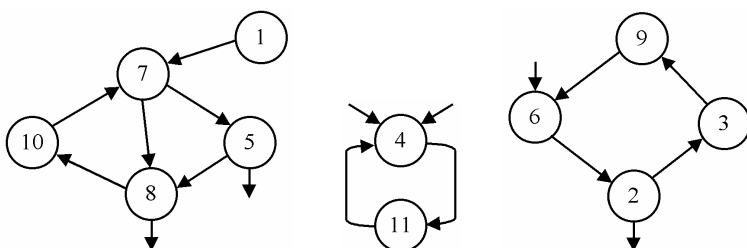


Рис. 10.3. Декомпозиция графа

D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
3	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 10.4. Матрица D

В нашем случае строки 2, 3, 6, 9 – одинаковые. В этих строках единицы расположены в столбцах 2, 3, 6, 9. Следовательно, элементы 2, 3, 6, 9 образуют подсистему. Строки 5, 7, 8, 10 также одинаковые, а элементы 5, 7, 8, 10 образуют подсистему. Аналогично выделяется подсистема, состоящая из элементов 4, 11.

Число подсистем равно числу различных, не равных нулю векторов-строк в матрице M .

D^T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
6	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
7	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
8	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
10	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 10.5. Матрица D^T

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	(2,3,6,9)
3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	(4,11)
5	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	(5,7,8,10)
6	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
7	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
8	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
9	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
10	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	

Рис. 10.6. Матрица M

$\overline{M}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
3	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
6	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
7	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
8	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
9	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
10	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
11	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0

Рис. 10.7. Матрица $\overline{M}$

Декомпозиция системы или схемы может быть также выполнена или уточнена путем анализа графа с учетом особенностей конструктивного исполнения и алгоритма функционирования.

10.4. Назначение контрольных точек и определение работоспособности системы и подсистем

От расположения и общего числа точек проверки зависит экономичность методов диагностики. Так как система разделена на подсистемы, то проверочные точки удобно располагать на входах и выходах подграфов. Для изолирования подграфа достаточно определить его входы и выходы, и в этих местах поместить проверочные точки.

Для графа, представленного на рис. 10.2, входы и выходы определяются с помощью матрицы связей P (рис. 10.8).

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 10.8. Матрица связей P

Входные и выходные ветви для подграфов, подсистем найдем по правилам преобразования матриц.

Используя матрицы M и P , найдем матрицу S путем выполнения операции

$$S_{ij} = m_{ij} \times p_{ij}. \quad (10.2)$$

Выходные ветви подграфов определяют из матрицы S (см. рис. 10.9) так: просматривают все $S_{ij} = 1$ и выбирают те, у которых j содержится в подсистемах. Это ветви: (1,7); (5,6); (2,4); (8,4). Так как в матрице S просматриваются только единичные элементы, то для наглядности нулевые элементы не показаны.

Выходные ветви получают, учитывая все $S_{ij} = 1$, у которых j содержится в подсистемах. Это ветви (2,4); (8,4); (5,6).

Зная входные и выходные ветви, можно назначить пары проверочных точек. Необходимым условием для пары (k,l) является то, чтобы l было достигаемо из k . Это означает, что должен существовать хотя бы один путь из узла k в узел l .

Область проверочных точек $O(k,l)$ – это подмножество элементов, расположенных на пути между точками

$$T O(k,l) = [D_k \cup D_l] \cap [l_k \cup l_l], \quad (10.3)$$

где D_k – k -я строка матрицы D ; D_l^T – l -я строка матрицы D^T ; $l_k(l)$ – бинарный

вектор – строка размерности n , в котором только k -й (l -й) элемент равен единице, а остальные элементы равны нулю.

S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Выходные ветки
1							1					(2,4)
2				1								
3												
4												
5						1						(5,6)
6												
7												
8				1								
9												(8,4)
10												
11												

Выходные ветки (1,7); (5,6); (2,4); (8,4)

Рис. 10.9. Матрица S

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O(6,8) =	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
O(6,9) =	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
O(6,10) =	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
O(7,8) =	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
O(7,9) =	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
O(7,10) =	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1

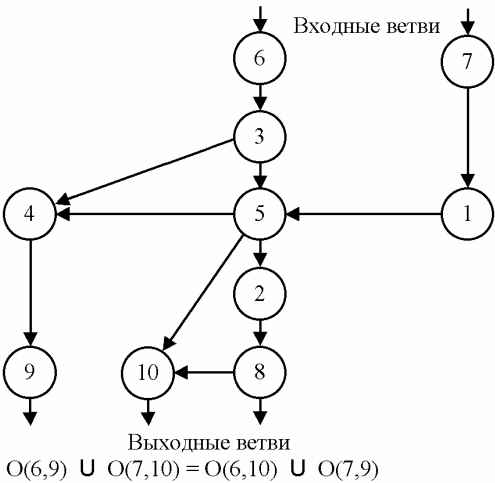


Рис. 10.10. Структура объекта диагностирования

Например, область $O(1,11)$ определится следующим образом:

$$\begin{array}{rcl}
D1 & = & (0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\
D_{11}^T & = & (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\
l_1^1 & = & (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \\
l^{11} & = & (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1) \\
O(1,11) & = & (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\
\hline
& & 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \quad - \text{ (элементы)}
\end{array}$$

При помощи пар проверочных точек определяется работоспособность системы, подсистемы, а также выполняется процедура диагностирования. Общая область (объединение всех областей проверочных точек) должна охватывать все элементы. Однако, в общем случае для определения работоспособности системы могут потребоваться не все точки. Пусть, например, объект имеет следующие области проверочных точек (рис. 10.10).

Объединение областей (строк) $O(6,9)$ и $O(7,10)$ дает все единицы. Объединение строк $O(6,10)$ и $O(7,9)$ также дает все единицы.

Следовательно, для определения работоспособности системы достаточно двух пар проверочных точек $(6,9)$ и $(7,10)$ или же $(6,10)$ и $(7,9)$.

10.5. Диагностирование неисправных элементов

Анализ полноты диагностирования осуществляется с использованием модели исследуемого объекта. На первом этапе анализа будем использовать только существующие информационные выходы. Для объекта, представленного на рис. 10.10, это – выходы 8, 9, 10.

Составим диагностическую матрицу (табл. 10.1), которая заполняется следующим образом: если элемент i входит в список элементов, влияющих на выход j , то в таблице ставится единица, иначе ставится ноль.

Таблица 10.1

Диагностическая матрица

Элементы	Выходы		
	8	9	10
7,6,5,3,1	1	1	1
8,2	1	0	1
9,4	0	1	0
10	0	0	1

Из первой строки таблицы видно, что элементы 1, 3, 5, 6, 7 не различимы по значениям выходных сигналов. Следовательно, необходимо ввести дополнительные контрольные точки.

Введем дополнительную контрольную точку «выход 3», после элемента 3. Построим дополнительную диагностическую матрицу (табл. 10.2).

Выделим цепочку элементов $(7,1)$ и введем еще одну контрольную точку «выход 1». Построим вторую дополнительную диагностическую матрицу (табл. 10.3).

Сведение диагностических матриц в одну таблицу позволяет получить

контрольные тесты с глубиной диагностирования до двух элементов (табл. 10.4).

Таблица 10.2

Дополнительная диагностическая матрица

Элементы	Выходы			
	8	9	10	3
7,5,1	1	1	1	0
6,3	1	1	1	1

Таблица 10.3

Вторая дополнительная диагностическая матрица

Элементы	Выходы				
	8	9	10	3	1
7,1	1	1	1	0	1
6,3	1	1	1	1	0
5	1	1	1	0	0

Таблица 10.4

Диагностическая матрица

Элементы	Выходы				
	8	9	10	3	1
7,1	1	1	1	0	1
8,2	1	0	1	0	0
6,3	1	1	1	1	0
9,4	0	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0
10	0	0	1	0	0

Очевидно, что диагностирование до одного элемента требует введения дополнительных контрольных точек с целью разделения последовательных цепочек (7,1); (8,2); (6,3); (9,4).

Процедура диагностирования выполняется следующим образом: в результате измерения контролируемых параметров формируется бинарная строка, в которой единица соответствует отклонению параметра от заданных значений, а ноль означает, что измеренная величина не вышла за допустимые пределы. Затем осуществляется сравнение с диагностической матрицей.

Распознавание состояний исследуемого объекта также выполняется с помощью операций упорядочения и лексикографических оценок.

10.6. Создание и анализ функциональной диагностической модели

10.6.1. Создание функциональной модели

В подразделе 10.6 использованы материалы работы [41].

Функциональная диагностическая модель – модель блочной структуры, в которой каждый блок выполняет определенную функцию преобразования входного сигнала X в выходной Y . Допускается, что каждый блок модели может находиться в двух состояниях – дееспособном или неисправном. Функциональная диагностическая модель позволяет локализовать неисправность до уровня функционального элемента или блока (см. рис. 9.11).

Чтобы задать функциональную ДМ рассматриваемой системы, необходимо выполнить следующие операции:

- перечислить все возможные для данной системы комбинации элементов, которые отказали одновременно (возможные состояния);
- указать, какие комбинации допустимых влияний X_i необходимо прибавить к каждому блоку Q_i для получения допустимой реакции Y_i . Под допустимой реакцией понимают значение выходного параметра блока, который находится в работоспособном состоянии;
- задать схему объекта с указанием блоков и связей между ними.

При построении функциональной ДМ необходимо придерживаться такого требования: функциональный блок может иметь несколько входов (входных параметров – аргументов функции), но только один выход (выходной параметр – функцию). На рис. 10.11, *а, б* показана допустимая интерпретация блоков технической системы.

Примером объекта, который интерпретируется простым функциональным блоком, может быть формовочный круг, двухобмоточный трансформатор, круг коррекции, сглаживающий фильтр и т. п.

С помощью многопараметрического блока можно представить более сложные устройства, такие как логическая схема, модулятор, компаратор и т. п. Например, для получения выходного сигнала последнего необходимо задать три допустимых влияния (стимулы): подать напряжение питания, напряжение опорного уровня, напряжение управляющего сигнала.

Многофункциональные блоки (см. рис. 10.11, *в*) в ДМ предоставляются многопараметрическими или простыми функциональными блоками (см. рис. 10.11, *з*), согласно требованиям, которые предъявляются к ДМ. Примером многофункционального блока может быть источник питания с различными выходными напряжениями, делитель напряжения и т. п.

При моделировании технических систем функциональная ДМ может иметь отдельные структуры, для которых математическая обработка модели значительно улучшается. К таким моделям относят модели с последовательной структурой, модели, в которых допускается отказ любого, но только одного блока, модели без обратных связей. Если в системе с обратной связью допустимо реализовать обрыв линии обратной связи и имитацию его сигнала, то модель может быть представлена структурой без обратной связи (см. рис. 10.11, *д, е*). Построенная ДМ может быть представлена в универ-

сальной абстрактной форме в виде таблицы неисправностей.

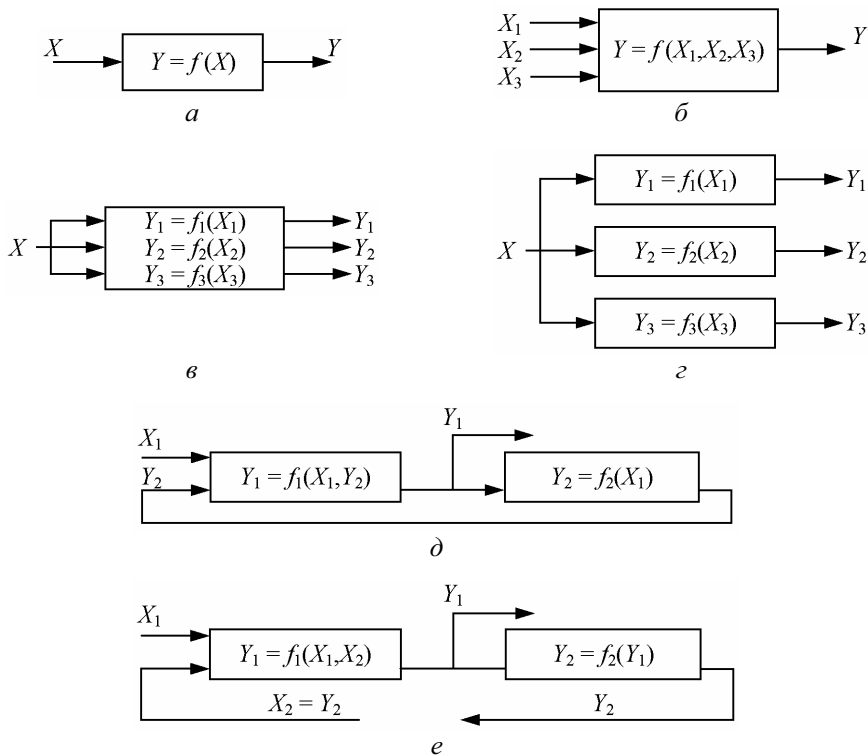


Рис. 10.11. Фрагменты функциональной схемы и диагностической модели:

a – простой блок функциональной схемы; *б* – многопараметрический блок схемы;

в – многофункциональный блок схемы; *г* – многофункциональный блок модели;

д – функциональная схема с обратной связью; *е* – лишение обратной связи в функциональной модели

Таблица неисправностей (ТН) – таблица, в которой в строках записаны технические состояния из множественного числа состояний S_i , в столбцах – элементарные проверки из множественного числа проверок P_j .

Таблица неисправностей может быть получена с помощью аналитических расчетов диагностической модели или экспериментально, путем моделирования соответствующих неисправных состояний объекта диагностирования и контроля его диагностических параметров.

Пример функциональной ДМ приведен на рис. 10.12. Используя функции алгебры логики для приведенной модели можно составить выражение для исходных функций каждого блока:

$$Y_1 = X_1 \cdot X_2 \cdot Q_1$$

(значение функции Y_1 – допустимое «1», если одновременно допустимы «1» как значения входных сигналов X_1, X_2 и блок Q_1 исправен и равен «1»). Аналогично определяют функции других блоков:

$$Y_2 = Y_1 \cdot Y_4 \cdot Q_2; \quad Y_3 = Y_2 \cdot Y_5 \cdot Q_3; \quad Y_4 = X_2 \cdot Y_1 \cdot Q_4;$$

$$Y_5 = Y_4 \cdot X_3 \cdot Q_5; \quad Y_6 = Y_5 \cdot Q_6.$$

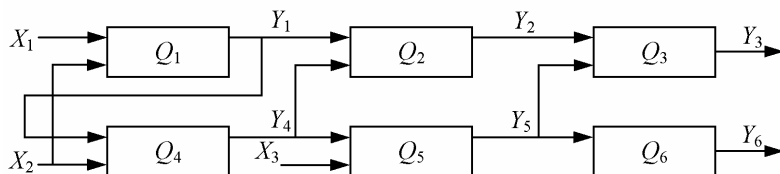


Рис. 10.12. Функциональная диагностическая модель

Методом подстановки выражения для функций сводятся к виду $Y_i = X_i \cdot Q_i$:

$$Y_1 = X_1 \cdot X_2 \cdot Q_1; \quad Y_2 = X_1 \cdot X_2 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_4;$$

$$Y_3 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5; \quad Y_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot Q_1 \cdot Q_4;$$

$$Y_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot Q_1 \cdot Q_4 \cdot Q_5; \quad Y_6 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot Q_1 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6.$$

На основании полученных функций формируется матрица состояний (бинарная таблица неисправностей, табл. 10.5).

Таблица 10.5

Матрица состояний функциональной модели

Состояния S_i	Π_j					
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6
S_0	1	1	1	1	1	1
S_1	0	0	0	0	0	0
S_2	1	0	0	1	1	1
S_3	1	1	0	1	1	1
S_4	1	0	0	0	0	0
S_5	1	1	0	1	0	0
S_6	1	1	1	1	1	0

Заполнять таблицу можно строками или столбцами. Множество состояний S_i в таблице неисправностей рассматривается как перечень неисправных блоков

$$Q_i = \langle 0 \rangle,$$

а множественное число проверок Π_j – как значение функций Y_j . Принимается, что входные параметры X_1, X_2, X_3 – имеют допустимое значение «1». Состояние S_0 соответствует исправному состоянию системы (все блоки Q_i исправны). Содержание первого столбца можно прокомментировать так: результат проверки Π_1 (Y_1) имеет недопустимое значение «0» только в случае неисправности блока Q_1 (S_1). Содержание первой строки объясняется так:

если блок $Q_1 (S_1)$ неисправен, то проверки $\Pi_1 \dots \Pi_6 (Y_1 \dots Y_6)$ дадут отрицательный результат.

10.6.2. Создание и анализ дискретной диагностической модели

Понятие дискретная модель можно понимать как модель устройства, которое изготовлено на дискретных элементах, или как модель системы, сигналы которой представлены дискретными уровнями. В данном пособии рассматривается дискретная модель в первом понимании.

Дискретная диагностическая модель – модель, которая представлена электрической схемой гальванических включений дискретных элементов с элементарными функциями преобразования (сопротивление, емкость, индуктивность, вентиль и источник ЭДС), в которой невозможно объединить группы элементов в функциональные блоки (модель с неявно выраженной блочной структурой). Предусматривается, что каждый элемент модели может находиться более чем в двух различаемых состояниях (исправный, в обрыве, замкнутый, с изменившимися параметрами). Дискретная ДМ позволяет локализовать неисправность до уровня дискретного элемента и причины его неисправности. Для того, чтобы задать дискретную ДМ рассматриваемой схемы, необходимо выполнить следующие действия:

1. Задать параметр, который используется в качестве диагностического.
2. Создать схему модели, замещая реальные дискретные элементы их диагностическими эквивалентами (схемы замещения).
3. Выбрать возможные неисправности элементов схемы или их диагностических эквивалентов.
4. Указать номинальные значения параметров элементов схемы или их диагностических эквивалентов.
5. Установить точки контроля диагностического параметра (ДП) в структуре модели.

На рис. 10.13 показана выходная схема электрическая принципиальная (рис. 10.13, а) и ее дискретная модель (рис. 10.13, б) при использовании в качестве ДП сопротивление постоянному току (измерение с помощью омметра). Согласно приведенным на схеме замещения обозначениям: вентили $p-n$ – отображают физическую сущность $p-n$ переходов полупроводниковых устройств; r_B, r_K, r_E – опоры зон транзистора VT ; r_d, U_P – значения сопротивления и напряжения стабилитрона VD ; E_{OK}, E_{OE} – потенциальные барьеры коллекторного и эмиттерного переходов транзистора.

В доступных узлах монтажа схемы проставлены номера контрольных точек измерения ДП. Если в качестве ДП выбрать сопротивление переменному току, то модель необходимо дополнить значением емкости конденсатора C_1 , а при значительных частотах измерительного сигнала – емкостями $p-n$ переходов C_{p-n} .

Если же в качестве ДП выбрать напряжение, которое измеряется относительно общей точки при включенной схеме, то ее диагностическая модель значительно упростится.

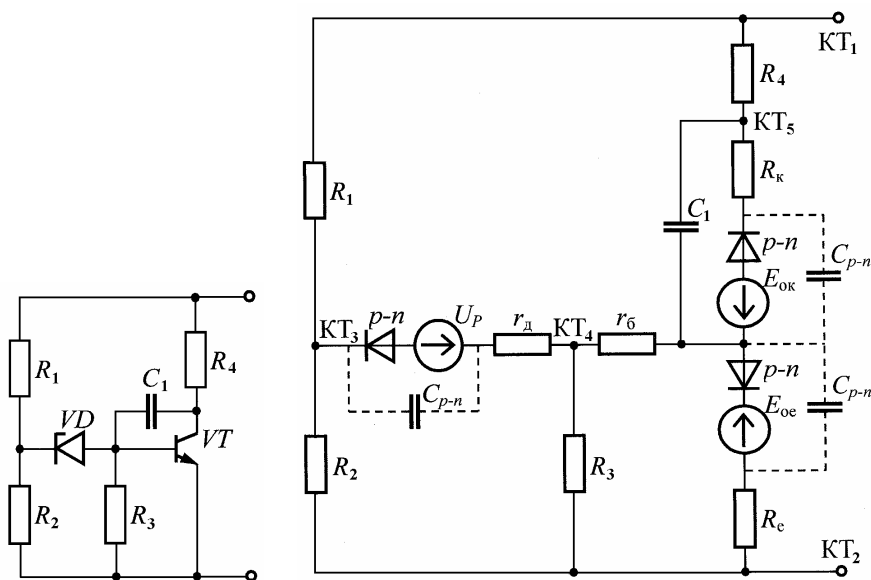


Рис. 10.13. Измерительная часть регулятора напряжения:

а – схема электрическая принципиальная; *б* – дискретная диагностическая модель

Таким образом, можно отметить, что тип дискретной ДМ одной и той же схемы (устройства) во многих случаях определяется типом параметра, который выбирается как диагностический.

Проанализируем дискретную модель на примере схемы, приведенной на рис. 10.14. В качестве диагностического параметра выберем сопротивление постоянному току. Возможны состояния схемы: S_0 – схема исправна; S_1 – пробит диод VD ; S_2 – диод VD в обрыве; S_3 – пробит конденсатор C ; S_4 – пробит резистор R_1 ; S_5 – резистор R_1 в обрыве; S_6 – пробит резистор R_2 ; S_7 – резистор R_2 в обрыве; S_8 – резистор R_1 изменил значение сопротивления; S_9 – резистор R_2 изменил значение сопротивления.

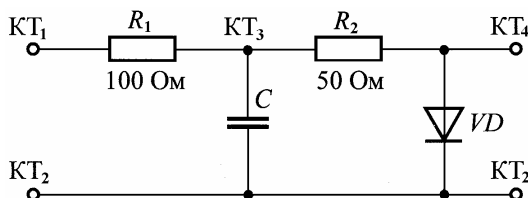


Рис. 10.14. Дискретная диагностическая модель

Рассмотрим только первые шесть состояний, как наиболее вероятные. Для выбранных состояний составляем таблицу сопротивлений (табл. 10.6). Сопротивления, которые измеряются между контрольными точками схемы, соответствуют проверкам R_{ij} , причем в точке i принимаем положительное подключение омметра «+», а в точке j – отрицательное «-».

На основании табл. 10.6 составляем бинарную таблицу неисправностей (матрицу состояний). **Матрица состояний** (МС) заполняется следующим образом (табл. 10.7). В строке, которая соответствует исправному состоянию S_0 проставляют «1» как удовлетворительный результат проверки. Далее проводят сравнение результатов каждого измерения (проверки) каждого состояния S_i с результатами измерений в состоянии S_0 . Если сравнительные результаты совпадают, то в эту позицию таблицы ставят «1», если нет – «0».

Таблица 10.6

Опоры дискретной модели

Состояния S_i	R_{ij}											
	R_{12}	R_{21}	R_{13}	R_{31}	R_{14}	R_{41}	R_{23}	R_{32}	R_{24}	R_{42}	R_{34}	R_{43}
S_0	150	∞	100	100	150	150	∞	50	∞	0	50	50
S_1	150	150	100	100	150	150	50	50	0	0	50	50
S_2	∞	∞	100	100	150	150	∞	∞	∞	∞	50	50
S_3	100	100	100	100	150	150	0	0	50	0	50	50
S_4	50	∞	0	0	50	50	∞	50	∞	0	50	50
S_5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	50	∞	0	50	50

Таблица 10.7

Матрица состояний ДМ

Состояния S_i	R_{ij}											
	R_{12}	R_{21}	R_{13}	R_{31}	R_{14}	R_{41}	R_{23}	R_{32}	R_{24}	R_{42}	R_{34}	R_{43}
S_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S_1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
S_2	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
S_3	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
S_4	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
S_5	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

В полученной матрице есть две одинаковых строки. Это значит, что состояния S_4 и S_5 не различаются на множестве проверок R_{ij} и локализовать пробой или обрыв резистора R_1 с помощью таблицы неисправностей невозможно. Состояния, которые не различают в матрице состояний (S_4 , S_5), можно различить по результатам измерения ДП в таблице сопротивлений (см. табл. 10.6). Если состояния не различают по значения ДП (сопротивлений), то необходимо увеличить количество проверок (измерений) путем задания дополнительных контрольных точек или диагностических разрывов кольца.

Неисправность (дефект) называется однозначно распознаваемым, если на множестве точек контроля его можно локализовать по матрице за конечное число шагов.

Для определения однозначно распознаваемых дефектов (неисправностей) на множестве точек контроля предлагается следующий алгоритм:

1. Строится матрица проверок.
2. В матрице выбираются столбцы, определяющие данный дефект.

3. Из матрицы вычеркиваются строки, которые не имеют единиц в выбранных столбцах, а затем вычеркиваются столбцы, имеющие единицы в этих строках.

4. Среди всех оставшихся строк отыскивается та, которая имеет одну единицу. Найденную строку и столбец, содержащий единицу в этой строке, вычеркивают из матрицы проверок. Далее в матрице опять определяют строку, которая содержит всего одну единицу, и если такая существует, то повторяется изложенный процесс вычеркивания.

5. При вычеркивании строк возможны 2 варианта:

а) все строки вычеркнуты из матрицы, тогда исследуемый дефект называется однозначно распознаваемым;

б) на каком-либо шаге не найдена строка, содержащая всего одну единицу, тогда исследуемый дефект не является однозначно распознаваемым.

10.6.3. Решение задачи неразличимости состояний в таблицах неисправностей

Наиболее универсальным способом решения задачи неразличимости является метод, который использует квантование ДП по допустимым значениям. Согласно этому методу проверки значений ДП назначают с двухсторонним ограничением. Фактически это свидетельствует о том, что значения ДП могут находиться в диапазоне, определяемом разбросом параметров элементов схемы или точностью измерительного (диагностического) прибора.

Проведем апробацию метода на примере таблицы сопротивлений (см. табл. 10.6). Для этого задают пределы допустимых значений сопротивлений ($\pm 10\%$) и назначают проверки с двухсторонним ограничением (табл. 10.8):

$$П_1 - R_{12} > 135; \quad П_2 - R_{12} < 165; \quad П_3 - R_{21} > 165; \quad П_4 - R_{13} > 90;$$

$$П_5 - R_{13} < 110; \quad П_6 - R_{14} > 135; \quad П_7 - R_{14} < 165; \quad П_8 - R_{23} > 165;$$

$$П_9 - R_{32} > 45; \quad П_{10} - R_{32} < 55;$$

Таблица 10.8

Допустимые значения сопротивлений схемы в исправном состоянии

Состояния S_i	R_{ij}											
	R_{12}	R_{21}	R_{13}	R_{31}	R_{14}	R_{41}	R_{23}	R_{32}	R_{24}	R_{42}	R_{34}	R_{43}
$R_{ном}$	150	∞	100	100	150	150	∞	50	∞	0	50	50
R_{max}	165	∞	110	110	165	165	∞	55	∞	5	55	55
R_{min}	135	165	90	90	135	135	165	45	165	0	45	45

Минимальные значения сопротивлений при измерении оборванного круга ($R_{21} = \infty$) назначают по максимально допустимому значению R_{ij} . Максимальные значения сопротивления при измерении замкнутого круга ($R_{42} = 0$) назначают по минимально допустимому значению R_{ij} или исходя из

допустимой погрешности омметра.

Из перечня назначенных проверок изымают встречные проверки (R_{31} , R_{41} , R_{43}), которые не имеют на маршруте измерения вентиля VD . Далее составляют таблицу сопротивлений и превращают ее в матрицу состояний по принятой методике (табл. 10.9).

Таблица 10.9

Выходная матрица состояний

Состояния S_i	Π_j													
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	Π_9	Π_{10}	Π_{11}	Π_{12}	Π_{13}	Π_{14}
S_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S_1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
S_2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
S_3	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
S_4	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S_5	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

В полученной таким образом матрице состояний все заданные состояния схемы – различимые (нет одинаковых строк). Матрица состояний (МС) может быть сокращена без потери диагностических свойств по следующим правилам:

1. Если в МС есть проверки (столбцы), которые имеют только «0» или только «1», то их можно удалить.
2. Если в МС есть одинаковые столбцы, то их можно свести в один.

После окончательного сокращения количество проверок в таблице неисправностей значительно уменьшится (табл. 10.10).

Таблица 10.10

Сокращенная матрица состояний

Состояния S_i	Π_j						
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_9	Π_{10}
S_0	1	1	1	1	1	1	1
S_1	1	1	0	1	1	1	1
S_2	1	0	1	1	1	1	0
S_3	0	1	0	1	1	0	1
S_4	0	1	1	0	1	1	1
S_5	1	0	1	1	0	1	1

Избавиться от неразличимости состояний в таблице неисправностей при различных измерениях в таблице сопротивлений можно с помощью метода отрицательной проверки.

Такой метод заключается в следующем. Для двух неразличимых состояний в таблице неисправностей выбирают проверку с отрицательным результатом «0» для обоих состояний, которые к тому же имеют разные значения сопротивлений (диагностического параметра). Проводят замену избранной проверки на проверку соответствия значений диагностического параметра одного из отрицательных результатов неисправного состояния сис-

темы. В результате в одном из неисправных состояний для отрицательной проверки в таблице получают положительный результат – «1», а во втором – отрицательный «0». Таким образом в таблице неисправностей достигают различимости двух неразличимых состояний. При использовании метода отрицательной проверки необходимо следить за тем, чтобы сформированная отрицательная проверка не приводит к возникновению в таблице неисправностей новых неразличимых состояний.

Метод отрицательной проверки испытаем на исходной таблице сопротивлений (см. табл. 10.6), для которой сформирована таблица неисправностей (см. табл. 10.7). Бинарная таблица неисправностей имеет неразличимые состояния S_4, S_5 . Согласно таблице сопротивлений для состояний S_4, S_5 различимыми являются проверки с отрицательными результатами $R_{12}, R_{13}, R_{31}, R_{14}, R_{41}$. В качестве «отрицательной» назначаем проверку $R_{12}=50$. Тогда в исходной таблице неисправностей изменяются бинарные атрибуты этой проверки. Для состояния S_4 результат «отрицательной» проверки будет положительным – «1», а для состояния S_5 – отрицательным «0». Для наглядности анализа таблицу неисправностей можно сократить по описанным выше правилам. После сокращения таблицы (табл. 10.11) видно, что состояния S_4, S_5 стали различимыми на проверке R_{12} и формирование отрицательной проверки не привело к возникновению новых неразличимых состояний.

Таблица 10.11

Матрица состояний, полученная по методу отрицательной проверки

Состояния S_i	R_{ij}				
	$R_{12}=50$	$R_{21}=\infty$	$R_{13}=100$	$R_{32}=50$	$R_{42}=0$
S_0	0	1	1	1	1
S_1	0	0	1	1	1
S_2	0	1	1	0	0
S_3	0	0	1	0	1
S_4	1	1	0	1	1
S_5	0	1	0	1	1

10.6.4. Особенности построения цифровых диагностических моделей

Цифровая диагностическая модель – модель, которая представлена в виде электрической схемы, построенной на логических элементах. Стимулами и откликами такой модели являются сигналами с двумя дискретными уровнями – логический ноль «0» и логическая единица «1».

Вообще цифровое (логическое) устройство можно анализировать как функциональную модель, если есть возможность снимать отклики с выходов ее функциональных блоков (отдельных логических элементов). Для цифровой ДМ считают, что внутри ее структуры нет контрольных точек, а входные и выходные сигналы могут быть поданы или сняты через вполне определенные выводы.

Чтобы задать цифровую диагностическую модель логического устрой-

ства необходимо выполнить следующие действия:

- составить схему модели, структурированную до уровня логических элементов с обозначением связей между ними;
- пронумеровать позиции логических элементов, которые входят в состав устройства в направлении движения информации;
- определить входные и выходные выводы устройства на ДМ;
- перечислить возможные неисправности в виде их проявления.

Диагностирование логических устройств, которые представлены цифровой моделью, используют, например, на этапе отладки производства интегральных микросхем, где подключение диагностической аппаратуры к точкам в середине структуры полупроводникового кристалла невозможно. Цифровая ДМ также может быть использована при диагностировании устройств, которые состоят из отдельных конструктивно законченных элементов (микросхем). На рис. 10.15 представлено цифровое устройство, которое выполняет функции мультиплексора.

На входы $D_0...D_3$ ($X_1...X_4$) поступает информация в виде двоичного четырехразрядного слова, а на адресные входы A_1, A_2 (X_5, X_6) – двухразрядный двоичный код, который определяет адрес входа, из которого информация передается на выход мультиплексора (см. рис. 10.15, в). Ставится задание – определить неисправный логический элемент модели, задавая на входах X_i цифровые тесты в виде шестиразрядного слова путем регистрации одного двоичного сигнала (реакции) Y_7 на выходе Q .

Чтобы определить необходимые диагностические тесты, цифровую ДМ структурного типа (см. рис. 10.15, б) интерпретируют к виду аналитического выражения, используя алгебру логики. Для рассмотренного мультиплексора функция логических превращений имеет следующий вид:

$$Y_7 = Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 = X_1 \cdot \bar{X}_5 \cdot \bar{X}_6 + X_2 \cdot \bar{X}_5 \cdot X_6 + X_3 \cdot \bar{X}_6 \cdot X_5 + X_4 \cdot X_5 \cdot X_6. \quad (10.4)$$

Дополняя эту формулу позициями функциональной привязки, получим цифровую модель, которая представлена эквивалентной нормальной формой (10.5).

Эквивалентная нормальная форма (ЭНФ) цифровой ДМ – аналитическое выражение в виде логической суммы, составляющие которой представлены логическими произведениями входных сигналов, которые дополнены индексами функциональной привязки.

Функциональная привязка входного параметра – это число, определяющее последовательность позиций функциональных элементов модели в порядке движения информации (до получения сигнала). Согласно приведенному определению ЭНФ для модели мультиплексора приобретает вид

$$Y_7 = X_{13,7} \cdot \bar{X}_{51,3,7} \cdot \bar{X}_{62,3,7} + X_{24,7} \cdot \bar{X}_{51,4,7} \cdot X_{64,7} + X_{35,7} \cdot \bar{X}_{62,5,7} \cdot X_{55,7} + X_{46,7} \cdot X_{56,7} \cdot X_{66,7}. \quad (10.5)$$

Для систем, которые состоят из отдельных цифровых устройств (микросхем) или ДМ, ЭНФ строят аналогично.

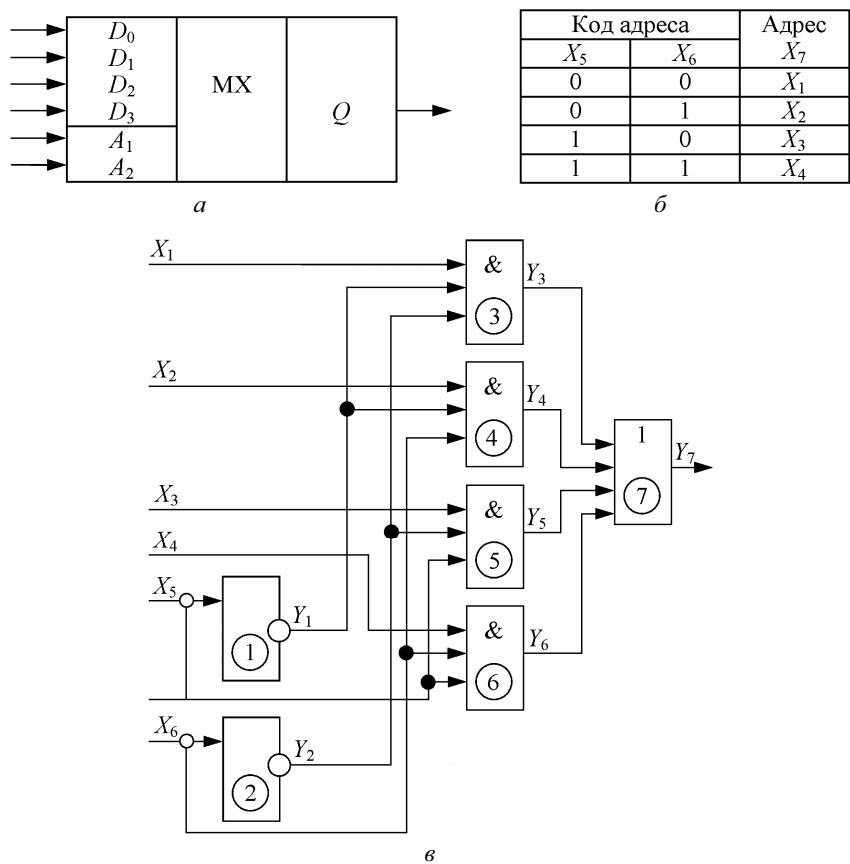


Рис. 10.15. Мультиплексор:
 а – условное обозначение микросхемы;
 б – таблица адресов; в – цифровая диагностическая модель

10.6.5. Методы создания диагностических тестов и построения алгоритмов диагностирования

10.6.5.1. Формирование таблицы покрытий и ее свойства

В качестве выходного модуля построения **диагностических тестов** (ДТ) и алгоритмов диагностирования (АД) может быть использована таблица неисправностей или таблица покрытий.

Таблица покрытий (ТП) – таблица, полученная на основе таблицы неисправностей, столбцам которой соответствуют элементарные проверки из множественного числа проверок P_j , а строки – элементы множественно-

го числа U_e , которое состоит из пар различных состояний S_i, S_k . Таблица покрытий формируется так. На пересечении столбца Π_j и строки U_e отнесется значение двоичной переменной $A_{j,e}$ при условии, что

$$A_{j,e} = \langle 1 \rangle, \text{ если результат ТН} - r_{ij} \neq r_{kj};$$

$$A_{j,e} = \langle 0 \rangle \text{ при } r_{ij} = r_{kj}.$$

Как правило, значения $\langle 0 \rangle$ в таблице покрытий не проставляют.

Для примера рассмотрим ТП (табл. 10.12), сформированную на основе МС (см. табл. 10.5). При формировании ТП в данном случае предусматривается, что диагностике подлежат только неисправные ОД.

Таблица 10.12

Таблица покрытий

U_e	S_i, S_k	Π_j						
		Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	П.П.
U_1	S_1, S_2	1			1	1	1	3
U_2	S_1, S_3	1	1		1	1	1	3
U_3	S_1, S_4	1						1
U_4	S_1, S_5	1	1		1			4
U_5	S_1, S_6	1	1	1	1	1		2
U_6	S_2, S_3		1					1
U_7	S_2, S_4				1	1	1	3
U_8	S_2, S_5		1			1	1	3
U_9	S_2, S_6		1	1			1	5
U_{10}	S_3, S_4		1		1	1	1	3
U_{11}	S_3, S_5					1	1	
U_{12}	S_3, S_6			1			1	
U_{13}	S_4, S_5		1		1			
U_{14}	S_4, S_6		1	1	1	1		2
U_{15}	S_5, S_6			1		1		
C_j		2	1	4	3	6	5	

Примечание: П.П. в таблице – последовательность преобразования.

Таблица покрытий имеет следующие свойства:

1. Если в ТП образуется пустая строка, то пара состояний, которая соответствует этой строке, не различается на заданном множественном числе проверок.

2. Если в ТП образуется пустой столбец, то проверка, которая соответствует этому столбцу, не выявляет ни одну неисправность и этот столбец можно удалить из таблицы.

Перечисленные свойства ТП соответствуют правилам сокращения ТН, которые упоминались ранее. Таблица покрытий может интерпретироваться аналитическим выражением, которое называется функцией таблицы покрытий.

Функция таблицы покрытий (ФТП) – это аналитическое выражение в виде логического произведения, множители которого соответствуют стро-

кам ТП и определяются, в свою очередь, как суммы проверок, которые содержат «1» в строках.

Для ТП (см. табл. 10.12) функция ТП имеет вид:

$$f_{\text{ТП}} = (П_1 + П_4 + П_5 + П_6) \cdot (П_1 + П_2 + П_4 + П_5 + П_6) \cdot П_1 \cdot (П_1 + П_2 + П_4) \cdot \\ \cdot (П_2 + П_5 + П_6) \cdot (П_1 + П_2 + П_3 + П_4 + П_5) \cdot П_2 \cdot (П_4 + П_5 + П_6) \cdot \\ \cdot (П_2 + П_3 + П_6) \cdot (П_2 + П_4 + П_5 + П_6) \cdot (П_5 + П_6) \cdot (П_3 + П_6) \cdot (П_2 + П_4) \cdot \\ (П_3 + П_5) \cdot (П_2 + П_3 + П_4 + П_5).$$

Если привести формулу $f_{\text{ТП}}$ к виду эквивалентной нормальной формы (логическая сумма логических произведений), то каждое слагаемое этого выражения – это количество проверок, которые образуют элементарный диагностический тест.

Для приведения функции $f_{\text{ТП}}$ к виду ЭНФ используют теоремы булевой алгебры, которые отображают коммутативный, ассоциативный, дистрибутивный законы и законы поглощения, склеивания и инверсии. Тождественности, что вытекают из данных законов, имеют вид

$$X \cdot X = X; \quad X \cdot (X + Y) = X + X \cdot Y = X; \quad (X + Y) \cdot Z = X \cdot Z + Y \cdot Z; \\ (X + Y) \cdot (X + Z) = X + Y \cdot Z; \quad X \cdot Y + X \cdot \bar{Y} = X; \quad \overline{X \cdot Y} = \bar{X} + \bar{Y}. \quad (10.6)$$

Используя приведенные тождества, выходная функция может быть предоставлена в виде ЭНФ

$$f_{\text{ТП}} = П_1 \cdot П_2 \cdot П_3 \cdot П_4 \cdot П_5 + П_1 \cdot П_2 \cdot П_3 \cdot П_6 + П_1 \cdot П_2 \cdot П_5 \cdot П_6 + \\ + П_1 \cdot П_2 \cdot П_3 \cdot П_5 + \dots + П_1 \cdot П_2 \cdot П_4 \cdot П_5 \cdot П_6.$$

В результате превращения МС в функцию $f_{\text{ТП}}$ вида ЭНФ получена совокупность тестов, которые имеют разное количество элементарных проверок $n_{\text{П}}$. Если ввести понятие «цена проверки», то можно рассматривать стоимость как критерий оценки ДТ.

Цена проверки – сумма расходов (времени, средств, материалов, электроэнергии) на выполнение элементарных операций, необходимых для реализации проверки (подключение, настройка, измерение).

Из перечня полученных элементарных тестов можно выделить минимальный и оптимальный ДТ.

Минимальный диагностический тест (МДТ) – тест, который имеет минимальное количество проверок, необходимых для локализации всех ранее заданных технических состояний ОД.

Оптимальный диагностический тест (ОДТ) – тест, минимизированный по заданному критерию. Тест оптимизированный по стоимости, имеет минимальную суммарную стоимость проверок, которые входят в его состав. Оптимизация по критерию оперативности выделяет тест, общие расходы времени на проведение проверок которого будут минимальны.

Например, вычислим стоимости проверок C_j в ТП (см. табл. 10.12).

Тогда тестам, которые получены из функции $f_{\text{ТП}}$, можно присвоить следующие атрибуты:

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5 - \Sigma C_j = 16, n_{\Pi} = 5$ – элементарный тест;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_6 - \Sigma C_j = 12, n_{\Pi} = 4$ – ОДТ, МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_5, \Pi_6 - \Sigma C_j = 14, n_{\Pi} = 4$ – МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_5 - \Sigma C_j = 13, n_{\Pi} = 4$ – МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6 - \Sigma C_j = 17, n_{\Pi} = 5$ – элементарный тест.

Согласно приведенному перечню второй тест удовлетворяет двум критериям одновременно.

10.6.5.2. Создание диагностических тестов методом сокращенного перебора

В случае большого количества технических состояний составление тестов аналитическим способом (по функции $f_{\text{ТП}}$) не всегда целесообразно. В таких случаях для получения МДТ и ОДТ используют специальные упрощенные методы (метод Яблонского-Мак-Класки, метод Сиднеева, метод пределов и границ). При рассматривании метода сокращенного перебора (алгоритм Яблонского-Мак-Класки) используется понятие сравниваемых двоичных массивов.

Сравниваемыми массивами A и B называют последовательности значений двоичной переменной с одинаковым количеством позиций, для каждой из которых выполняется одностороннее условие $A_i \geq B_i$ или $A_i \leq B_i$. Равенство всех позиций массивов – это частный случай сравниваемых массивов.

Пример: $A_1(0,0,1,1) < B_1(0,1,1,1)$ – сравниваемые массивы;

$A_2(1,0,0,1)$ и $B_2(0,1,1,1)$ – не сравниваемые массивы.

Сущность метода сокращенного перебора заключается в последовательном применении правил преобразования ТП к полному сокращению (поглощению) ее строк и столбцов.

Правила преобразования ТП:

1. Если ТП имеет пару сравниваемых строк, то строку с большим количеством «1» вычеркивают.

2. Если ТП имеет пару сравниваемых столбцов, то столбец с меньшим количеством «1» вычеркивают.

3. Если ТП имеет строку из U_e , в которой есть одна «1» в столбце Π_j , то строку U_e вычеркивают, а проверку Π_j добавляют к ДТ;

4. Если в ТП образуется пустой столбец, то его вычеркивают.

Для правил 1, 2 при наличии одинаковых строк или столбцов (частный случай сравнения) конкурирующие строки (столбцы) сокращаются до одной (одного). Использование правил преобразования ТП выбирается произвольно. После преобразования ТП возможны два варианта:

1. Все строки и столбцы вычеркнуты (ТП полностью сократилась). В этом случае проверки, которые записаны в тест, образуют МДТ.

2. После превращения получена таблица, которая не поддается последующему сокращению (циклическая ТП). В этом случае ищут столбец, который содержит наибольшее количество «1» (если одинаковы, то выбирают по дополнительным критериям). Проверку P_j выбранного столбца записывают в тест, а из ТП удаляют все строки, которые содержат «1» в j -м столбце.

Дальше сокращают ТП по принятым правилам. В результате использования метода сокращенного перебора может быть получен минимальный или близкий к нему диагностический тест. Для ТП (см. табл. 10.8) возможная последовательность операций преобразования запишется так:

1. Строки U_3 , U_6 , которые имеют по одной «1» вычеркивают, а соответствующие проверки P_1 , P_2 добавляют к ДТ (правило 3).

2. Строка U_{15} поглощает строки U_{14} , U_5 как сравниваемые (правило 1).

3. Строка U_{11} поглощает строки U_1 , U_2 , U_7 , U_8 , U_{10} как сравниваемые (правило 1).

4. Строка U_{13} поглощает строку U_4 (правило 1).

5. Строка U_{12} поглощает строку U_9 (правило 1).

6. Столбец P_1 вычеркивается как пустой (правило 4).

7. Столбцы проверок P_2 , P_4 одинаковые, как частный случай сравнения, проверку P_4 сокращаем (правило 2).

8. Строка U_{13} содержит одну «1» в проверке P_2 , строка U_{13} вычеркивается (правило 3), а проверка P_2 добавляется к тесту. По результатам сокращений получена циклическая таблица (табл. 10.13).

9. Вычеркиваем столбец с максимальным количеством «1» (по критерию минимальной стоимости из равных выбираем P_3), добавляем проверку P_3 в ДТ, а из таблицы удаляем соответствующие строки U_{12} , U_{15} (правило решения циклической таблицы).

10. Из сравниваемых проверок оставшиеся P_5 , P_6 добавляем в состав ДТ проверку P_6 с меньшей стоимостью, а проверка P_5 сокращается (правило 2).

Таблица 10.13

Циклическая таблица

U_e	P_j			
	P_3	P_5	P_6	П.П
U_{11}		1	1	10
U_{12}	1		1	9
U_{13}	1	1		9

Таким образом, в результате превращений ТП был получен МДТ – P_1 , P_2 , P_3 , P_6 . Такой же тест является одновременно и оптимальным, поскольку при выборе конкурентных решений в процессе превращений ТП использовался критерий минимизации стоимости.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что для функциональной диагностической модели (см. рис. 10.12) из шести возможных проверок

на общую стоимость $\Sigma C_j = 21$ у. е., достаточно выполнить четыре проверки в объеме МДТ на общую стоимость 12 у. е.

10.6.5.3. Создание диагностических тестов методом эквивалентной нормальной формы

Алгоритм определения диагностических тестов для цифровых моделей по методу эквивалентной нормальной формы (ЭНФ) строят в такой последовательности:

1. Исследуемую схему (модель) представляют аналитическим логическим выражением в виде эквивалентной нормальной формы.
2. Задают неисправность из перечня возможных в форме ее проявления.
3. Определяют маршрут движения информации по элементам модели, на которых возникает данная неисправность.
4. Находят переменную эквивалентной нормальной формы (входной параметр), функциональная привязка которой соответствует номерам элементов маршрута движения информации.
5. Выбранной переменной дают такие значения, при которых выявляется неисправность в точке ее возникновения.
6. Обеспечивают условие существования избранного маршрута, для чего в одном из термов ЭНФ, в который входит выбранная переменная, сомножителям присваивают значение «1», а другие термы доопределяются до «0» (хотя бы одному сомножителю, который входит в терм, присваивают значение «0»).
7. Определяют бинарные значения выходной функции модели для исправного и неисправного состояний путем выполнения логических операций в ЭНФ при заданных значениях переменных (выходных параметров).

Пункты 2-7 приведенного алгоритма выполняют для каждого состояния модели. В результате получают цифровые тесты (стимулы), которые задаются на входах диагностируемого устройства и соответствующие им значения выходных сигналов (реакций), для исправного и неисправного состояний. Полученная таким образом таблица истинности рассматривается как таблица неисправностей цифрового устройства.

Апробируем метод ЭНФ для диагностической модели, приведенной на рис. 10.15:

1. Выражение ЭНФ имеет вид (10.6) и содержит 4 терма.
2. Задаем неисправность логического элемента «Н1» с индексом «1», неисправность проявляется в виде сигнала $Y_1 = \langle 1 \rangle$.
3. Маршрут движения информации от входа X_5 к выходу Y_7 имеет последовательность позиций элементов 1, 3, 7 и 1, 4, 7. Выбираем, например, маршрут 1, 4, 7.
4. Согласно (10.6) на маршруте 1, 4, 7 есть переменная X_5 во втором терме.
5. Задаем значение выбранной переменной $X_5 = 1$, при котором проявляется неисправность в точке ее возникновения $Y_1 = 1$.
6. Для того чтобы обеспечить существование маршрута, принимаем

значение переменных второго терма $X_2, X_6 = 1$ и доопределяем к нулю другие термы, принимая $X_1, X_3, X_{54} = 0$.

7. В результате подстановки выбранных значений переменных в выражение (10.6) получим функцию исправного устройства

$$Y_7 = 0 \cdot 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \cdot 1 = 0.$$

Для неисправного состояния ($X_5 = 0$) результат подсчетов будет другим

$$Y'_7 = 0 \cdot 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

Если выбрать маршрут 1, 3, 7, можно получить еще один тест для определения неисправности Y_1 . Для получения дополнительных тестов для локализации этого состояния также можно добиться изменением значений переменных, которые доопределяют свободные термы к «0». Таким образом, для выявления одной неисправности можно получить пакет ДТ. Для определения неисправности логического элемента «НИ» ($Y_1 = 1$) эти тесты можно представить в виде таблицы истинности (табл. 10.14).

Таблица 10.14

Пакет диагностических тестов

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y'_7	Y_7	Маршрут
0	1	0	0	1	1	1	0	1, 4, 7
0	1	1	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	1	0	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	1	1	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	0	0	0	1	0	1	0	1, 3, 7
1	1	0	0	1	0	1	0	1, 3, 7
1	0	0	1	1	0	1	0	1, 3, 7
1	1	0	1	1	0	1	0	1, 3, 7

На основе таблиц истинности, полученных для всех возможных неисправных состояний модели, можно сформировать таблицу первичных диагностических тестов цифрового устройства (табл. 10.15).

Тесты, которые формируются на входах устройства, должны быть различимыми для всех ее заданных состояний. Если результаты опроса устройства первичными тестами добавлять одинаковые реакции Y' , нужно провести расширенный опрос модели пакетами тестов для неразличимых реакций и локализовать неисправное состояние. Наличие неразличимости реакций после расширенного опроса свидетельствует о наличии нескольких неисправностей в устройстве, которое диагностируется. Оптимизацию алгоритма диагностирования цифровой ДМ по стоимостному и вероятному критериям проводить нецелесообразно. Это связано с тем, что формирование стимулов и регистрация реакций при диагностировании делается одними и теми же диагностическими приборами, а вероятность выхода элементов схемы из строя имеет одинаковые значения.

Диагностические тесты цифровой диагностической модели

Состояния S_i	X_j							Y'	Y
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6			
$Y_1 = 1$	0	1	0	0	1	1		1	0
$Y_2 = 1$	0	0	1	0	1	1		1	0
$Y_3 = 1$	0	1	1	1	0	0		1	0
$Y_4 = 1$	1	0	1	1	0	1		1	0
$Y_5 = 1$	1	1	0	1	1	0		1	0
$Y_6 = 1$	1	1	1	0	1	1		1	0
$Y_7 = 1$	1	1	0	1	1	0		1	0

10.6.5.4. Критерии оптимизации алгоритмов диагностирования

Проверки, которые входят в ДТ, могут выполняться в любой последовательности. При этом расходы на локализацию неисправных состояний ОД будут различными. С целью минимизации расходов на диагностирование разрабатывают алгоритмы диагностирования, оптимизированные по заданным критериям.

Оптимизированный алгоритм диагностирования – алгоритм, построенный по многошаговой процедуре с использованием выбранной функции преимущества.

Функция преимущества (ФП) – функция, которая количественно характеризует определенное качество алгоритма, что позволяет проводить выбор элементарных проверок на каждом шагу процедуры диагностирования по своему экстремальному значению. Функции преимущества могут строиться по разным критериям. В общем виде ФП представляется отношением

$$F = \frac{f_1(\Pi_j)}{f_2(\Pi_j)}, \quad (10.7)$$

где $f_1(\Pi_j)$, $f_2(\Pi_j)$ – функции, которые характеризуют соответственно выигрыш и потери от введения в программу диагностики проверки Π_j .

При выборе проверки на каждом шагу процедуры диагностирования преимущество отдается проверке, для которой F имеет максимальное значение. Функции преимущества по критериям стоимости F_1 , информативности F_2 и результативности F_3 , имеют вид

$$F_1 = 1/C_j; \quad F_2 = 1/l_j; \quad F_3 = 1/p_j, \quad (10.8)$$

где C_j – стоимость проведения j -й проверки; $l_j = (n_{1j} - n_{0j})$ – функция, которая определяет количество информации, полученной при выполнении проверки Π_j ; $p_j = (p_{1j} - p_{0j})$ – функция, которая определяет вероятность отрицательного результата проверки Π_j ; n_{1j} , n_{0j} – количество, соответственно, «1» и «0», содержащееся в j -м столбце ТН; p_{1j} , p_{0j} – суммы вероятностей, соответственно положительного и отрицательного результатов проверки Π_j .

Нужно подчеркнуть, что ФП по информативности F_2 является двух-

критериальной, поскольку определяется двумя независимыми переменными – количеством информации и стоимостью. Кроме того, следует учитывать, что максимальному количеству информации проверки j отвечает минимальная абсолютная разница $n_{1j} - n_{0j}$. При использовании многокритериальных ФП (или нескольких однокритериальных) для оптимизации алгоритма диагностирования необходимо задавать их приоритет:

$$F_{1,2} = \frac{1}{C_j \cdot l_j}; \quad F_{3,1,2} = \frac{1}{p_j \cdot C_j \cdot l_j}. \quad (10.9)$$

Чтобы сравнить алгоритмы диагностирования для одного и того же теста, построенные с использованием различных ФП, вводится понятие условной стоимости алгоритма.

Цена алгоритма диагностирования определяется как средние расходы на отделение одного технического состояния объекта с учетом стоимостного и вероятностного факторов

$$Ц_{\text{ад}} = \sum_{i=1}^N C_{Si} \cdot P_i, \quad (10.10)$$

где N – количество технических состояний объекта диагностирования; C_{Si} – сумма стоимостей элементарных проверок, реализация которых позволяет отделить состояние S_i ; P_i – вероятность пребывания объекта диагностирования в i -м техническом состоянии.

10.6.5.5. Построение алгоритмов диагностирования

Для построения алгоритмов диагностирования необходимо определить следующее:

1. Матрицу состояний, совокупность проверок которой образует диагностический тест.
2. Распределение вероятностей P_i нахождения объекта в каждом из технических состояний, которые рассматриваются в матрице состояний.
3. Стоимость проведения каждой элементарной проверки C_j , которая входит в состав диагностического теста.
4. Функцию преимущества, по которому оптимизируется алгоритм диагностирования.

Процесс построения алгоритма диагностирования заключается в последовательном выполнении двух операций:

1. Из множественного числа проверок диагностического теста назначается проверка, для которой функция преимущества имеет экстремальное значение.
2. Множественное число технических состояний разбивается на два подмножества, для одной из которых избранная проверка имеет положительный результат «1», для второй – отрицательный «0».

Разбивка на подмножества проводится для выделения каждого из рассматриваемых состояний. При этом проверки, предназначенные для локали-

зации каждого состояния, не должны повторяться. В качестве пример рассмотрим построение АД для МДТ, полученного на основе матрицы состояний (см. табл. 10.5). Сформируем матрицу состояний, которая составляет совокупность проверок МДТ, и дополним ее распределением вероятностей P_i и стоимостей C_j (табл. 10.16).

Таблица 10.16

Выходные даны для построения алгоритма диагностирования

Состояния S_i	Π_j				P_i
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	
S_1	0	0	0	0	0,08
S_2	1	0	0	1	0,2
S_3	1	1	0	1	0,3
S_4	1	0	0	0	0,15
S_5	1	1	0	0	0,25
S_6	1	1	1	0	0,02
C_j	1	2	3	4	$\Sigma P_i = 1$
l_j	4	0	4	2	
p_j	0,84	0,14	0,96	0	

Построение алгоритма с использованием функции преимущества по стоимости происходит в следующей последовательности:

1. Назначаем проверку Π_1 с минимальной стоимостью $C_j=1$ и разбиваем состояния на подмножества $S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 - \langle 1 \rangle, S_1 - \langle 0 \rangle$. Состояние S_1 выделено.

2. Назначаем проверку Π_2 с минимальной стоимостью из тех, которые остались, и разбиваем совокупность этих состояний на множественные числа $S_3, S_5, S_6 - \langle 1 \rangle; S_2, S_4 - \langle 0 \rangle$.

3. Состояния S_2, S_4 различаются только на проверке Π_6 (из тех, которые остались). Функция преимущества не используется. Назначаем проверку Π_6 и разделяем состояния $S_2 - \langle 1 \rangle, S_4 - \langle 0 \rangle$.

4. Чтобы различить состояния S_3, S_5, S_6 назначаем проверку Π_3 с минимальной стоимостью из тех, которые остались, и разделяем их на подмножества $S_6 - \langle 1 \rangle; S_3, S_5 - \langle 0 \rangle$. Состояние S_6 выделено.

5. Состояния S_3, S_5 различаются только на проверке Π_6 (из тех, которые остались). Проверка Π_6 выделяет состояния $S_3 - \langle 1 \rangle; S_5 - \langle 0 \rangle$.

Графическое изображение построенного алгоритма диагностирования приведено на рис. 10.16, а.

Для построения АД с использованием функции преимущества по информативности F_2 таблица дополняется значениями параметра l_j . Далее процесс построения АД аналогичен. Приоритетными при выборе проверок являются значения параметра информативности l_j , а затем стоимости C_j . Графическое изображение АД, построенного с использованием ФП за информативностью, приведено на рис. 10.16, б. Алгоритм оптимизирован по результативности строят согласно общей методике. Критерием выбора проверки на каждом шагу процесса построения являются минимальные значения параметра p_j (см. табл. 10.16). Графическое изображение алгоритма с

использованием функции преимущества по результативности приведено на рис. 10.16, в.

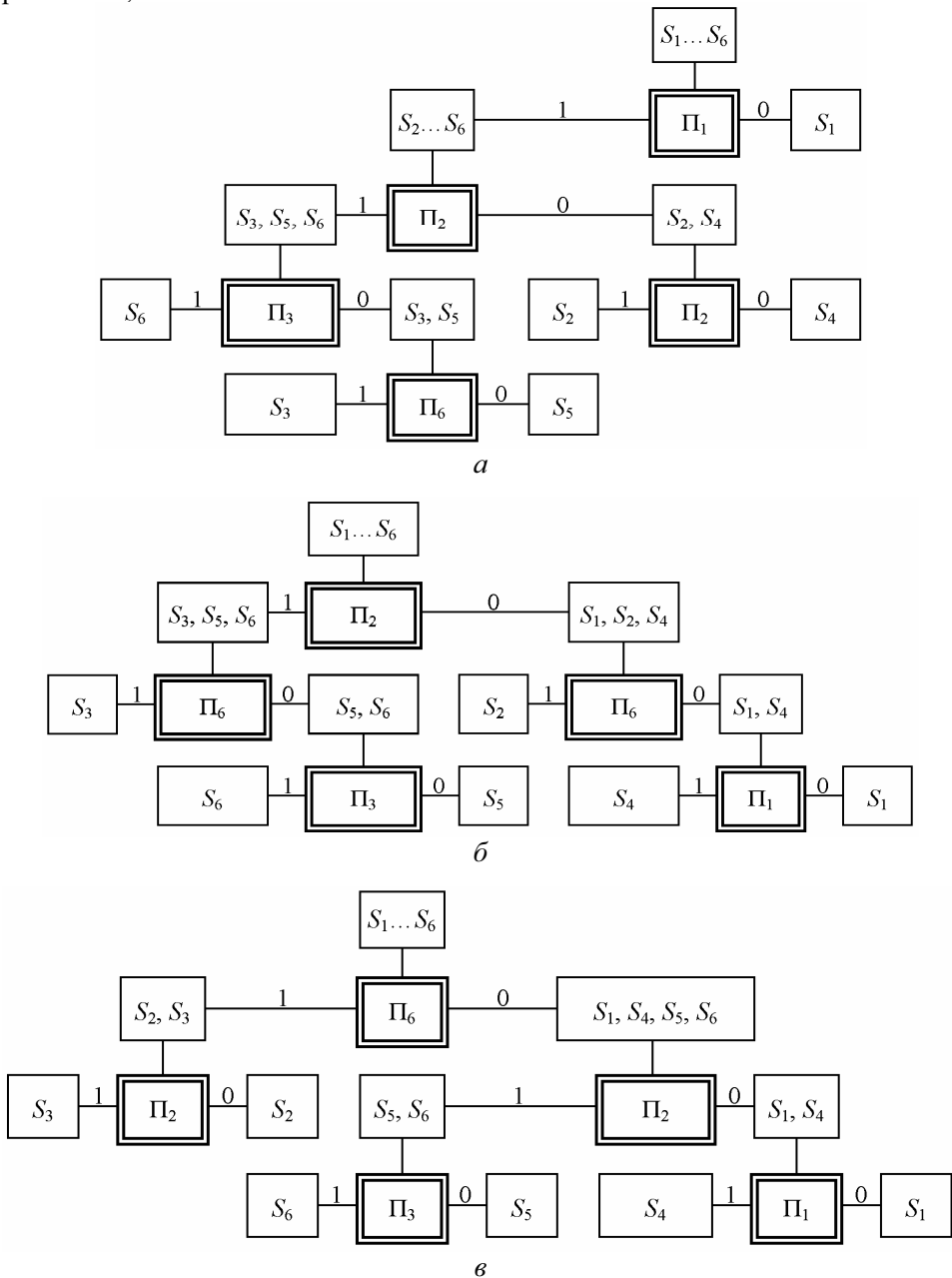


Рис. 10.16. Алгоритмы диагностирования, построенные с использованием функции преимущества:

a – по стоимости; *б* – по информативности; *в* – по результативности

Анализируя алгоритм диагностирования (см. рис. 10.16), можно определить стоимость определения каждого технического состояния

$$C_{S1} = C_1 = 1; C_{S2}, C_{S4} = C_1 + C_2 + C_6 = 1 + 2 + 4 = 7;$$

$$C_{S3}, C_{S5} = C_1 + C_2 + C_3 + C_6 = 1 + 2 + 3 + 4 = 10;$$

$$C_{S6} = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 2 + 3 = 6.$$

Аналогично определяют стоимость определения состояния по алгоритмам с использованием функции преимущества по информативности (см. рис. 10.16, б) и результативности (см. рис. 10.16, в). Для сравнения АД, оптимизированных по разным критериям, определяем их цены по формуле (10.8)

$$\Pi_1 = C_{S1} \cdot P_1 + C_{S2} \cdot P_2 + C_{S3} \cdot P_3 + C_{S4} \cdot P_4 + C_{S5} \cdot P_5 + C_{S6} \cdot P_6 =$$

$$= 1 \cdot 0,08 + 7 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,02 = 8,15;$$

$$\Pi_2 = 7 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,25 + 9 \cdot 0,02 = 7,04;$$

$$\Pi_3 = 7,04.$$

Анализ показывает, что цены алгоритмов диагностирования по функциям F_2 и F_3 одинаковы и ниже цены алгоритма для функции F_1 . Следует отметить, что, хотя $\Pi_2 = \Pi_3$, последовательность операций проверок при F_2 и F_3 разная.

Рассматривая общий случай построения АД, можно сделать вывод, что наилучшим, с точки зрения стоимости алгоритма при равновероятных состояниях ОД, является АД, построенный с использованием ФП по информативности (F_2), а при состояниях разной вероятности – по результативности (F_3). Упомянутые АД являются последовательными и безусловными. Однако в большинстве случаев результат каждой проверки, если не позволяет выделить неисправность, то несет определенную информацию о состоянии объекта, которая позволяет неисправность локализовать. Для таких объектов на базе полученных тестов строят упорядоченные и условные алгоритмы, которые оптимизируют процесс поиска неисправности. Оптимизация условных алгоритмов диагностирования проводится с использованием ЭВМ на основе принципов динамического программирования.

В диагностических моделях с большим количеством однотипных элементов построение АД целесообразно проводить с использованием ФП в виде

$$F_4 = p_i / C_j. \quad (10.11)$$

Если предусматривается неисправность любого количества элементов ОД, то самым оптимальным является АД, построенный с использованием ФП в виде

$$F_5 = \frac{1}{C_j(1 - P_i)}. \quad (10.12)$$

Рассмотренные ФП используются при оптимизации АД для объектов с простыми структурами и условиями. Более сложными задачами оптимизации являются процессы построения АД при наличии погрешностей первого рода, при проверках методом замены, при наличии зависимых отказов и при ограничениях на расходы.

Контрольные вопросы

1. В каком виде можно представить диагностическую модель?
2. Как производится моделирование систем и схем с помощью графов?
3. Опишите граф матрицей связей и матрицей достигаемости.
4. Как назначаются контрольные точки определения работоспособности системы и подсистемы?
5. Как производится диагностирование неисправностей элементов по диагностической матрице?
6. Как создается функциональная модель объекта диагностирования электрической схемы?
7. Объясните понятие дискретной диагностической модели электрической схемы.
8. Приведите пример построения матрицы состояния диагностической модели.
9. Какие особенности построения цифровых диагностических моделей?
10. Какова необходимость создания диагностических тестов и построения алгоритмов диагностирования систем и схем?
11. Что означает оптимальный диагностический тест?
12. Как строятся диагностические тесты методом сокращенных переборок?
13. Как строятся диагностические тесты методом эквивалентной нормальной формы?
14. Приведите критерии оптимизации алгоритмов диагностирования.
15. Какие последовательные операции необходимы для построения алгоритма диагностирования?

11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ

11.1. Системный подход к созданию АСК и АСУ автомобиля

Подход к проблеме управления как к процессу, учитывающему взаимосвязь частей системы или ее отдельных подсистем, является основной чертой системного подхода к разработке автоматизированной системы управления (АСУ) автомобилем. Главным в системном подходе является сосредоточение внимания на построении системы в целом в отличие от построения ее отдельных частей.

Для любой АСУ характерным является наличие централизации. При этом какие-то факторы являются доминирующими при ее функционировании. Даже относительно малые изменения этих факторов обычно приводят к значительным изменениям в подсистемах АСУ и АСК (автоматизированной системы контроля). Характерным является также и то, что цели как отдельных подсистем, так и АСК в целом в процессе функционирования могут видоизменяться. Поэтому на всех стадиях создания, эксплуатации и развития АСК автомобиля должен быть реализован принцип системного единства, обеспечивающим ее целостность с помощью соответствующих связей между отдельными подсистемами АСК и с АСУ. [42, 43]

Системный подход начинается с определения целей для всей системы. При этом анализируют данные об объектах автомобиля и имеющихся знаниях о внешней среде, разрабатывают организационно-функциональные и информационно-алгоритмические структуры, формируют подсистемы и другие компоненты АСК, которые соответствуют друг другу в рамках системы в целом. На основе сформулированных критериев отдельные подсистемы синтезируют в систему.

Системный подход при проектировании АСУ автомобиля возможен лишь в том случае, когда выявлены все связи и зависимости, объединяющие ее отдельные подсистемы в единое целое. Это особенно важно для объединения систем рулевого управления, ходовой части и подвески, а также двигателя и трансмиссии.

Перспективы развития и совершенствования АСК автомобиля в значительной степени определяются накопленным опытом в этой области и потенциальными возможностями имеющихся технических средств.

Системный подход делает целесообразным проектирование на основе модульного принципа как в организационно-функциональном и информационном, так и в математическом и техническом обеспечении.

Технический прогресс обычно приводит к появлению новых технических средств, т. е. множество технических средств постепенно совершенствуется и видоизменяется. В связи с влиянием внешней среды необходимо предусмотреть также возможность видоизменения АСУ с учетом новых ус-

ловий, при этом эффективность системы не должна быть ниже некоторого определенного достигнутого уровня в мировой практике.

Системный подход не исключает переноса центра внимания на отдельные подсистемы после разработки общих требований к диагностированию систем автомобиля и цели управления, поскольку разработка этих подсистем должна осуществляться на современной микропроцессорной и аппаратурной базе с учетом имеющихся конкретных технических или других средств. В соответствии с этим выработалось два последовательных этапа проектирования АСУ и АСК автомобиля:

- макропроектирование, когда рассматривается целостная система, исходя из общих целей диагностирования и управления автомобилем;
- микропроектирование, когда осуществляется реализация отдельных подсистем на конкретных технических средствах диагностирования и управления.

Оптимальное сочетание этих двух подходов наиболее трудно осуществить при проектировании больших систем управления, к которым относятся АСУ и АСК автомобиля.

Любые АСУ объектов обладают рядом принципиальных особенностей, которые существенно изменяют привычные представления о ходе разработки и внедрения любой новой технической системы. [42]

1. До завершения полной реализации проекта возможность испытаний функционирования АСУ и АСК на объекте решается частично. Все неудачные решения и ошибки, которые не удалось учесть и предвидеть в ходе разработки, начинают сказываться только при испытаниях системы и вводе автомобиля в эксплуатацию. Поэтому чрезвычайно важное значение приобретает начальная стадия работ по созданию АСУ, на которой определяются и закладываются все основные принципиальные решения.

2. В процессе разработки АСУ и АСК должна заранее планироваться эволюция системы. Достижение новых целей управления, возникающих при функционировании АСУ и АСК, может быть обеспечено только в том случае, если при построении подсистем предусмотрена возможность их развития как по вертикали, т. е. в смысле интеграции в рамках единой АСУ и АСК отдельных подсистем, которые раньше имели самостоятельное значение, так и по горизонтали, т. е. в смысле расширения круга задач, которые решаются отдельными подсистемами.

Это обстоятельство еще более усиливает значение первых этапов разработки, так как уже на этой стадии необходимо тщательно продумать сопряжение различных частей системы на основе взаимозависимости ее отдельных частей, вводимых в эксплуатацию в разное время.

3. АСУ и АСК тесно связана с внешней средой, а также другими системами что оказывает влияние на алгоритмическое и программное обеспечение, а часто и на цель и критерии эффективности, заставляя перестраивать внутреннее содержание системы. В связи с этим с самого начала разработки АСУ и АСК в нее должны быть заложены свойства адаптивности, гибкости в перестройке.

4. Ввод в эксплуатацию АСУ и АСК автомобиля обычно начинается с решения отдельных задач, причем эти задачи, как правило, наиболее просты по содержанию и незначительны по объему перерабатываемой информации. По мере освоения системы и накопления необходимого опыта происходит постепенное наращивание общей системы АСУ, которое обычно растягивается и неизбежно приводит к расширению и изменению принятого раньше состава и объемов задач.

Поэтому поэтапная разработка и внедрение АСУ и АСК приводят к трансформации таких общепринятых понятий при классической форме проектирования как технический и рабочий проект.

5. Ввод в действие какой-либо новой технической системы связан, в основном, с монтажом и наладкой оборудования, при этом в обязанности человека входит обеспечение нормальной работы всех технических систем автомобиля.

При создании АСУ и АСК большой удельный вес занимает программное обеспечение, связанное с переработкой большого объема информации. Необходимо не только разработать различные алгоритмы и процедуры переработки информации, но и предусмотреть меры для их точного соблюдения, а также в случае их нарушения, разработать системы контроля работоспособности подсистем и всей системы АСУ и АСК.

Поэтому подготовке персонала к доводке в условиях функционирования АСУ и АСК должно быть уделено особое внимание.

6. При создании технической системы затраты на материалы и оборудование обычно существенно превышают затраты на ее разработку.

В процессе создания АСУ затраты на проведение необходимых исследований, проектирование системы, разработку программного обеспечения, подготовку персонала и т. п. значительно превышают стоимость технических средств, их монтажа и наладки.

Создание интегрированных АСУ автомобиля обусловлено тем, что этим системам свойственны все основные признаки, присущие кибернетическим системам:

- наличие цели или алгоритма управления и необходимость обеспечения условий оптимальности действия системы;
- взаимодействие элементов системы с внешней средой, являющейся источником случайных возмущений;
- регулирование процессов на основе применения принципов обратной связи;
- управление процессами системы на основе передачи и приема информации и ее последующей обработки.

Чем больше период для которого разрабатываются условия оптимального функционирования системы управления и диагностирования, тем сильнее влияние случайных факторов, которые могут изменить заданные значения, оптимальные контролируемые параметры и соотношения по системам автомобиля. Поэтому одним из основных требований к АСУ и АСК является требование приспособляемости к изменяющимся условиям эксплуатации и технического состояния. АСУ должны быть организованы та-

ким образом, чтобы любые случайные (или неслучайные) внутренние и внешние возмущения сразу же учитывались для внесения соответствующих изменений в регулирование рабочих процессов, с тем чтобы в возможно короткие сроки обеспечить определение оптимальных параметров и соотношений. В основе регулирования процессов измерений, контроля и диагностирования положен принцип обратной связи с использованием исходной и новой информации, которая циркулирует между отдельными системами; физических критериев и действующих процессов.

11.2. Устройства и компоненты электронных систем управления и диагностирования

Автомобильная электроника охватывает комплексное научно-техническое направление, связанное с проектированием, производством и эксплуатацией автомобильных электронных систем. Спроектировать более эффективные средства можно, если еще на этапе технического задания заложить основы системы управления и диагностирования с максимальным использованием электромеханических (мехатронных) средств. Современные транспортные машины представляют собой рациональное сочетание механических и гидравлических пневмосистем с электроникой. Автомобиль без электронной системы становится неконкурентоспособным.

Мехатронные изделия представляют собой совокупность механических и электронных компонентов и программного обеспечения, предназначенного для управления аппаратным обеспечением. По сравнению с механическими электронные компоненты позволяют достигать более высокой надежности. У механических элементов механизмы отказов довольно сложные, а у электронных – сравнительно простые. Другим важным фактором помимо электронизации является широкое использование программного обеспечения, которое в принципе не портится. Программные средства позволяют решить многие существующие проблемы. Современные электронные компоненты устойчивы к воздействию факторов внешней среды (высокой температуры, электромагнитного и радиационного излучения, колебаний и т. д.). В большинстве случаев даже при полном выходе из строя некоторой части электромеханической системы остальные ее части могут продолжать функционировать без отказавшей части.

Возможности слияния механической основы прежних автомобилей с электроникой принесла революционные изменения в систему управления агрегатами автомобилей.

На базе использования электромеханических средств и систем диагностирования можно получить качественно новый уровень технико-экономических показателей автомобилей в эксплуатации за счет применения в них многопроцессорных адаптивных информационно-управляемых систем органически соединенных с конструкцией. Это обеспечивает оперативное создание адаптивных алгоритмов диагностирования и управления их функционированием с целью достижения наивысших показателей работоспособности и надежности машин. Создаваемые на этой основе бортовые

вычислительные комплексы, состоящие из измерительной, обрабатывающей и отображающей частей, позволяет выполнять регистрацию, обработку и хранение данных о техническом состоянии машины (с выдачей рекомендаций по управлению, справочной информации водителю (оператору, диспетчеру). [33]

С повышением ценности информационных систем требования, предъявляемые к ним с точки зрения надежности, стали сравнимыми или даже выше тех требований, которые предъявляются к механическим системам. Повреждение в электрической цепи двигателя, имеющего электронную регулировку впрыска топлива, приводит к остановке двигателя. Выход из строя ЭВМ летательного аппарата управлением означает его катастрофу.

Отсюда основные требования к перспективным диагностическим средствам: они должны отличаться высокой информативностью, точностью и малой трудоемкостью измерения, небольшими издержками на получение информации о состоянии механизмов. Таким условиям удовлетворяют автоматические средства диагностирования.

Применение электронных систем позволяет добиться значительного улучшения эксплуатационных свойств многорежимных машин и, в первую очередь, автомобилей: снижение токсичности отработавших газов, обеспечение бесшумности, повышение топливной экономичности, безопасности движения, комфортабельности, проходимости, простоты технического обслуживания, улучшение тягово-скоростных и тормозных свойств, управляемости и устойчивости, маневренности, приборной видимости состояния автомобиля, защищенности от неправильных и недопустимых действий водителя, удобства посадки и высадки пассажиров и т. д.

Такие улучшения эксплуатационных свойств автомобиля достигаются применением электронных систем: управления работой узлов и агрегатов автомобиля, представления информации водителю, пассажирам, приема информации в автомобиль, передачи информации из автомобиля.

Современную автомобильную электронику можно подразделить на три части: на систему управления работой двигателя и трансмиссией, систему управления ходовой частью (подвеской, колесами, тормозами, заданной скоростью движения и т. п.); систему управления оборудованием салона и кузова. Каждая система имеет свой электронный блок управления. Объединение в сеть множества электронных блоков управления, установленных в автомобиле, дает возможность общего использования информации, взаимной диагностики, выполнения функций отказавшего электронного блока управления другим электронным блоком управления.

Электронные блоки отображают информацию, представляя данные: скорость движения, частота вращения коленчатого вала, момент воспламенения смеси в каждом цилиндре, неисправности и рекомендации водителю о целесообразных действиях, речевые сообщения об открытой двери, превышение допустимой температуры охлаждающей жидкости. Для выявления причин дорожно-транспортных происшествий в электронных системах хранится информация о предшествующих аварии режимах движения, действиях водителя, техническом состоянии автомобиля. Существующие навигаци-

онные системы на основе магнитных компасов, гироскопов, приема радиосигналов спутниковых систем позволяют получать информацию о текущем местоположении и предупредительную информацию, необходимую для повышения безопасности и автоматического управления движением. В настоящее время идут активные работы в области наделяния автомобиля «мозгом» путем его оснащения совершенными оптико-электронными преобразователями и компьютерной техникой.

Принцип действия большинства современных датчиков основан на обнаружении изменения какого-либо параметра контролируемого объекта и передаче соответствующего электрического сигнала в электронный блок управления. Исполнительные механизмы принимают сигналы от электронного блока управления и на основании содержащихся в них информации воздействуют на объект управления. [14, 26, 33]

Объединение электронных блоков управления с датчиками и исполнительными механизмами в единый узел позволяет существенно расширить функциональные возможности электронных систем управления. Устройства такого типа называют электронными датчиками и интеллектуальными исполнительными механизмами. На основе реализации искусственного интеллекта можно создавать системы периодического контроля работоспособности автомобиля и обеспечивать его диагностику перед началом работы.

11.3. Основные задачи автоматических систем контроля технического состояния

В условиях эксплуатации автомобиля действуют различные факторы, приводящие к постепенному снижению заложенного в него ресурса, то есть к неисправностям и отказам отдельных компонентов.

Первоочередной задачей АСК является определение неисправности или установление факта отказа элемента, узла или агрегата автомобиля, выхода параметра за назначенный допуск, измерение значения параметра, измерение износа и т. д.

Второй основной задачей контроля технического состояния объекта является определение возможности дальнейшей его эксплуатации с гарантией безопасности. Для решения этой задачи после операции измерения с помощью средств контроля выполняются следующие действия: поиск места неисправности (техническое диагностирование), регулирование или проверка значений параметров после замены неисправного компонента, подготовка результатов измерений для дальнейшей обработки, прогнозирования технического состояния объекта на выбранный интервал прогноза и т. п.

Основные процессы определения технического состояния с помощью средств контроля и диагностирования следующие:

- контроль технического состояния – определение вида технического состояния объекта диагностирования;
- воссоздание технического состояния – процесс установления технического состояния объекта по записям значений параметров при движении;

- поиск места неисправности (отказа) – определение части объекта, неисправность (отказ) которой явилась причиной неработоспособности этого объекта;

- прогнозирование – процесс определения технического состояния объекта на последующий интервал времени.

Прогнозирование, как предсказание безотказной работы до следующей операции контроля, является неотъемлемой частью любой операции контроля, иначе любой контроль утратил бы смысл. Так, во время контроля работоспособности изделия всегда предполагают, что в течение некоторого времени после окончания контроля изделие будет выполнять свои функции. Подобно этому, пребывание значения параметра в пределах допуска воспринимается таким, что на протяжении некоторого времени оно не выйдет за эти пределы. Процесс поиска места неисправности (отказа) также связан с предположением, что некоторое время те части объекта, в которых не было неисправностей (отказов) во время контроля, не выйдут со строя и после его окончания.

Исправление неисправностей, возникших в процессе эксплуатации автомобиля, выполняют органы эксплуатации в процессе технического обслуживания. Компоненты, подозреваемые в неисправности, контролируются переносными средствами, снимаются с борта и проверяются стационарными средствами контроля. Часть изделий удается отрегулировать или отремонтировать в условиях АТП (СТО), другие заменяются со склада запасных частей или отправляются в ремонт.

Таким образом, контроль играет роль регулятора в контуре управления эксплуатационной надежностью изделий. Этот контур может только поддерживать надежность объекта на уровне, заложенном на стадии проектирования и производства.

Другой контур управления, который замыкается через разработчика и производителя автомобиля, способен поднять заложенный уровень надежности и уровень безопасности эксплуатации за счет конструктивных изменений и модернизации автомобиля (диагностической системы).

И в первом, и во втором случае, обязательным является использование АСК как источника объективной информации о техническом состоянии автомобиля.

11.4. Виды автоматических систем контроля и диагностирования

В зависимости от характера выполняемых задач бортовые АСК подразделяют на встроенные в оборудование и внешние (по отношению к оборудованию).

Встроенные АСК. Встроенные средства контроля устанавливаются чаще всего в объектах электронного оборудования. Как правило, встроенные АСК – это несложные устройства, выполняющие качественный оперативный контроль работоспособности контролируемой аппаратуры по принципу watch-dog (сторожевой пес). В соответствии с этим принципом, аппаратура самостоятельно вырабатывает сигнал определенного типа в том слу-

чае, когда ее главные параметры пребывают в норме. Однако, стоит хотя бы одному из этих параметров выйти за пределы нормы, как упомянутый сигнал исчезает или же переходит в другой тип, в результате чего на индикаторе должен появиться световой сигнал «неисправность».

Наземно-бортовые АСК. Комплексные (централизованные) АСК полностью контролируют автомобиль – двигатель и все бортовое оборудование в объеме технического обслуживания. Но главное назначение комплексных АСК – контролировать работу автомобиля в эксплуатации в реальном времени. Информация о состоянии всех агрегатов и систем после обработки выдается диспетчеру и водителю в виде световых и (или) речевых сигналов. Водитель освобождается от утомительной необходимости постоянно следить за показаниями приборов, установленных в кабине.

Наземно-бортовые АСК используются для контроля расхода топлива, оценки технического состояния автомобилей, работающих в особых условиях (например, карьерных автомобилей), диагностирования и сервиса автомобилей: круиз-контроля, спутниковой навигации, автопоиска, контроля перевозимого груза, защиты автомобиля от столкновения, противоугонные и навигационные системы. [14, 33]

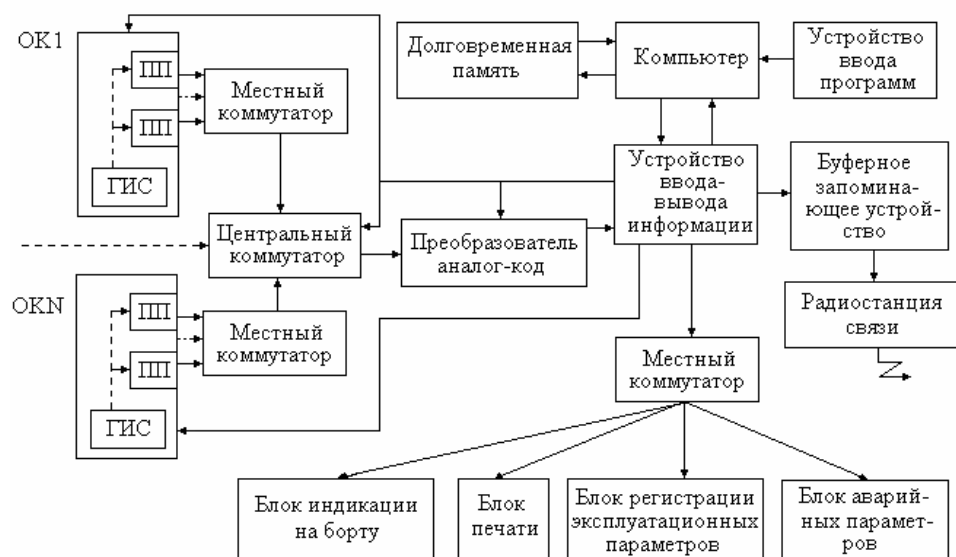


Рис. 11.1. Структурная схема комплексной бортовой автоматизированной электронной системы контроля

Комплексные бортовые АСК по своей структуре (рис. 11.1 [53]) имеют много общего с передвижными и стационарными системами диагностирования, универсальными сканерами и мотор-тестерами. Принцип действия АСК, структура которой показана на рис. 11.1, следующий: генераторы имитирующих сигналов (ГИС), вмонтированные в отдельные объекты контроля (ОК1, ОК2,...,ОКН), по командам, поступающих из компьютера, посылают свои сигналы в соответствующие электрические цепи и устройства

ОК; выходные сигналы ОК, нормализованные специально введенными в состав ОК первичными преобразователями (ПП), подаются через местные и центральный коммутаторы на преобразователь сигналов «аналог-код», а с него на устройство ввода-вывода информации (УВВ), которое играет роль главного регулятора потока информации, циркулирующей между компьютером и остальными устройствами системы; из УВВ значения измеренных параметров поступают в компьютер, где сравниваются с номинальными и допусковыми величинами, записанными в долговременном запоминающем устройстве. В результате сравнения определяется величина и знак отклонения измеренного параметра от его номинального значения, а также соотношение отклонения и допуска. [53]

Если все контролируемые параметры находятся в допусковых пределах, результаты контроля с компьютера через УВВ и местный коммутатор поступают к нескольким блокам специального назначения. Один из них – блок индикации может выдавать оперативную информацию водителю. Остальные блоки накапливают информацию для ее использования с целью контроля технического состояния, также возможно ее хранение или запись.

Блок регистрации эксплуатационных параметров записывает значения определяющих и прогнозирующих параметров. Информация, накопленная этим блоком, используется для организации технического обслуживания. Блок аварийных параметров может записывать или хранить режимы работы автомобиля, двигателя, основные параметры систем автомобиля, положение основных органов управления автомобилем и некоторые другие параметры, которые после соответствующего анализа могут дать объективные сведения о неисправности или возникновении аварийных ситуаций и режимов эксплуатации.

Если в результате контроля определяющих параметров окажется выход за допусковую границу одного или нескольких параметров, автоматически вводится в действие подпрограмма поиска места неисправностей и установления их причин. Реализация таких подпрограмм связана с необходимостью контроля вспомогательных параметров объектов диагностирования, которые контролируются в той же структуре, проходя тот же путь преобразований, что и определяющие параметры. В компьютере они также сравниваются с номинальными и допусковыми величинами, записанными в памяти. Программы контроля вспомогательных параметров построены так, что после операций сравнения и решения некоторых несложных логических задач формируется результат, указывающий на неисправный элемент объекта диагностирования.

Кроме того, информация о неисправных блоках и других элементах поступает в буферное запоминающее устройство, а из него до радиостанции связи, которая автоматически по своей программе передает эту информацию диспетчеру. Если на борту есть резервная аппаратура, она может быть автоматически включена по команде компьютера. Автоматическое включение резерва – это первый шаг на пути объединения средств контроля и средств управления эксплуатацией автомобиля в единую систему. За этим объединением – будущее бортовой системы автомобиля.

11.5. Разработка модели объекта контроля и диагностирования

Для разработки алгоритма диагностирования и оценки показателя качества при наличии неисправностей, дефектов и отказов необходимо построить диагностическую модель системы, т. е. формальное ее описание, учитывающее возможность изменения состояния.

Анализ диагностической модели, в результате которого получают диагностическое обеспечение, предусматривает последовательные выполнения следующих операций:

- определение множества диагностических показателей;
- выбор совокупности оцениваемых диагностических показателей;
- выбор методов оценки диагностических показателей;
- формулировку условий работоспособности и признаков наличия неисправностей (дефектов) в пространстве оцениваемых диагностических показателей;
- построение алгоритмов и программы диагностирования.

Основными видами диагностических моделей электронных систем являются: формально-логические, гибридные, графоаналитические и матричные модели (см. разделы 9 и 10). В этих моделях рассматриваются схемы связей между прохождением диагностических сигналов (ориентированные графы) или функционирование как статическое, так и динамическое.

С точки зрения диагностирования динамическая система характеризуется состоянием отдельных функциональных элементов (ФЭ), из которых состоит система. Под ФЭ понимаются агрегаты, узлы, компоненты микропроцессорных систем, до уровня которых проводится диагностирование.

Каждый ФЭ может находиться в исправном или неисправном состоянии. Если хотя бы один параметр, характеризующий техническое состояние ФЭ, вышел за допустимые пределы, то такой ФЭ считается неисправным.

Непосредственное измерение параметров ФЭ в составе системы не всегда возможно. Обычно можно измерять только выходные сигналы, по которым определяется состояние ФЭ. Для этого необходимо установить количественную связь между контролируемыми параметрами и параметрами ФЭ, изменение которых является непосредственной причиной неисправности (дефектов).

Сложные технические системы практически всегда могут быть представлены в виде иерархической структуры, каждый уровень которой содержит одну или несколько составных частей, выполняющих в рамках системы свои локальные функции. Принцип декомпозиции на уровни (подсистемы) может быть различным: функциональный, конструктивный, организационный. Указанные системы характеризуются многомерностью, многогосвязностью, разнообразной природой элементов, составляющих систему и обуславливающих разнородность информационных и энергетических потоков, относительной самостоятельностью функций подсистем, направленных на достижение заданной цели функционирования системы в целом.

Для решения проблемы создания электронных средств контроля и диагностирования сложной системы транспортных машин целесообразным является применение системного подхода как методологической основы, отличительные признаки которого следующие: формулировка цели, многоуровневая композиция, установление связей между подсистемами, анализ и последующий синтез фрагментов, направленные на достижение поставленной цели. В приложении к созданию средств контроля и диагностирования системный подход означает согласованный выбор альтернатив между современными конструкторскими решениями и технологическими возможностями, уровнем автоматизации и сложностью математического и программного обеспечения, глубиной диагностирования, надежностью и ценой.

Если известны контролируемые параметры и формы проявления неисправностей и предполагается, что отказ одного из элементов влечет за собой отказ всей системы, то формируются алгоритмы поиска неисправностей с детерминированными программами. Если дополнительно известны законы распределения отказов по элементам и подсистемам, то формируются стохастические программы поиска неисправностей. Указанные методы алгоритмизации поиска неисправностей наиболее эффективны в условиях максимальной автоматизации процесса электронного диагностирования и использования при контроле рабочих сигналов.

Сложные технические объекты как объекты моделирования обладают функциональным и структурным разнообразием, что и определяет вид соответствующей модели, являющейся основой диагностической модели.

Построение диагностической модели системы рассматривается как многоэтапный процесс. На первом этапе анализируются функциональные свойства объекта диагностирования, т. е. свойства, характеризующие назначение и принципы функционирования объекта и всех его ФЭ. Для восстановления работоспособности объекта по результатам диагностирования желательно иметь однозначное соответствие между функциональными и съемными конструктивными элементами объекта. Поэтому анализ с функциональных свойств следует начинать с построения иерархической структуры объекта до уровня, соответствующего глубине диагностирования. В результате анализа устанавливается связь между функциональными свойствами элементов и объекта диагностирования. Между двумя функциональными свойствами существует связь, если изменение одного из них вызывает изменение другого без участия какого-либо из остальных рассматриваемых свойств.

Итогом первого этапа является граф-модель функционирования (МФ) исследуемого объекта. Вершины этого графа соответствуют функциональным свойствам элементов объекта, а дуги указывают причинно-следственные отношения между ними. Направление дуг обычно совпадает с направлением прохождения сигналов в объекте (см. раздел 10).

Различные преобразования МФ с целью ее упрощения можно выполнять методами теории графов. При решении задач диагностирования затруднительно использовать непосредственно МФ. Это обусловлено тем, что не все функциональные свойства поддаются прямому измерению. Обычно

оценку таких свойств проводят по результатам контроля параметров, характеризующих эти свойства.

При этом свойство может характеризоваться одним или несколькими параметрами, в то же время каждый параметр может характеризовать одно или несколько свойств;

Вторым этапом построения модели объекта диагностирования является создание параметрической модели (ПМ), устанавливающей связь между параметрами, характеризующими функциональные свойства элементов. Эту модель можно получить на основе МФ путем непрерывного отображения пространства функциональных свойств в пространство параметров.

Разобьем общее множество параметров объекта диагностирования на следующие подмножества: C – подмножество параметров входных сигналов, подаваемых на объект в процессе оценки технического состояния; V – подмножество параметров, характеризующих работоспособность системы; U – подмножество параметров выходных сигналов системы; L – подмножество параметров, характеризующих работоспособность функциональных элементов. [43]

Построение ПМ начинается с определения совокупности параметров, характеризующих функциональные свойства системы. В общем случае любое функциональное свойство может быть описано параметрами входных, выходных сигналов и соответствующими параметрами работоспособности.

Параметрическую модель можно также представить в виде направленного графа, вершинами которого являются параметры, а дуги указывают причинно-следственные отношения между ними.

При определении связи между параметрами используются те же подходы, что и при построении МФ. При помощи ПМ можно определить связь между неисправностями (дефектами) ФЭ, обусловленными выходом за допустимые пределы параметров подмножества L и параметрами подмножества V .

Следует отметить, что ПМ указывает только на наличие связи между параметрами, но еще не раскрывает количественных отношений между ними. Тем не менее большинство существующих методов диагностирования могут использовать ПМ или МФ в качестве конечной модели.

В ряде случаев недостаточно указать только наличие причинно-следственных связей между параметрами. Для сложных систем не всегда удастся задать требования на ФЭ таким образом, чтобы при их выполнении удовлетворялись требования на параметры подмножества U .

Существуют причины, связанные с взаимной компенсацией отношений параметров подмножества L , с неизбежными методическими ошибками при назначении допусков на параметры и другие приводящие к нарушению однозначности связи в ПМ.

В связи с этим правильно определить состояние ФЭ можно только при установлении количественной зависимости между параметрами выходных сигналов. Эта информация также необходима для выбора контролируемых параметров, построения правил принятия решений при диагностировании и т. д. С этой целью определяют количественную связь между параметрами

и устанавливают зависимость параметров подмножества U от значений параметров подмножества C и L : $U=U(C,L)$.

Выбор вида и полноты количественного описания связей между параметрами определяется объемом имеющейся информации об объекте, условиями и методами оценки его технического состояния, требованиями точности, глубины диагностирования и т. д.

Обычно техническое состояние системы оценивается при фиксированных значениях параметров входных сигналов. В этом случае параметры подмножества являются фактически функцией только параметров функциональных элементов.

При известных вероятностных характеристиках параметров подмножества L можно, используя зависимость $U=U(L)$, определить вероятностные характеристики параметров выходных сигналов при наличии в системе любой из неисправностей, вызванной выходом за допустимые пределы параметров подмножества L .

Рассмотрим построение модели объекта, структурная схема которого изображена на рис. 11.2 (а). Функциональными элементами объекта являются: предварительный усилитель ПУ; суммирующий усилитель СУ; усилитель мощности УМ; усилитель обратной связи УОС; управляющее роле УР. Предполагается, что техническое состояние системы можно оценить в трех режимах, подавая на вход определенные комбинации входных сигналов x_1, x_2, x_3 . При этом возможно измерение только уровня выходного сигнала y .

На рис. 11.2 (б) показана модель функционирования этой системы. Здесь отмечены следующие функциональные свойства: E_1 – предварительное усиление входных сигналов x_1 и x_2 ; E_2 – суммирование прямого и обратного сигналов; E_3 – усиление и ограничение суммарного сигнала; E_4 – усиление суммарного сигнала по мощности; E_5 – формирование обратного сигнала; E_6 – переключение режимов работы объекта.

Параметрическая модель объекта (рис. 11.2, в) содержит следующие параметры, характеризующие функциональные свойства: $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7$ – передаточные коэффициенты элементов; u_i – уровень сигнала на выходах соответствующих элементов ($i=1, 2, \dots, 6$); c_j – параметры входных сигналов x_1, x_2, x_3 ($j=1, 2, 3$).

После того как выбрана диагностическая модель, используют принципы теории идентификации – наблюдаемость, управляемость и различимость. [35]

Система называется полностью наблюдаемой на интервале t_0, t_1 , если ее начальное состояние $X(t_0)$ можно определить по измеренному на этом же интервале вектору $Y(t_1)$. [35] Система называется полностью управляемой, если из некоторого начального состояния $X(t_0)$ ее можно перевести в любое другое состояние $Y(t_1)$ за конечный интервал времени t_0, t_1 воздействием на нее управления $G(t) \in G$, где G – некоторый заданный класс функций. Эти свойства определяют техническое состояние объектов и позволяют сформулировать условия работоспособности и различимости и оценить возможности их реализации. Условия работоспособности представляют собой прави-

ла, разделяющие конечное множество X возможных состояний объекта на подмножества работоспособных X_0 и неработоспособных X_i состояний, $X = X_0 \cup X_i$.

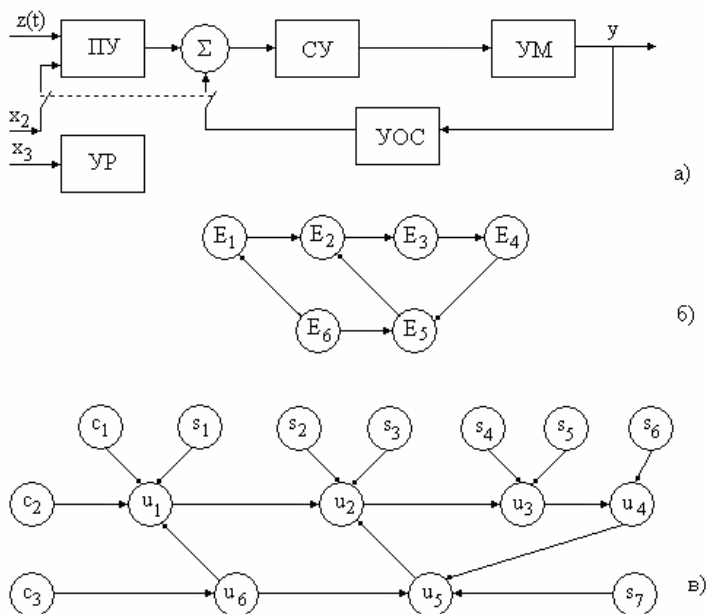


Рис. 11.2. Объект диагностирования:

а – схема; б – модель функционирования; в – параметрическая модель

Признак наличия неисправности представляет собой условия различия каждого состояния в подмножествах X_0, X_i . Если обозначить через ΔW_i – приращение информации, получаемое при наблюдении за i -м ($i = \overline{1, n}$) параметром объекта или за их совокупностью, а через C_i – стоимость такого наблюдения, то отношение $\frac{\Delta W_i}{C_i}$ можно использовать в качестве оценки значимости и реализуемости наблюдения за 1-м параметром или за группой параметров.

11.6. Логические модели объектов диагностирования

На практике широко применяются логические модели объектов диагностирования, позволяющие установить связь между состоянием объекта диагностирования и результатами контроля его функциональных элементов.

Логические модели строятся на основе функциональных схем проверяемого объекта, анализа выходных характеристик объекта при изменении состояния функциональных элементов и т. д.

Рассмотрим процесс построения логической модели.

Используя структурную схему устройства, строят, его функциональную модель. Функциональная модель устанавливает связь между входными

и выходными сигналами ФЭ, характеризующих глубину проведения диагностирования. При построении функциональной модели учитывают следующие требования [21, 43]:

1. Каждый элемент функциональной модели должен иметь необходимое число входов и один выход, характеризующий его состояние. При большом числе выходов элементы расчленяются на части с одним выходом.

2. Если объект диагностирования состоит из n функциональных элементов, то его состояние характеризуется вектором размерности n , компоненты которого состоят из нулей, если элементы работоспособные, и единиц для неисправных элементов. Функциональный элемент считается работоспособным, если при допустимых входных воздействиях выходной сигнал находится в пределах допуска.

3. Связи между элементами функциональной модели должны соответствовать принципиальной схеме объекта диагностирования.

4. Если два функциональных элемента объекта связаны друг с другом, то допустимый выходной сигнал первого является допустимым входным сигналом для второго элемента.

Множество возможных состояний объекта определяется числом функциональных элементов.

В общем случае для n функциональных элементов объекта возможно 2^n состояний. Число рассматриваемых состояний можно сократить до n , если предположить, что при наличии неисправности (дефекта) произошел отказ одного функционального элемента.

На рис. 11.3 показана функциональная модель объекта диагностирования, состоящего из пяти элементов. При допустимых входных сигналах отказ элемента b_1 изменяет состояние объекта с 00000 на 11100. При отказе элемента b_2 состояние объекта будет 01000 и т. д. Модель объекта диагностирования можно представить в табличной форме. [43]

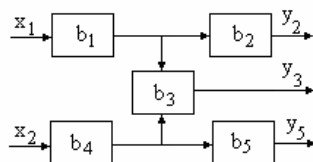


Рис. 11.3. Функциональная модель объекта диагностирования

Таблицы неисправностей приводят рассматриваемые состояния объекта и значения выходных сигналов функциональных элементов, характеризующих состояние объекта диагностирования. На основе анализа функциональной модели (рис. 11.3) составлена табл. 3.1 функции неисправностей объекта диагностирования.

Таблица 11.1

Функции неисправностей

S	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
10000	1	1	1	0	0
01000	0	1	0	0	0
00100	0	0	1	0	0
00010	0	0	1	1	1
00001	0	0	0	0	1

Эту таблицу можно использовать при построении алгоритмов диагностирования системы. Сопоставляя результаты контроля системы с горизонтальными строками таблицы, можно определить состояние, в котором находятся проверенная система и неисправный или отказавший функциональный элемент.

При использовании результатов временных характеристик для диагностирования системы удобно пользоваться таблицей функции неисправностей, построенной на основе анализа переходного процесса при различных неисправностях. Переходный процесс в дискретные моменты времени можно представить в виде нулей и единиц. В каждой дискретной точке переходный процесс равен нулю, если он в допуске, и равен единице в противном случае. Таким образом, можно закодировать переходный процесс в определенные моменты времени для каждой неисправности.

В таблице функции неисправностей приводятся рассматриваемые отказы и соответствующий им закодированный переходный процесс, являющийся функцией нулей и единиц.

В качестве примера приведена табл. 11.2 функции неисправностей, построенная для системы из пяти функциональных элементов в предположении, что число неисправностей равно числу элементов. [43]

Таблица 11.2

Функции неисправностей для системы из пяти функциональных элементов

$y(t_i)$	Функциональные элементы				
$y(t_1)$	1	0	1	0	0
$y(t_2)$	0	0	0	0	1
$y(t_3)$	0	1	1	0	0
$y(t_4)$	1	1	0	1	0
$y(t_5)$	1	0	0	1	0
$y(t_6)$	0	1	1	1	0
$y(t_7)$	0	0	0	0	1
$y(t_8)$	1	0	0	0	1
$y(t_9)$	0	1	1	0	0
$y(t_{10})$	0	0	0	0	1

Для лучшего различения неисправностей при кодировании переходного процесса можно учитывать знак его выхода за пределы допуска. Тогда в рассматриваемые моменты времени переходный процесс равен 1, если он выше допуска, 0 – при нахождении в пределах допуска и -1, если он ниже допустимого значения. В этом случае в таблице неисправностей для каждого отказа приводятся значения переходного процесса, являющегося функцией трех переменных 0, 1, -1.

Логические модели не позволяют установить количественную связь между измеряемыми параметрами и показателем качества системы, не учитывают вероятностной связи между неисправностями и их признаками. Они обладают ограниченными возможностями по локализации неисправностей элементов, входящих в контур обратной связи системы.

Несмотря на это, логические модели являются простыми в технической реализации и во многих практических случаях приводят к хорошим результатам.

11.7. Анализ процесса функционирования автоматических систем

Для построения модели контроля необходимо провести анализ процесса функционирования динамической контролируемой системы во время работы при подаче на вход системы управляющих и возмущающих воздействий. Каждая выполняемая системой функция – это результат преобразования системой входных сигналов в выходные с целью решения конкретной задачи. Вид функций и характер решаемых системой задач определяется конкретным назначением системы.

Определить функции – это значит построить модель процесса функционирования, отражающую все функциональные свойства, которые реализуют эти функции.

Для многих технических устройств значение показателя качества отражает основную функцию их работы. Поэтому его используют для оценки работоспособности. Непосредственное измерение показателя качества в ряде случаев затруднено. Можно только получить его оценку по результатам измерения параметров с помощью модели процесса функционирования системы.

В зависимости от характера решаемых задач и условий работы системы процесс функционирования можно разбить на этапы, на которых происходит решение определенных задач. Выберем за показатель качества системы вероятность W выполнения поставленных перед ней задач.

Качество функционирования системы на каждом из этапов будем характеризовать условной вероятностью выполнения задач на данном этапе в предположении, что задачи на предыдущих этапах выполнены успешно. Обозначим через A_1 событие, состоящее в том, что поставленные перед системой задачи на первом этапе функционирования выполнены. Аналогично $A_2, A_3, \dots, A_n$ – события, характеризующие процесс функционирования на втором, третьем, n -м этапах контроля. Тогда

$$W = P(A_1)P(A_2/A_1), \dots, P(A_n/A_1, A_2, \dots, A_{n-1}), \quad (11.1)$$

где $P(A_2/A_1), \dots, P(A_n/A_1, A_2, \dots, A_{n-1})$ – условные вероятности зависимых событий, вычисленные при условии, что произошли все предшествующие события. [43]

Вычисления составляющих в правой части выражения (11.1) связаны с рассмотрением конкретных задач, решаемых системой на каждом из этапов функционирования.

Пусть $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1m}$ – события, отражающие решение системой соответствующих задач на первом этапе функционирования. Тогда

$$P(A_1) = P(B_{11})P(B_{12}/B_{11}), \dots, P(B_{1m}/B_{11}, \dots, B_{1m-1}). \quad (11.2)$$

В соответствии с решаемыми задачами систему разбивают на ряд подсистем, характеризующихся вектором случайных параметров. Показатель качества системы W , зависящий от вектора случайных параметров, также является случайной величиной и для его определения используют вероятностные методы.

При выбранных методах контроля преобразование Λ формирует решение о работоспособности системы и наличии в ней дефекта путем сравнения измеренных значений с допусками на них. Эта информация и измеряемые при контроле сигналы используются для определения места дефекта с помощью преобразования R_0 . По результатам принятого при контроле решения Γ на выходе преобразования Λ системы делятся на исправные, неисправные, работоспособные и неработоспособные, правильно и неправильно функционирующие.

В соответствии с преобразованием R_0 принимается решение о месте дефекта и указывается, какой функциональный элемент неисправный. Отказ в автоматической системе может привести к ухудшению качества процесса функционирования или к потере работоспособности системы.

Оценить качество процесса функционирования системы можно для неисправной системы. Для этого, используя зависимость показателя качества от параметров для каждого из рассматриваемых дефектов, определяют показатель качества по измеренным параметрам системы. Эта информация используется при принятии решения о применении системы по назначению.

Аналитическое выражение для показателя качества, описывающего функционирование автоматической системы представляет собой математическую модель физических процессов, протекающих в системе при контроле. Показатель качества системы зависит от параметров и связан с ними сложной зависимостью. Поэтому получение оценки показателя качества по результатам контроля параметров сопряжено с большими вычислительными трудностями. Для практической реализации в современных автоматических средствах контроля используется аппроксимирующая зависимость показателя качества от параметров, полученная с применением методов группового учета аргументов, множественной регрессии и др.

Анализ функционирования контролируемой динамической системы и определение вероятностей выполнения заданных событий производится с помощью математической или физической модели.

11.8. Обеспечение контролепригодности автоматических электронных систем диагностирования и управления машиной

11.8.1. Бортовые системы управления

Обеспечение конструкционной контролепригодности машины осуществляется путем обеспечения средствами диагностики каждой ее структурной единицы, а в ряде случаев и диагностики структурных элементов (компонентов). Это позволяет контролировать текущие параметры состояния

всех систем объекта диагностирования. Каждый элемент контроля диагностики и контроля представляет собой совокупность датчиков и исполнительных средств, которые объединены в блоки. На электронные средства возлагается задача контроля систем управления и диагностирования транспортных машин.

Современные электронные системы имеют наиболее полный подбор модулей, образующих систему (сеть) электронного (компьютерного) управления работой автомобиля. В зависимости от марки, модели, комплектации автомобиля число и назначение основных и вспомогательных модулей может существенно меняться. В системе бортовой диагностики транспортных машин получение информации от датчиков осуществляется бортовой контрольно-измерительной системой (рис. 11.4 [60-68]).

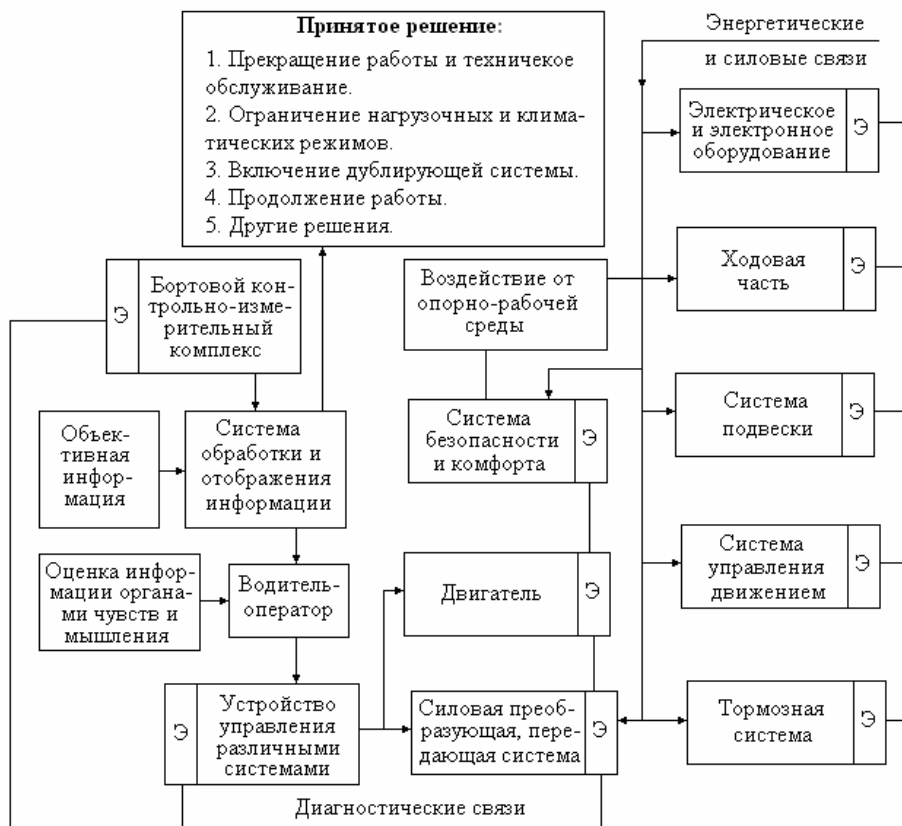


Рис. 11.4. Функциональная схема бортовой диагностики транспортной машины:

Э – элементы бортовой диагностики

Созданные в настоящее время системы управления предусматривают автоматизацию процесса принятия решения. От датчиков, встроенных в агрегаты и системы автомобиля, сигналы поступают в бортовой микропроцессор (ЭВМ), в котором сравниваются фактические Y_{oi} и желаемые Y_{zi} па-

параметры состояния объекта (рис. 11.5). По сигналу рассогласования ДУ в соответствии с алгоритмом принятия решения интерфейсным преобразователем формируется команда на исполнительный механизм, который корректирует состояния объекта.

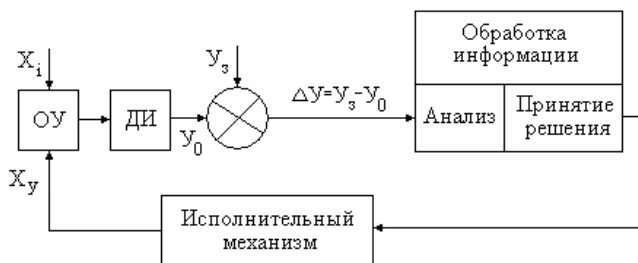


Рис. 11.5. Функциональная модель системы управления:

ОУ – объект управления; ДИ – датчик информации; X_i – сигнал возмущения; U_0 – сигнал (диагностический параметр) функционирования объекта; U_3 – планируемый параметр (задатчик) функционирования объекта; $\Delta U = U_3 - U_0$ – сигнал рассогласования; X_u – управляющий сигнал корректирующего действия

При оптимальном управлении (регулировании) задатчик планируемого параметра U_3 (см. рис. 11.5) должен реагировать на индивидуальное изменение состояния объекта, следовательно, его значение не является фиксированным в процессе управления, а может меняться в зависимости от знака полученного эффекта до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное значение критерия эффективности. Такой процесс оптимизации режима работы объекта осуществляется путем многочисленных проб (итераций) незначительного изменения регулируемого параметра, получения откликов их реализации с выбором наилучшего. Подобные системы называются адаптивными, самоорганизующимися или самонастраивающимися. Основаны они на общепризнанной гипотезе Л. Эйлера, согласно которой все явления, которые мы наблюдаем, обладают некоторыми экстремальными свойствами. Их реализация возможна при введении в систему (рис. 11.6) дополнительного логического звена-анализатора эффективности (микропроцессора) с идентификационным алгоритмом адаптивного управления, на который поступают сигнал предыдущего i -го шага от принятого управляющего решения ΔX_{vi} и сигнал-отклик следующего $(i+1)$ -го шага $Y_{oi} - Y_{oi+1}$ от объекта управления. В зависимости от эффективности корректирующего воздействия управляющего сигнала логический анализатор дает команду на увеличение или уменьшение значения параметра функционирования объекта $U_3 \pm \Delta U_3$, который и является значением U_3 .

Лавинообразный процесс управляющих воздействий со сменой текущего значения U_3 продолжится до тех пор, пока критерий оптимальности K_{opt} не достигнет своего экстремального значения. В дальнейшем корректирующие действия системы управления будут колебаться в обе стороны от экстремума на величину установленного шага регулирования исполнительного механизма.

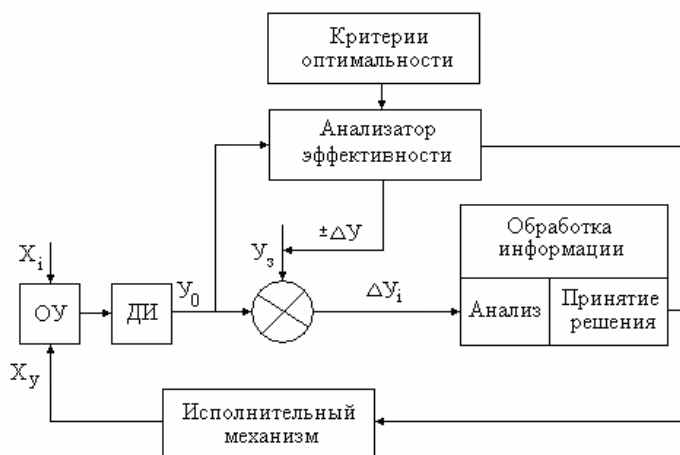


Рис. 11.6. Функциональная схема оптимизирующей системы управления (условные обозначения см. на рис. 11.5)

При эволюции условий или режима работы объекта управления под воздействием возмущающих внешних или внутренних факторов X_i процесс оптимального управления (параметром U_3) повторяется вновь, но на ином уровне перебора оперативных оценок состояний объекта. Цель новых шаговых изменений значений регулируемого параметра U_3 заключается в достижении максимальной эффективности функционирования объекта в изменившихся условиях. При этом экстремум критерия оптимальности может отличаться от ранее достигнутого.

Качество реализации подобных адаптивных микропроцессорных систем зависит от выбранного критерия оптимальности. Применительно к ДВС ими могут быть минимальные значения расхода топлива, содержания канцерогенов в отработавших газах, уровня шума и вибрации, интенсивности изнашивания деталей КШМ или, наоборот, максимальные значения мощности или крутящего момента, индикаторные и эффективные показатели рабочего процесса, герметичности ЦПГ и другие. Каждый из них имеет хорошо изученные достоинства и недостатки, различную область применения и степень информативности. В настоящее время в качестве критерия оптимальности чаще всего используют расход топлива при введении ограничений на управляющие воздействия по экологическим показателям.

Бортовые системы высокого уровня разработки могут не только диагностировать агрегаты и элементы транспортных машины, но и осуществлять управление, например, системами впрыска топлива и зажигания, выбирать оптимальные режимы работы двигателя и трансмиссии, при которых достигается комфортабельность, динамические качества машины, минимальный расход топлива и минимальный выброс вредных веществ с отработавшими газами. Эти системы могут сигнализировать, например, о необходимости замены масла или ремня газораспределительного механизма, запомнить коды критических ошибок и время их обнаружения.

Исходные сигналы датчиков машины используются несколькими электронными системами. Поэтому современные транспортные средства оснащаются большим числом электронных блоков управления (ЭБУ), которые связываются друг с другом коммуникационной шиной для обмена данными. Датчики и исполнительные механизмы подключены к этой шине через специальные устройства, которые согласовывают работу технических систем, становятся доступными для всех ЭБУ. Эти системы образуют локальную вычислительную сеть (ЛВС) на борту автомобиля.

На современных автомобилях применяются несколько сетевых шин обмена данными CAN (Controller Area Network) между модулями/блоками управления разных систем и контроллерами исполнительных устройств автомобиля.

Шина является полнодуплексной, то есть любое подключенное к ней устройство может одновременно принимать и передавать сообщение.

Сигнал из чувствительного элемента соответствующего информационного датчика поступает в ближайший блок управления, который обрабатывает его и передает на шину обмена данными CAN.

Любой блок управления, подключенный к шине данных CAN, может прочитывать этот сигнал, вычислять на его основе параметры действия и управлять исполнительным сервомеханизмом.

При обычном кабельном соединении электрических и электронных устройств осуществляется прямое соединение каждого блока управления со всеми датчиками и исполнительными элементами, от которых он получает результаты измерений или которыми управляет.

Усложнение системы управления приводит к избыточной длине или многочисленности кабельных линий.

По сравнению со стандартной кабельной разводкой шина данных обеспечивает:

- уменьшение количества кабелей. Провода от датчиков тянутся только к ближайшему блоку управления, который превращает измеренные значения в пакет данных и передает его в шину CAN;
- управлять исполнительным механизмом может любой блок управления, который по шине CAN получает соответствующий пакет данных и на его основе рассчитывает значение управляющего действия на сервомеханизм;
- улучшение электромагнитной совместимости;
- уменьшение количества штекерных соединений и уменьшение количества контрольных выводов на блоках управления;
- снижение веса;
- уменьшение количества датчиков, поскольку сигналы одного датчика (например, из датчика температуры охлаждающей жидкости или вибрации) могут быть использованы разными системами;
- улучшение возможностей диагностики. Поскольку сигналы одного датчика (например, сигнал скорости) используются разными системами, то в случае, если сообщения о неисправности выдают все системы, которые используют этот сигнал, неисправным является, как правило, датчик или

блок управления, обрабатывающий его сигналы. Если же сообщение о неисправности поступает только от одной системы, хотя этот сигнал используется и другими системами, то причина неисправности, чаще всего, находится в обрабатывающем блоке управления или сервомеханизме;

- высокая скорость передачи данных – возможна до 1 Мбит при максимальной длине линии 40 м.

- несколько сообщений могут по очереди передаваться по одной и той же линии.

Для разных областей управления применяются разные шины CAN. Они отличаются одна от другой скоростью передачи данных. Существует четыре основных вида применения CAN:

- связь между ЭБУ;

- подвижные средства связи;

- диагностика;

- мультиплексная проводка для элементов электрооборудования.

Связь между отдельными ЭБУ становится необходимой, когда должны соединяться такие электронные системы, как Motronic, электронное переключение коробки передач, электронное управление мощностью двигателя, управления силой тяги (УСТ). Обычно скорость передачи данных находится в диапазоне от 125 Кбит до 1 Мбит и должна быть достаточно высокой для обеспечения реагирования системы в реальном масштабе времени.

Скорость передачи по шине данных CAN области «двигатель и ходовая часть» (CAN-C) составляет 125 Кбит/с, а шина данных CAN «Салон» (CAN-B) в результате меньшего количества особенно срочных сообщений рассчитана на скорость передачи только 83 Кбит/с.

11.8.2. Характеристики кодирования неисправностей объектов диагностирования по OBD-II

Существует большое количество признаков классификации кодов, получение эффективных алгоритмов кодирования, передачи и хранения информации о состоянии технических систем транспортных машин. [35] Без кодирования информации о техническом состоянии машины практически невозможно создание сложных систем автоматического диагностирования и управления автомобилем.

В настоящее время список кодов неисправностей, процессы и структура программного обеспечения диагностирования в основном стандартизованы.

В основу системы диагностирования и контроля параметров автомобилей положен стандарт OBD-II. Некоторые производители автомобилей дополняют этот стандарт. Требования OBD-II определяются стандартами:

- SAE J1850, ISO 9141-2 или ISO 15031-3 – связь;

- SAE J1962 – соединения разъемов, описание стандартного разъема DLC (Data Link Connector) для подключения диагностического оборудования;

- SAE J1978 – диагностическая установка (сканирующий прибор для системы OBD-II);
- SAE J1979 – описание содержания протоколов проверки (режимы 1-9);
- SAE J1930 – стандарт маркирования систем и их компонентов;
- SAE J2012 – структура и формат текста, выводимого с содержанием неисправностей.

Неисправности любого узла системы приводят к включению индикатора MI. Стандартом OBD предусмотрено три состояния индикатора неисправностей (MI). Он может гореть постоянно, не гореть или мигать.

В стандарте ISO 15031-3 отдельно описан каждый режим проверки отдельно и формат передачи данных. Стандарт устанавливает для диагностического прибора 9 режимов проверки.

Режим 1. Считывание последних фактических данных о системе:

- аналоговые входные и выходные сигналы (например, сигнал λ -зонда, частота вращения (коленчатого вала), температура двигателя и т. д.);
- цифровые входные и выходные сигналы (например, ЕПХХ);
- информация о системе (например, автоматическая или механическая коробка передач, наличие или отсутствие кондиционера);
- результаты расчетов (например, длительность впрыска топлива).

Режим 2. Считывание информации об условиях окружающей среды (эксплуатации) – зафиксированные данные в так называемом «стоп-кадре», при которых возникла неисправность, например, частота вращения (коленчатого) вала двигателя 850 мин^{-1} , температура двигателя 83°C и т. д. Фактические данные также можно получить в режиме 1.

Режим 3. Считывание информации о неисправностях из памяти запоминающего устройства. В этом режиме проверки считывается информация о неисправностях систем, связанных с выпуском отработавших газов, а также коды обнаруженных неисправностей.

Режим 4. Удаление данных о неисправностях, накопленных в памяти запоминающего устройства, и обратная установка сопроводительной информации для контроля систем автомобиля.

Режим 5. Выведение информации об измеряемых и пороговых значениях λ -зонда.

Режим 6. Выведение информации о параметрах функций, контроль за которыми не осуществляется постоянно (связано с особенностями конструкции автомобиля).

Режим 7. Считывание информации о неисправностях из памяти запоминающего устройства. В режиме 7 прочитывается информация о еще четко не выявленных неисправностях.

Режим 8. Запуск функции диагностирования (связан с особенностями конструкции автомобиля).

Режим 9. Считывание кодов из блока управления.

В новых указаниях стандарта самоконтроля OBD вместо понятия «Mode» (Режим) употребляется понятие «Service».

Коды неисправностей состоят из комбинации пяти буквенных и цифровых символов, например P0283. Первый символ кода сообщает о типе системы автомобиля, второй символ кода – о подгруппе. Третий символ кода сообщает об узле или агрегате. Четвертый и пятый символ кода сообщает о локализованном узле или агрегате (неисправность, табл. 11.3).

Таблица 11.3

Коды неисправностей

Позиция	Символ	Значение
1	B	Кузов (Body)
	C	Ходовая часть (Chassis)
	P	Силовое устройство (Powertrain)
	U	Не определено (Undefined)
2	0	Код неисправности по SAE
	1	Заводской код неисправности
	2	Код неисправности по SAE
	3	Заводской код неисправности
3	1	Измерение топлива и воздуха
	2	Измерение топлива и воздуха
	3	Система зажигания
	4	Дополнительная регулировка ОГ
	5	Регулирование(контроль) скорости и холостого хода
	6	Компьютерные и выходные сигналы
	7	Коробка передач
4 и 5	От 0 до 99	Обозначение узлов и агрегатов

Обзор кодов неисправностей. Примеры:

- P0122 – очень слабый сигнал от датчика положения дроссельной заслонки;
- P0123– очень сильный сигнал от датчика положения дроссельной заслонки;
- P0130 – не работает λ -зонд 1;
- P0100 – не работает расходомер воздуха.

Значение кода неисправности P0 прописано в стандарте ISO 15031-6 и приведено в работах [14, 30, 34]. Расшифровка кода неисправности P1 в этом стандарте не предусмотрена.

Для примера в табл. 11.4 приведен ограниченный набор диагностических кодов неисправностей двигателя. Коды, представленные в этой таблице, соответствуют кодам ошибок для бортовых диагностических систем стандарта OBD-II. В действительности в системах OBD-II кодов ошибок значительно больше.

Текущие данные диагностики блока управления двигателем

Код	Описание
P0105	Неисправность в цепи датчика давления во впускном коллекторе
P0110	Неисправность в цепи датчика температуры воздуха
P0115	Неисправность в цепи датчика температуры охлаждающей жидкости
P0120	Неисправность в цепи датчика положения дроссельной заслонки
P0130	Неисправность в цепи датчика кислорода
P0171	Низкий уровень сигнала на выходе датчика кислорода, бедная смесь
P0172	Высокий уровень сигнала на выходе датчика кислорода, богатая смесь
P0200	Неисправность в цепи форсунки
P0230	Неисправность в цепи реле бензонасоса
P0300	Пропуски воспламенения
P0320	Неисправность в цепи датчика положения коленчатого вала
P0400	Неисправность в системе рециркуляции выхлопных газов
P0440	Неисправность в системе улавливания паров бензина в баке
P0500	Неисправность в цепи датчика скорости автомобиля
P0505	Неисправность в системе регулирования оборотов холостого хода
P0560	Несоответствие норме напряжения бортовой цепи

11.8.3. Характеристика контролируемых сигналов объектов диагностирования и управления по ГОСТ 19838-74

ГОСТ 19838-74 внедрил своеобразную модель объекта контроля (шунта), простую и удобную в работе и одновременно понятную самому широкому кругу инженеров разных специальностей. Этой моделью пользуются и специалисты в области электроники, разрабатывающие схемы средств контроля, и программисты, создающие программные продукты для этих средств, и конструкторы, воплощающие разработки в конкретные образцы автоматизированных систем контроля.

С целью унификации документа контролепригодности АСК, одинаковости его выполнения для разных объектов разрабатывают характеристики контролепригодности в виде трех таблиц разной формы для каждого объекта контроля (изделия, системы, прибора и т. п.).

Табл. 11.5 должна содержать детальные характеристики контролируемых сигналов объекта, поступающие от объекта к средствам контроля. По стандарту ГОСТ 19838-74 «Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Характеристики контролепригодности. Состав. Правила изложения и оформления» в отличие от OBD-II обозначаются буквой К и трехзначным порядковым номером: K001, K002, K003 и т. д.

Характеристики стимулирующих и управляющих сигналов, которые необходимо подавать на объект контроля во время его проверки приведены в табл. 11.6. Эти сигналы обозначаются буквой С и трехзначным номером C001, C002, C003 и т. д. [53]

И наконец, в табл. 11.7 отображается процесс взаимодействия стимулирующих и контролируемых сигналов по каждому из контролируемых параметров, которые обозначаются буквой П: П001, П002, П003 и т. д.

Таблица 11.5

Характеристики контролируемых сигналов (фрагмент)

Условное обозначение сигнала	Наименование параметров контролируемого сигнала, единица измерения или размерность	Характеристика контролируемого сигнала или вид функции сигнала	Номинальное значение и допустимое отклонение параметра	Диапазон возможных значений измеряемого параметра сигнала	Точка вывода (снятия)	Сопротивление электрической нагрузки	Формула расчета параметра
K001	Падение напряжения на шунте источника питания ± 15 В, [В]	Напряжение постоянного тока		(0-10) В	1	≥ 100 кОм	$I = U_I / K_{II}$
K002	Падение напряжения на внутреннем сопротивлении датчика угловой скорости, [В]	Напряжение постоянного тока		(0-10) В	4	≥ 100 кОм	$R_D = U_I / I_I$
K003	Выход датчика угла элерона, [В]	Напряжение постоянного тока		(0-10) В	10	≥ 100 кОм	

Таблица 11.6

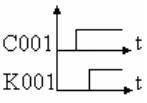
Характеристики стимулирующих и управляющих сигналов (фрагмент)

Условное обозначение сигнала	Наименование сигнала, параметра сигнала, единица измерения или размерность	Краткая характеристика контролируемого сигнала или вид функции сигнала	Номинальное значение и предельное отклонение сигнала	Диапазон возможных значений изменяемого отклонения сигнала	Точка ввода
C001	Напряжение силового питания, [В]	Напряжение постоянного тока	(27 $\pm$ 2,7) В	(24,3-29,7) В	11
C002	Сигнал управляемого постоянного тока, [mA]	Постоянный ток		(0-20) mA	4

Условное обозначение сигнала	Наименование сигнала, параметра сигнала, единица измерения или размерность	Краткая характеристика контролируемого сигнала или вид функции сигнала	Номинальное значение и предельное отклонение сигнала	Диапазон возможных значений изменяемого отклонения сигнала	Точка ввода
C003	Нулевой сигнал на входе предусилителя, [В]	Напряжение постоянного тока		$(0 \pm 0,0005) \text{ В}$	6
C004	Сигнал на входе преобразователя K' , [В]	Напряжение постоянного тока		$(-2,8 \dots +2,8) \text{ В}$	3

Таблица 11.7

Описание процесса контроля параметров (фрагмент)

Индекс параметра	Наименование параметра, единица измерения (размерность)	Номинальное значение и предельное отклонение параметра	Индекс стимулирующего (контролируемого) сигнала	Форма и временные соотношения стимулирующих и контролируемых сигналов	Формула расчета параметра	Блок-схема алгоритма контроля параметра
П001	Ток потребления от источника напряжения $\pm 15 \text{ В}$, [А]	$(1,5 \pm 0,15) \text{ В}$	K001		$I = U_I / K_{ш}$	<pre> graph TD A[Подать C001] --> B["Измерить K001 = U_I (МО=0,75 В)"] B --> C["Вычислить U_I / K_ш"] C --> D["Сравнить результат"] D --> E["Регистрировать П001"] </pre>

Примечание:

МО – математическое ожидание; $K_{ш}$ – коэффициент передачи шунта.

Обеспечение возможности эффективного автоматизированного контроля зависит не только от средств контроля, но и от того, насколько четко и продумано разработана конструкция объекта контроля. Необходимые выводы от контрольных точек оборудования, их размещения, компоновки оборудования и его монтаж, специальные схемы для обеспечения возможности проверки – все это должно быть решено в самом начале разработки объекта и усовершенствоваться на всех этапах разработки – от аванпроекта до серийного производства. Таким образом, на этапах разработки объекта должен быть заложен необходимый уровень его контролепригодности.

Уровень контролепригодности машин определяет степень эффективности тестового диагностирования их технического состояния, влияет на производительность и качество выпускаемых изделий, а при эксплуатации уровень контролепригодности определяет коэффициент готовности и затраты, связанные с ремонтом. Требование обеспечения высокой контролепригодности усложняет проектирование машин, может привести к большим дополнительным затратам, связанным только с диагностированием.

Контролепригодность обеспечивается в результате преобразования структуры проверяемой машины к виду, удобному для диагностирования. Для этого в машину еще на этапе проектирования вводят дополнительную аппаратуру – встроенные средства тестового диагностирования.

Контролепригодность рассматривают как свойство объекта, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами. Основными характеристиками контролепригодности являются объем контроля, трудозатраты на подготовку и проведение контроля, его стоимость. В свою очередь, трудозатраты и стоимость контроля зависят от номенклатуры стимулирующих сигналов и сигналов реакций, от методик контроля и схемно-конструктивных характеристик объекта. Например, объекты, имеющие обширный перечень источников питания, логично отнести к таким, которые имеют низкую контролепригодность, поскольку такой перечень приводит к увеличению стоимости средств контроля и препятствует их унификации. В связи с этим во время разработки объекта необходимо вводить ограничения на разновидности стимулирующих и контролируемых сигналов, на схемно-конструктивные решения (например, по количеству, разновидностям типов и по размещению электрических разъемов, обеспечивающих удобство и безопасность соединения с аппаратурой контроля), на типы первичных преобразователей физических величин в электрические сигналы и т. д.

На рис. 11.7 и 11.8 показаны примеры того, как схемными методами повышают контролепригодность объекта. [53]

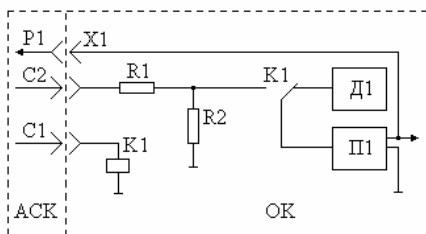


Рис. 11.7. Встроенный делитель напряжения для контроля чувствительного усилителя

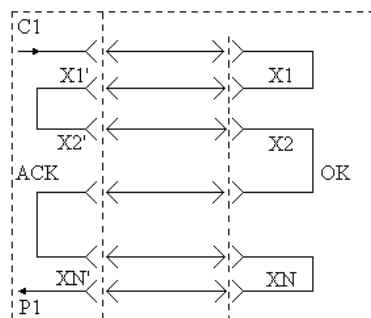


Рис. 11.8. Цепь готовности АСК

Часто на входы объекта контроля для проверки высокочувствительных усилителей необходимо подавать маломощные сигналы, которые легко

искажаются помехами в каналах АСК. Чтобы этого не случилось, идут на усложнение схемы объекта контроля, размещая в нем делители напряжения сигнала и необходимые коммутирующие средства. Наличие делителей дает возможность формировать в АСК более мощные сигналы и подавать их без искажений на входы объекта контроля, а уже в нем с помощью делителей формировать необходимый уровень сигналов. Это показано на рис. 11.7, где управляющий сигнал С1, поданный АСК, включает обмотку реле К1, контакты которого переключают вход усилителя П1 от выхода датчика Д1 на выход делителя R1-R2 стимулирующего сигнала С2. Выходной сигнал усилителя поступает в АСК как реакция Р1. Контролепригодность объекта повышена, таким образом, ценой введения излишних элементов К1, R1, R2 и соединителя Х1.

Для защиты аппаратуры от повреждений в результате ошибочных действий обслуживающего персонала в объекте контроля необходимо предусмотреть специальные средства.

Одной из характерных ошибок является неправильное соединение электрических разъемов объекта контроля и АСК. Чтобы избежать последствий таких ошибок, в электрические соединители объекта контроля вводят так называемые перемычки – короткозамкнутые пары контактов, на основе которых формируют электрическую цепь готовности АСК к контролю.

Одна из схем цепи готовности изображена на рис. 11.8 [53]. В случае когда соединение АСК с объектом контроля выполнено правильно, без перепутывания электрических разъемов, сигнал «прозвонки» С1, поданный АСК, возвращается к ней в виде реакции Р1. В случае ошибки сигнал Р1 отсутствует.

Контролепригодность объекта контроля отображена в конструкторском документе, который называется характеристикой контролепригодности. Этот документ содержит минимально необходимый перечень параметров объекта и методики их контроля, которые позволяют определить техническое состояние объекта с заданными показателями эффективности.

Для того, чтобы оценивать уровень контролепригодности разных объектов контроля с единых объективных позиций, а также намечать пути повышения достигнутого уровня, вводят количественные показатели контролепригодности. Выбор показателей для конкретного объекта должен осуществляться с учетом необходимости обеспечения заданных оперативно-тактических и технико-экономических требований к разрабатываемому объекту таких, как глубина поиска места неисправности (отказа), уровень унификации стимулирующих и контролируемых сигналов, затратные ограничения на эксплуатацию объекта и т. п.

11.8.4. Алгоритм поиска и устранения неисправностей

Накопление информации о неисправностях. Неисправность может классифицироваться как предполагаемая, так и установленная.

Информация о неисправности, определяемая как установленная, выводится в режиме проверки 3, а о неустановленной – в режиме 7 (см. подраздел 11.8.2). Предполагаемой неисправности присваивается статус установленной, если выполнены условия такого перехода, например, если неисправность возникает периодически (каждый раз при прогревании двигателя, во время следующих одна за другой поездок или не пропадает на протяжении определенного периода времени, рис. 11.9).

При прохождении автомобилем технического осмотра используется информация только об обнаруженных неисправностях, то есть та информация, которая отображается в режиме проверки 3. Для диагностирования автомобиля может оказаться полезной информация о «предполагаемых» неисправностях. Следовательно, информация, которая выводится в режимах проверки 3 и 7, представляет интерес для авторемонтных станций.

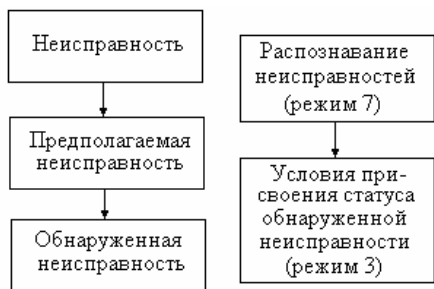


Рис. 11.9. Алгоритм поиска неисправностей

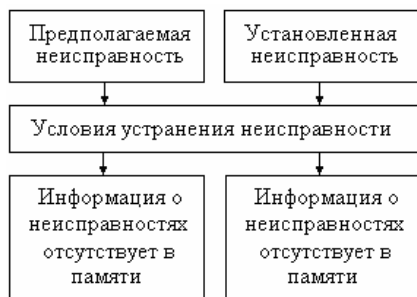


Рис. 11.10. Алгоритм устранения неисправностей

Устранение неисправностей. Если причина неисправности исчезла, то информацию о неполадке можно удалить из памяти запоминающего устройства. Тогда говорят об «устранении неисправности», в этом случае для каждой неисправности установлены свои «условия устранения» (рис. 11.10).

Условием устранения неисправности может быть, например, ее отсутствие на протяжении определенного количества поездок. Количество поездок при отсутствии неисправности подсчитывается и при достижении определенного числа поездок информация о неисправности удаляется из памяти запоминающего устройства.

11.9. Общие требования к программному обеспечению

Программное обеспечение АСУ, которому присущи все характерные особенности программного обеспечения задач контроля и управления непрерывными рабочими процессами автомобиля, должно удовлетворять требованиям к электронным системам управления. Эти особенности заключаются в следующем:

- решение задач в реальном времени (периодический или инициативный ввод информации от датчиков, решение задач с постоянным времен-

ным интервалом или эпизодически – по внешним сигналам, периодический или по команде «вывод информации»);

- большое разнообразие функций, выполняемых комплексами программ, при относительной неизменности их состава в течение всего периода эксплуатации системы;

- многорежимность функционирования программ и изменение состава одновременно работающих программ в зависимости от режимов работ, объема или системы;

- требуемая высокая программная устойчивость при большой продолжительности непрерывной работы (тысячи часов) и высокая достоверность выдаваемой информации.

Обработка в реальном времени в нормальном режиме эксплуатации автомобиля сводится в основном к постоянному и периодическому вводу, обработке и выводу информации и лишь в незначительной степени к эпизодической обработке и выводу информации по требованиям оператора (водителя). В аварийных режимах работы автомобиля возникает необходимость в инициативном вводе информации, ее соответствующей обработке и выводе на устройства представления однократно (в течение аварийного периода, исчисляемого в долях минут). Программная реализация задач соответственно вызывает значительные затраты памяти и машинного времени, что при ограниченных ресурсах используемых средств вычислительной техники требует тщательного подхода к разработке программного обеспечения с точки зрения затрат вычислительных ресурсов.

Требуемая высокая точность выдаваемой информации обуславливает необходимость широкого применения программно-логических способов защиты от сбоев и отказов аппаратуры, а также от ошибок в поступающей информации.

Программное обеспечение АСУ (и АСК) состоит из общего и специального программного обеспечения. Общее программное обеспечение представляется вместе с комплексом технических средств и включает в себя стандартную операционную систему реального времени.

Общее программное обеспечение стандартно для используемого типа ЭВМ и не зависит от объекта применения. Специальное программное обеспечение, в свою очередь, состоит из общесистемного обеспечения функционирования, характерного для АСУ заданного класса как для большинства задач отдельной технической системы и слабо зависящего от характеристик конкретной системы обеспечения прикладных задач, отражающих особенности, параметры и характеристики общей АСУ автомобиля.

Общее программное обеспечение должно включать следующие основные компоненты:

- обслуживающие (служебные) программы, обеспечивающие вывод данных технического состояния, загрузку и компоновку программ;

- стандартные программы, включающие в свой состав библиотечные программы преобразования информации и др.;

- операционные системы, организующие функционирование всех программ в вычислительном комплексе, осуществляющие их визуализацию и

выполнение в режиме реального времени и обеспечивающие работу внешних устройств. Принципы построения операционных систем должны быть согласованы на стадии технического задания;

- программы функционирования АСУ, связанные с созданием многоагрегатного управляющего вычислительного комплекса заданной конфигурации.

Специальное программное обеспечение, разрабатываемое для конкретного объекта, должно включать программы, необходимые для реализации всех функций системы, в том числе для обеспечения:

- реализации конкретных эксплуатационных алгоритмов;
- оперативной связи с оператором (водителем) и обслуживающим персоналом;
- проверки правильности выполнения эксплуатационных алгоритмов (контрольные программы);
- возможности моделирования некоторых режимов, облегчающих наладку программного обеспечения (при необходимости, в соответствии с эксплуатационными алгоритмами);
- выдачи операторам и обслуживающему персоналу системы информационных и диагностических сообщений;
- контроля правильности получения промежуточных и конечных результатов;
- внесения изменений в состав и количество обрабатываемых входных данных;
- выполнение алгоритмов и выдачу результатов на устройствах отображения в представления в темпе протекающего процесса;
- необходимого контроля информации, источником которой является объект управления и оперативный персонал.

Обслуживающие программы должны обеспечивать возможность внесения изменений и дополнений в специальное программное обеспечение АСУ при санкционированном доступе, в том числе снятие копий с информации, записанной на внешний носитель, а также контрольную распечатку информации.

Отлаженная и передаваемая в эксплуатацию программа должна сопровождаться документацией в соответствии с системой стандартов ЕСПД (Единая Система Программной Документации).

Наиболее прогрессивной формой организации специального программного обеспечения являются так называемые пакеты прикладных программ (ППП), предназначенные для реализации отдельных функций или даже совокупности функций АСУ. Хорошо организованный и достаточно развитый пакет прикладных программ позволяет учесть особенности и характеристики конкретной системы в виде набора данных – информационной базы, генерируемой в процессе настройки ППП путем присоединения к пакету отдельных специфических прикладных программ, разрабатываемых только для данной системы.

К настоящему времени в специальном программном обеспечении, например, АСУ автомобиля существует несколько разработанных пакетов

прикладных программ для реализации функций первичной обработки информации.

11.10. Разработка алгоритмов поиска дефектов и неисправностей внешними средствами диагностирования

Основной задачей рациональной организации поиска дефектов и неисправностей является сокращение времени и средств, затрачиваемых на поиск. Это возможно при создании достаточно совершенных алгоритмов поиска. Начальный этап алгоритмизации поиска заключается в разбиении сложной технической системы на функциональные подсистемы и определение точек контроля. Далее анализируется математическая модель и характер влияния неисправностей в подсистемах различного уровня на их работоспособность, то есть диагностическая модель.

Методы построения алгоритмов поиска неисправностей можно использовать при анализе как непрерывных, так и дискретных объектов. Далее рассмотрены принципы поиска неисправностей, характерных только для дискретных объектов. Поиск неисправности осуществляют, подавая на вход последовательности тестовых воздействий и анализируя реакции на выходе объекта.

Если объект многополюсный, то на вход объекта подают вектор X_i и на выходе анализируют вектор Y_i . Как на первом, так и на втором этапах в первую очередь определяют минимальное число входных векторов, обеспечивающих решение задачи.

В принципе, процедура поиска неисправности (дефекта) может быть последовательной или комбинаторной. При реализации последовательной процедуры поиска каждый входной вектор выбирается с учетом реакции объекта на предыдущий входной вектор. Из рис. 11.11 (а) видно, что при подаче на вход объекта теста T_1 все множество состояний $s_1, \dots, s_7$ ($s_1, \dots, s_7$ – различные неисправности) разбивают на 4 группы: s_2 – при выходном векторе Y_1 ; s_1, s_3, s_5 – при выходном векторе Y_2 ; s_4 – при выходном векторе Y_3 и s_6, s_7 – при выходном векторе Y_4 . При последующей подаче на вход объекта тестов T_2 и T_3 группы состояний (неисправностей) разбивают соответственно на состояния s_1, s_3, s_5 и s_6, s_7 . Таким образом, процедура позволяет обнаружить все неисправности, т. е. различить все состояния. [44, 45, 46]

В более сложных случаях при построении процедуры поиска неисправности используют оценку значимости каждого теста. При построении схемы процедуры у каждой вершины решают вопрос о выборе последующего теста на основе сопоставления значимости возможных тестов. Для реализации выбирают наиболее значимый тест. Процедуру заканчивают при обнаружении неисправности (дефекта).

При реализации комбинаторной процедуры каждый входной вектор определяют независимо от предыдущих реакций объекта. При комбинаторной процедуре поиска каждый раз используют все тесты, что увеличивает время поиска возникшей неисправности. Как и в предыдущем случае, реакцию объекта на входные векторы сравнивают с реакциями, соответствующи-

щими той или иной неисправности. Совпадение реакций свидетельствует о наличии в объекте определенной неисправности.

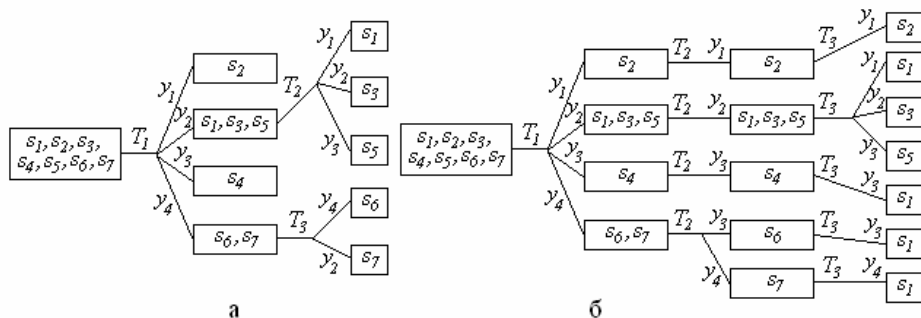


Рис. 11.11. Схемы последовательной (а) и комбинаторной (б) процедур поиска дефекта (неисправности)

Если комбинаторную процедуру представить, при последовательности выходных векторов T_1, T_2, T_3 в виде схемы, аналогичной рис. 11.11 (а), то на каждом уровне схемы входные векторы (тесты) будут одинаковыми (рис. 11.11, б). Таким образом, процедура комбинаторного поиска в общем случае избыточна. Если тесты в процедуре специально упорядочить, то можно сократить затраты времени на поиск.

В качестве примера рассмотрим случай, когда на каждом шаге процедуры будет выбран тест, обнаруживающий наибольшее число неисправностей из ранее необнаруженных. В качестве критерия выбора теста использовано отношение

$$k_i = \frac{n_n - n_{n,n}}{n_n},$$

где n_n и $n_{n,n}$ – соответственно общее число возможных неисправностей и число неисправностей, не обнаруженных тестом.

Таблица 11.8

Таблица неисправностей

s_j	T_i			
	T_1	T_2	T_3	T_4
s_1	Y_1	Y_2	Y_2	Y_4
s_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_4
s_3	Y_4	Y_2	Y_3	Y_3
s_4	Y_2	Y_3	Y_2	Y_2
s_5	Y_3	Y_5	Y_2	Y_4
s_6	Y_3	Y_4	Y_2	Y_4
s_7	Y_4	Y_2	Y_5	Y_4

Пусть табл. 11.8 – таблица неисправностей, в которой строки соответствуют возможным состояниям s_j , а столбцы – тестам T_i . Соответственно значения k_i будут равны: $k_1=0,57$; $k_2=0,43$; $k_3=0,43$ и $k_4=0,28$.

В качестве первого теста выбираем T_1 как наиболее весомый. Исключив из рассмотрения, обнаруженные T_1 неисправности, получим новую таблицу неисправностей (табл. 11.9). Для этой таблицы значения критериев весомости тестов: $k_1=k_2=0$; $k_3=1,00$; $k_4=0,33$. Следовательно, в данном случае нужно выбрать тест T_3 как наиболее весомый.

Таблица 11.9

Преобразованная таблица неисправностей

s_j	T_i			
	T_1	T_2	T_3	T_4
s_1	Y_1	Y_2	Y_2	Y_4
s_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_4
s_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_2

Анализ реакций объекта при решении задачи поиска возникшей неисправности можно свести к рассмотрению матрицы реакций следующего вида:

$$Y = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{vmatrix},$$

где m — число выходов объекта; n — число выходных реакций объекта при подаче на вход соответствующих векторов (тестов); $y_{ij}=1$ или 0, что соответствует наличию и отсутствию сигнала.

Для решения задачи анализа необходимо иметь матрицу Y_0 , соответствующую отсутствию неисправностей в объекте. При возникновении неисправности матрица Y_0 искажается. Фиксируя искажения матрицы Y_0 , обнаруживают возникшую в объекте неисправность.

Возникновение единичной неисправности в объекте, в принципе, может привести к изменению общего числа единиц в матрице, перемещению единицы по строкам при сохранении общего числа единиц в матрице или перемещению единицы по столбцам при сохранении общего числа единиц в матрице.

11.11. Проектирование автоматических систем самоконтроля технического состояния машин

11.11.1. Условия реализации самоконтроля

Как правило, объект самоконтроля находится в пассивном состоянии, в котором он ничем не проявляет свою внутреннюю суть, в том числе свои дефекты (неисправности). Чтобы заставить объект проявить свои преимущества или недостатки, его необходимо активизировать, то есть перевести в другое, образно говоря, «прозрачное» состояние, более удобное для рассмотрения и анализа. Например, подать на него стимулирующие влияния,

изменить условия внешней среды и т. п. Поэтому первым условием реализации самоконтроля является, во-первых, принципиальная возможность существования такого «прозрачного» состояния, а во-вторых – наличие средств активизации, необходимых для перевода объекта в это состояние. Средства активизации могут быть как внешними, так и внутренними относительно объекта.

Следующим условием реализации самоконтроля является существование определенных признаков (параметров) активизированного объекта, которые прямо или косвенно связаны с его состоянием (качеством), а также наличие средств для оценивания этих признаков. В объектах транспортных машин, авиационной [53] и другой техники [38] такими признаками являются технические параметры, которые определяют техническое состояние объектов: коэффициент передачи, чувствительность, напряжение, ток, частота, проводимость, давление и т. д. Указанные признаки измеряют, вычисляют, контролируют с помощью средств самого объекта или же внешних средств.

И, наконец, третьим условием реализации самоконтроля является наличие правила принятия решения (решающего правила), а также наличие средств для реализации этого правила. Решающее правило – это определенная последовательность арифметико-логических операций, которые необходимо выполнить с полученными оценками признаков объекта для определения результата самоконтроля. Тип решающего правила зависит от типа и цели самоконтроля. Средства реализации решающего правила также могут быть как в составе объекта самоконтроля, так и вне его.

Типичная технология организации самоконтроля сложных систем может состоять из трех последовательно выполняемых операций. [53]

Первая операция – деление системы. Сложную техническую систему (технический объект) разделяют на ряд иерархических подсистем с таким расчетом, чтобы любую из них, за исключением старшей в иерархии, можно было проверить одной или несколькими соседними подсистемами. Для того, чтобы подсистема S_j могла проверить подсистему S_i , необходимо, чтобы все входы подсистемы S_i управлялись, а все выходы контролировались подсистемой S_j .

Это достигается выбором в подсистеме S_i – соответствующих пар точек входных и исходных сигналов и соединением их с соответствующими входами (выходами) подсистемы S_j через имеющиеся или же дополнительно организованные каналы связи (рис. 11.12). [53] При этом проверяющая подсистема (диагностическая подсистема) должна иметь определенный объем памяти и возможность выполнять арифметико-логические операции для принятия решения. Кроме того, она не должна иметь общих элементов с подсистемой, которую проверяет. Например, система, показанная на рис. 11.12, разделена на девять подсистем. Из них нулевая, первая и вторая – диагностические. Остальные – это те, которые проверяются с помощью диагностических систем. Пунктиром показаны дополнительно организованные каналы связи.

источников эталонных сигналов (эталонов). Такими являются эталоны напряжения постоянного тока, реализованные в виде стабилитронных схем, эталоны кварцовой частоты, эталоны давления, созданные на основе точных датчиков давления и т. п. Контрольная программа или ее стартовая часть, а также эталоны ядра периодически проверяются с помощью внешних средств, которые не входят в состав АСК. Результаты периодических проверок эталонов записывают в запоминающие устройства АСК для использования в процессе самоконтроля, а выявленные отказы контрольной программы устраняют.

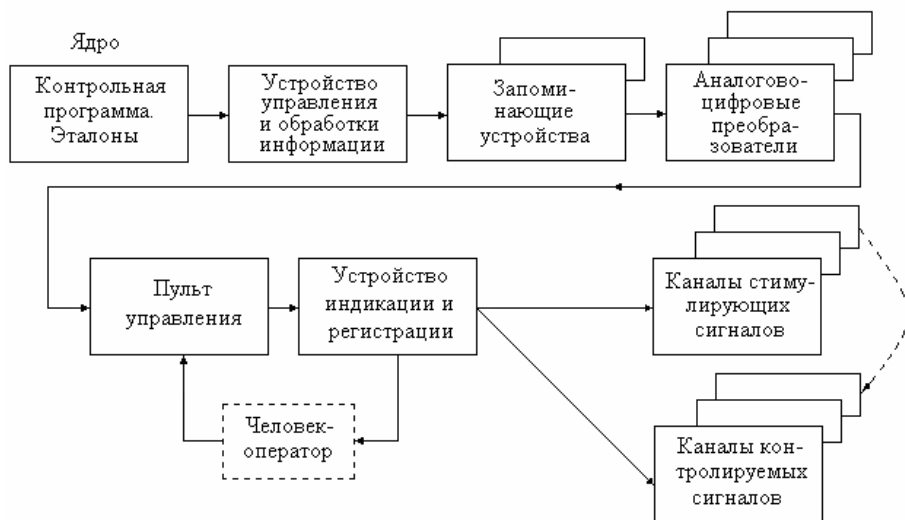


Рис. 11.13. Последовательность самоконтроля АСК методом «раскручивания»

Итак, ядро системы в любое время должно быть готово инициировать процесс самоконтроля АСК. Сначала с помощью ядра проверяется устройство управления и обработки информации – сердцевина АСК. Если устройство в норме, программа переходит к проверкам запоминающих устройств: проверяются контрольные суммы записанных кодов, проверяется способность устройств к записыванию и считыванию информации, проводится проверка на четность считанных кодов и т. д.

Далее по программе проверяются аналогово-цифровые преобразователи путем подачи на их входы эталонных сигналов и сравнение результатов преобразований с допустимыми значениями, записанными в памяти АСК. Проверка пульта управления, устройства индикации и регистрации может проходить в автоматизированном режиме, то есть с участием человека-оператора, который выполняет во время самоконтроля некоторые операции, используя органы управления пульта. Далее АСК в соответствии с программой приступает к самопроверке своих каналов, замыкая один на другой стимулирующие и преобразующие каналы с помощью специального имитатора объекта контроля.

11.11.3. Использование избыточности для самоконтроля автоматизированной системы контроля

Для реализации самоконтроля необходимо, чтобы АСК имела некоторые виды избыточности: аппаратную, программную, информационную, временную и др. Рассмотрим источники существования и пути использования для самоконтроля этих видов избыточности. Будем делить избыточность АСК на две категории. К первой отнесем ту избыточность, которая естественным образом присуща АСК как информационно-измерительной системе, ко второй – специально введенную конструктором избыточность с целью улучшения эксплуатационных характеристик.

К первой категории принадлежит, прежде всего, информационная избыточность, которая является следствием существования корреляционных связей между результатами измерения, полученных, например, в разных точках одного и того же диапазона измерительного преобразователя АСК, в разных диапазонах одного и того же преобразователя, в разных каналах преобразования информации АСК и т. д. Наличие важных корреляционных связей между результатами измерений позволяет сократить объем проверок при самоконтроле АСК за счет выбора для проверок таких точек, диапазонов и каналов АСК, которые имеют худшие показатели точности или надежности по сравнению с другими коррелированными связями, и изъятия из процесса самоконтроля остатка.

Например, ставится задача провести самоконтроль канала, в который входит аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) с функцией преобразования:

$$U_{\text{вых}} = (K \pm \Delta K) U_{\text{вх}} \pm A,$$

где $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вых}}$ – входная и исходная величины АЦП; K , ΔK – коэффициент передачи АЦП и его отклонение; A – систематическая погрешность АЦП.

Относительная погрешность АЦП определится следующим соотношением:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{U - U}{U} = \frac{KU_{\text{вх}} \pm \Delta KU_{\text{вх}} \pm A - KU_{\text{вх}}}{KU_{\text{вх}}} = \pm \frac{\Delta K}{K} \pm \frac{A}{U_{\text{вх}}}$$

Понятно, что в этом случае наиболее плохой показатель точности будет иметь нижняя точка диапазона преобразователя, так как, чем меньше значение $U_{\text{вх}}$, тем больше погрешность. Именно в этой точке и нужно проводить проверку преобразователя. В других точках результат будет не худший, поэтому проверку в других точках, учитывая ограниченные ресурсы самоконтроля, можно не проводить.

К первой категории относится также временная избыточность АСК, обусловленная более медленным протеканием процессов в объекте контроля по сравнению с процессами, которые протекают в АСК. Этот вид избыточности позволяет проводить самоконтроль наиболее ответственных функциональных устройств АСК в процессе контроля объекта. Например, проводить самоконтроль правильности считывания информации (самокон-

троль четности кодов), самоконтроль продолжительности отдельных операций, которые выполняет АСК, и др.

Характерными для АСК являются также аппаратная и функциональная избыточности, которые тоже принадлежат к первой категории.

Вторая категория объединяет в себе аппаратную, программную и прочие виды избыточности, которые преднамеренно вводятся конструктором с целью реализации самоконтроля работоспособности АСК, автоматического поиска мест неисправностей, автоматизированного обслуживания АСК и других вспомогательных режимов ее работы. На рис. 11.14 [53] приведена типичная структурно-информационная схема АСК, которая представляет собой совокупность стимулирующих и преобразующих каналов, наделенных определенной автономией своего функционирования и размещенных радиально относительно основного звена системы – устройства управления и обработки информации (УУОИ).

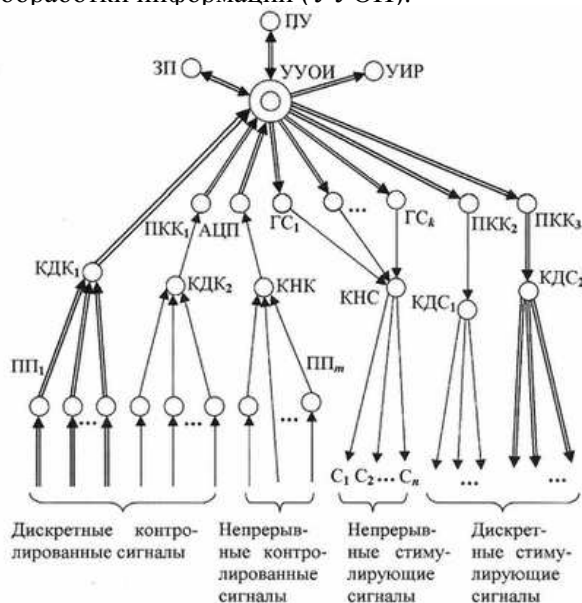


Рис. 11.14. Типичная структурно-информационная схема АСК

Указанное свойство позволяет последовательно формировать в АСК отдельные контуры контроля ее параметров путем внесения аппаратной избыточности в виде дополнительных связей между стимулирующими и преобразующими каналами АСК (непосредственно или через дополнительные преобразователи), а также с одновременным внесением программной избыточности в виде дополнительных ячеек памяти АСК для записи программ контроля этих параметров. Например, при соединении канала стимула C_i с m -м преобразующим каналом (см. рис. 11.14) и записывании в запоминающее устройство соответствующей программы, формируется довольно сложный контур контроля какого-либо i -го параметра самоконтроля АСК:

ЗУ – УУОИ – ГС₁ – КНС – ПП_м – КНК – АЦП – УУОИ – ЗП – УУОИ – УИР. Каждое из устройств АСК, которые сформировали этот контур, выполняет свои элементарные операции преобразования информации. Конечный результат преобразований, который является результатом самоконтроля i -го параметра, регистрируется устройством ПОР. [53]

Устройство управления и обработки информации (УУОИ) непосредственно связан с пультом управления (ПУ), запоминающим устройством (ЗУ), устройством индикации и регистрации (УИР), рядом вторичных преобразователей типа аналог-код (АЦП), код-код (ПКК₁, ПКК₂, ПКК₃), а также с генераторами стимулирующих сигналов (ГС₁, ГС₂, ..., ГС_н). На схеме изображены лишь информационные связи, сигналы управления не показаны, чтобы не затенять информационную сущность схемы. Двойными линиями показаны связи, которые реализованы в виде шин, которые предназначены для обмена параллельными кодами, одинарными линиями изображены одно-двухпроводные линии передачи сигналов. Для подачи сигналов от первичных преобразователей (ПП₁, ПП₂, ..., ПП_м), а также от генераторов стимулирующих сигналов (ГС₁, ГС₂, ..., ГС_н) и от преобразователей типа код-код (ПКК₂, ПКК₃) служат коммутаторы разных типов: коммутаторы дискретных контролируемых (КДК₁, КДК₂), коммутаторы непрерывных контролируемых (КНК) и непрерывных стимулирующих (КНС) сигналов, а также коммутаторы дискретных стимулирующих сигналов (КДС₁, КДС₂).

Устройство управления УУОИ, реализуя программу контроля, которая записана в запоминающем устройстве, последовательно формирует контуры контроля параметров объекта. Контуры состоят из одного или нескольких стимулирующих каналов, по которым на объект подаются соответствующие стимулирующие сигналы, и одного или нескольких преобразующих каналов, по которым от объекта поступают соответствующие сигналы (реакции) для их преобразования и обработки. Например, для контроля определенного параметра X изделия формируется стимулирующий канал УУОИ – ГС₁ – КНС и преобразующий канал ПП_м – КНК – АЦП – УУОИ. В преобразующем канале сигнал с параметром X сначала нормализуется первичным преобразователем ПП_м, после чего подается через коммутатор КНК на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Превращенная в цифровой код величина параметра X сравнивается в устройстве УУОИ с номинальным x_n и допустимыми (a и b) значениями, которые записаны в память устройства ЗУ. Результат сравнения является общей оценкой параметра – находится или не находится его значения в допустимой области, а также количественная оценка, которая выражается абсолютным числовым значением параметра или относительным значением – числом градаций. (Одна градация – определенная часть поля допуска, наиболее часто – одна шестнадцатая). Результат контроля присылается к устройству УИР для индикации и регистрации. Человек-оператор имеет возможность вмешаться в процесс контроля, действуя через пульт управления (ПУ).

Это простейший случай, когда определяющий параметр зависит только от одного стимулирующего и одного преобразующего канала. В общем случае определяющий параметр X может иметь более сложную зависи-

мость, в которой задействованы несколько стимулирующих и несколько преобразующих каналов или же несколько сигналов, которые приходится на один и тот же стимулирующий или преобразующий канал

$$X=F(S_1, S_2, \dots, S_n, R_1, R_2, \dots, R_m) \quad (11.3)$$

где S_i – i -й стимулирующий сигнал; R_i – i -й сигнал реакции; n, m – количество стимулирующих сигналов и сигналов реакций, которые принимают участие в контроле параметра X .

Например, такой параметр системы управления, как статический коэффициент передачи $K_{\text{пр}}$, имеет такую зависимость:

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_2 - R_1}{S_2 - S_1} / S_3,$$

где R_1, R_2 – сигналы напряжения из контрольного потенциометра руля, пропорциональные его отклонениям в правую и в левую сторону соответственно; S_1, S_2 – стимулирующие сигналы напряжения, которые вызвали указанные отклонения руля; S_3 – напряжение питания контрольного потенциометра.

В этом случае для контроля параметра $K_{\text{пр}}$ использованы три канала: два стимулирующие (канал входных сигналов S_1, S_2 и канал питания потенциометра с напряжением S_3) и один преобразующий с сигналами R_1, R_2 . Более подробный анализ ошибок, точности каналов контроля и достоверности самоконтроля представлены в работе [53].

Существует немало способов создания избыточных связей между стимулирующими и преобразующими каналами АСК при ее самоконтроле. К таким способам принадлежат следующие:

- применение избыточных каналов коммутаторов АСК, которые не используются во время контроля объекта;
- создание упрощенных имитаторов объектов контроля, которые подключаются к АСК вместо объектов;
- использование стандартной и нестандартной аппаратуры (генераторов, измерительных преобразователей, нормализаторов), которые подключаются к функциональным устройствам стимулирующих и преобразующих каналов АСК и др.

В основе перечисленных способов лежит использование какой-либо дополнительной аппаратуры для формирования контуров контроля параметров АСК. В простейшем случае эта аппаратура представляет собой набор перемычек, которые соединяют выходы стимулирующих каналов с входами преобразующих, в более сложных случаях – набор измерительных приборов.

Введение дополнительной аппаратуры в исходную структуру каналов контроля АСК и соответствующих программ ее работы позволяет получить ряд автоматических (автоматизированных) режимов работы АСК:

- самоконтроль функционирования АСК;
- самоконтроль работоспособности, в том числе самоконтроль метрологических характеристик АСК;

- режим регулирования параметров АСК при ее техническом обслуживании;
- поиск мест неисправностей и отказов АСК и т. д.

Применение указанных режимов работы сокращает сроки отладки и испытаний АСК в процессе ее изготовления, а также продолжительность проведения профилактических и восстановительных работ в процессе ее эксплуатации.

Примеры формирования таких избыточных связей изображенные на рис. 11.15, 11.16 [53].

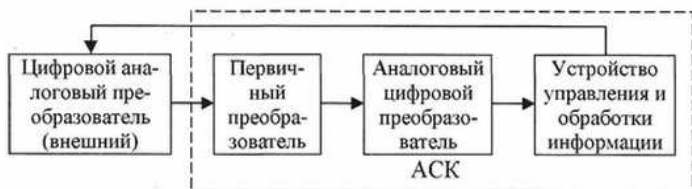


Рис. 11.15. Схема самоконтроля преобразующего канала АСК



Рис. 11.16. Схема самоконтроля стимулирующего канала АСК

В обоих случаях избыточные связи образованы с помощью внешних стандартных измерительных приборов, которые работают по командам, подаваемым устройством управления и обработки информации из состава АСК.

11.11.4. Самопоиск отказов автоматизированной системы контроля

Одним из направлений улучшения характеристик АСК является использование аппаратурно-программной избыточности для поиска мест собственных отказов.

Учитывая структуру и особенности АСК как сложной информационно-измерительной системы, рассмотрим применение к ней одного из методов самопоиска, известного в технической литературе как «метод пересечения сфер влияния» или «метод нахождения точки пересечения отрицательных результатов действия элементов системы».

Относительно АСК сущность метода состоит в том, чтобы последовательно формировать избыточные контуры самоконтроля, пересекающиеся в устройстве, которое проверяется, запоминать и анализировать результаты самоконтроля для установления факта неисправности этого устройства. Со-

ответственно программе самоконтроля проверяемое устройство поочередно подключается к другому устройству АСК, которое к тому времени выполняют функции проверяющего средства, хотя техническое состояние этих последних тоже неизвестно, известны лишь априорные (то есть доопытные) вероятностные характеристики их параметров.

В качестве математической модели метода возьмем теорему гипотез (формулу Байеса), в соответствии с которой апостериорная (то есть послеопытная) вероятность определенной гипотезы меняется при получении каждого результата эксперимента, связанного с этой гипотезой. Исследуем, как изменится эта вероятность после получения нескольких отрицательных результатов эксперимента.

Пусть работоспособное состояние j -го устройства (первичного преобразователя, стимулятора, вторичного преобразователя, стимулирующего, преобразующего канала и т. д.), которое подлежит проверке, определяется априорной вероятностью $P(R)$, а неработоспособного – вероятностью $P(Q)$. Очевидно, что

$$P(R) + P(Q) = 1.$$

Предположим также, что есть возможность последовательной проверки j -го устройства с помощью ряда других устройств АСК с известными априорными характеристиками. Отрицательные результаты проверок $y_1, y_2, \dots, y_n$ (где n – количество контуров, которые пересекаются в j -м устройстве) запоминаются и используются для определения состояния j -го устройства. Нужно найти значение вероятности неработоспособного состояния j -го устройства после получения n отрицательных результатов самоконтроля.

В случае получения первого отрицательного результата y_1 апостериорная вероятность неработоспособного состояния j -го устройства в соответствии с теоремой Байеса находится по формуле [21, 25, 51]:

$$P\left(\frac{Q}{y_1}\right) = \frac{P(Q)P\left(\frac{y_1}{Q}\right)}{P(Q)P\left(\frac{y_1}{Q}\right) + P(R)P\left(\frac{y_1}{R}\right)}, \quad (11.4)$$

где $P\left(\frac{y_1}{R}\right)$ и $P\left(\frac{y_1}{Q}\right)$ – условные вероятности получения отрицательного результата y_1 соответственно при работоспособном и неработоспособном состояниях j -го устройства, если оно проверяется в составе первого контура.

Анализ выражения (11.4) показывает, что $P\left(\frac{Q}{y_1}\right) > P(Q)$ в том случае, если имеет место такое неравенство:

$$P\left(\frac{y_1}{R}\right) < P\left(\frac{y_1}{Q}\right), \quad (11.5)$$

то есть тогда, если вероятность получения отрицательного результата y_2 для работоспособного устройства меньше, чем для неработоспособного, что в большинстве случаев так и есть.

При получении первого y_1 и второго y_2 отрицательных результатов самоконтроля апостериорная вероятность

$$P\left(\frac{Q}{y_1, y_2}\right) = \frac{P\left(\frac{y_1}{Q}\right)P\left(\frac{y_2}{Q}\right)}{P\left(\frac{y_1}{Q}\right)P\left(\frac{y_2}{Q}\right) + \left[1 - P\left(\frac{Q}{y_1}\right)\right]P\left(\frac{y_2}{R}\right)}, \quad (11.6)$$

где $P\left(\frac{y_2}{Q}\right)$ и $P\left(\frac{y_2}{R}\right)$ – условные вероятности получения результата y_2 для соответствующих двух состояний j -го устройства, если оно проверяется в составе второго контура.

Структура формул (11.4) и (11.6) аналогична, но в выражении (11.6) вместо априорной вероятности $P(Q)$ использована условная вероятность $P\left(\frac{Q}{y_1}\right)$, полученная в результате проведения первого эксперимента с отрицательным результатом. Для вычисления апостериорной вероятности, которая имеет место после проведения третьего эксперимента, используется условная вероятность $P\left(\frac{Q}{y_1, y_2}\right)$, полученная после первого и второго экспериментов и т. д. При получении n отрицательных результатов самоконтроля $y_1, y_2, \dots, y_n$ апостериорная вероятность неработоспособного состояния j -го устройства

$$P\left(\frac{Q}{y_1, y_2, \dots, y_{n-1}}\right) = \frac{P_{nQ}}{P_{nQ} + P_{nR}}, \quad (11.7)$$

где

$$P_{nQ} = P\left(\frac{Q}{y_1, \dots, y_{n-1}}\right)P\left(\frac{y_n}{Q}\right);$$

$$P_{nR} = \left[1 - P\left(\frac{Q}{y_1, \dots, y_{n-1}}\right)\right]P\left(\frac{y_n}{R}\right).$$

Если между членами выражений (11.6), (11.7) сохраняются соотношения, подобные неравенству (11.5), а именно:

(11.8)

$$P(Q) < P\left(\frac{Q}{y_1}\right) < P\left(\frac{Q}{y_1, y_2}\right) < \dots < P\left(\frac{Q}{y_1, y_2, \dots, y_r}\right) \quad (11.9)$$
$$y_1 \wedge y_2 \wedge \dots \wedge y_n \Rightarrow Q_i.$$

Структурная схема формирования группы из трех контуров самоконтроля для проверки стимулирующего канала, который подает напряжение переменного тока, показана на рис. 11.17. [53]

Сигнал стимулятора С1 подается сначала через коммутатор К3, устройство самоконтроля (УСК), коммутатор К4 на первичный преобразователь ПП1, что превращает амплитудное значение представленного сигнала в напряжение постоянного тока. Далее превращенный сигнал через коммутатор К1 подается на вход преобразователя «напряжение-код» (ПНК), а из его выхода - на устройство управления и обработки информации (УУОИ).

При этом формируется первый контур самоконтроля. Второй контур формируется при подаче сигнала стимулятора С1 через устройство УСК и коммутатор К5 на преобразователь ПП2, что превращает эффективное зна-

чение напряжения стимулятора в напряжение постоянного тока. Третий контур формируется при подаче сигнала стимулятора через устройство УСК на нормализатор ППЗ, а из него через коммутатор К2 – на преобразователь «частота-код» (ПЧК).

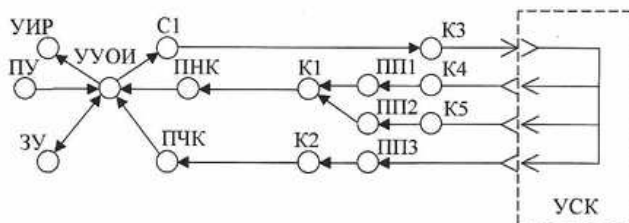


Рис. 11.17. Структурная схема формирования контуров самоконтроля стимулирующего сигнала

В сформированных таким образом контурах превращенные сигналы из выходов ПНК и ПЧК подаются на устройство УУОИ, где сравниваются с допустимыми значениями, записанными в запоминающем устройстве (ЗУ). Результаты сравнения устройство УУОИ отправляет в ЗУ для запоминания.

В случае получения отрицательных результатов по любому с трех рассмотренных контуров, устройство УУОИ подает команду в устройство индикации и регистрации (УИР) для фиксации номера стимулирующего канала С1, который по результатам самоконтроля признан неисправным.

Подобным образом проводится многоразовая проверка преобразующих каналов с использованием разных стимулирующих каналов, а при необходимости – с использованием дополнительных преобразователей.

Вследствие радиального характера структуры АСК большинство контуров самоконтроля проходят через его центральные устройства (УУОИ, ПНК, ПЧК и др.), благодаря чему автоматически обеспечивается их многоразовая проверка и возможность определения их как мест неисправностей АСК по большому количеству забракованных параметров самоконтроля.

Часто для поиска мест неисправностей в периферийных устройствах АСК приходится применять дополнительные преобразователи, которые не принимают участия в работе АСК во время контроля объекта, а используются лишь во время самоконтроля для согласования взаимной работы ее устройств.

Зарегистрированные результаты автоматического поиска неисправных устройств АСК используются обслуживающим персоналом для замены неисправных устройств исправными из состава запасного комплекта, вследствие чего сокращается продолжительность восстановления системы, то есть повышается ее готовность.

11.12. Эффективность контроля АСК

Достоверность является одной из основных характеристик контроля технического состояния машины. Достоверность – это комплексная характеристика контроля, которая зависит от многих факторов: точности измерения параметров, глубины контроля, надежности АСК и объекта контроля, законов распределения контролируемых параметров, выбранных допусковых границ и т. д. Но и эта интегральная характеристика контроля, несмотря на ее многогранность, не может претендовать на роль всеохватывающей. В частности, ею нельзя оценить влияние контроля на качество функционирования проконтролированных объектов.

Этот недостаток достоверности контроля как обобщающего показателя качества контроля обусловил необходимость введения более общей характеристики контроля, которую назвали эффективностью. Под эффективностью контроля чаще всего имеют в виду отношение эффективностей работы объекта при наличии и отсутствии его контроля. Такое определение позволяет рассматривать контроль как одну из операций технического обслуживания объекта, а достоверность контроля – как один из главных факторов, влияющих на эффективность работы объекта.

Эффективность контроля можно оценивать разными показателями в зависимости от того, какое качество контроля ставится на первый план. На практике применяют экономичные, временные, информационные и другие критерии эффективности контроля в зависимости от функционального назначения объекта. Рассмотрим два из них – технический и экономичный.

Эффективность работы объекта $E(t)$ определим как вероятность выполнения объектом поставленной задачи на должном уровне, за заданное время и в конкретных условиях. Этот показатель при отсутствии обслуживания является монотонно спадающей функцией времени. На рис. 11.18 [53] показано, как изменяется по времени эффективность объекта, который периодически проходит техническое обслуживание с использованием контроля. Неисправности объекта, выявленные во время контроля, немедленно устраняются, в результате чего эффективность скачкообразно возрастает, а затем снова монотонно спадает до следующего момента технического обслуживания, повторяющегося с периодом T .

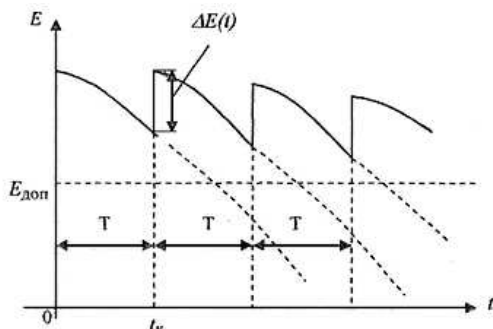


Рис. 11.18. Эффективность работы объекта, который периодически обслуживается с использованием контроля

Количественное значение эффективности для реальных объектов в процессе их выпуска с заводов-производителей и в процессе эксплуатации могут оказаться значительно меньшими от необходимой величины $E_{\text{доп}}$, вследствие чего и возникает необходимость периодического контроля тех-

нического состояния объекта и восстановление его эффективности путем проведения соответствующих ремонтно-профилактических мероприятий.

Выигрыш $\Delta E(t)$ в эффективности работы объекта, получаемый в результате его обслуживания, можно определить так [53]:

$$\Delta E(t) = E\left(\frac{t}{t_K}\right) - E(t), \quad t \geq t_K, \quad (11.10)$$

где $E\left(\frac{t}{t_K}\right)$ – эффективность работы объекта с учетом того, что в момент t_K было проведено его обслуживание; $E(t)$ – та же эффективность, если обслуживание не проводилось.

Этот выигрыш, показанный на рис. 11.18 в виде скачка эффективности работы объекта, является простейшей и натуральной оценкой эффективности обслуживания вообще.

Очевидно, что прирост эффективности, определенный по формуле (11.10), зависит не только от операции контроля. Но если допустить, что объем и качество ремонтно-профилактических работ, выполняемых после проведения контроля, будут фиксированными, то выражение (11.10) можно использовать в качестве критерия эффективности контроля.

На практике удобно использовать нормированный технический показатель эффективности, который определяется следующим соотношением:

$$E_{н.т} = \frac{E\left(\frac{t}{t_K}\right) - E(t)}{E_i\left(\frac{t}{t_K}\right) - E(t)}, \quad t \geq t_K, \quad (11.11)$$

где $E_{н.т}$ – нормированный технический показатель эффективности контроля; $E_i\left(\frac{t}{t_K}\right)$ – эффективность работы объекта после идеального (безошибочного) контроля.

При этом возможные значения критерия $E_{н.т}$ будут находиться в диапазоне от 0 до 1. Нулевое значение эффективности отвечает отсутствию контроля, а единица – идеальному контролю.

Относительная форма показателя эффективности позволяет сравнивать потенциальные возможности разных видов контроля. Очевидно, качество контроля тем выше, чем ближе значение показателя эффективности к единице.

Но критерий (11.11) имеет существенный недостаток, а именно: его тяжело рассчитать, поскольку найти функциональную зависимость этого критерия от конкретных характеристик системы объект-средство контроля – достаточно сложная задача. Поэтому идут на упрощение, выражая эффективность объекта через его надежность

$$E(t)=E_o(t)P(t), \quad (11.12)$$

где $E_o(t)$ – эффективность работы идеального объекта, надежность которого не зависит от операций контроля и обслуживания; $P(t)$ – вероятность работоспособного состояния объекта контроля.

Подставив выражение (11.12) в формулу (11.11), получим

$$E_{н.т} = \frac{P\left(\frac{t}{t_K}\right) - P(t)}{P_i\left(\frac{t}{t_K}\right) - P(t)}, \quad t \geq t_K, \quad (11.13)$$

Последнее выражение свидетельствует о том, что для оценки эффективности контроля можно использовать относительный выигрыш в надежности объекта, который достигается в результате использования контроля. Исходные данные для расчета этого критерия получить значительно проще, поскольку здесь речь идет о конкретной характеристике объекта – его надежности.

Апостериорная вероятность D_{Π} того, что объект действительно работоспособный, если в момент t_K получен результат контроля «пригодный», находится, как было показано, через риски производителя A и заказчика B , а также априорную вероятность P работоспособного состояния объекта контроля по формуле

$$D_{\Pi} = \frac{P - A}{P - A + B}.$$

Поэтому выражение $P_i\left(\frac{t}{t_K}\right)$ в формуле (11.13) можно записать так:

$$P\left(\frac{t}{t_K}\right) = \frac{P - A}{P - A + B} e^{\omega t}, \quad (11.14)$$

где ω – параметр потока неисправностей объекта контроля.

11.13. Метрологическое обеспечение

Метрологическое обеспечение АСК – это совокупность методов, средств и нормативной документации, предназначенных для поддержки точностных (метрологических) характеристик АСК в течение ее эксплуатации на уровне, обеспечивающем заданные показатели достоверности контроля. Нормативной базой метрологического обеспечения АСК являются стандарты государственной системы обеспечений единства измерений, отраслевые стандарты, стандарты предприятий, регламентирующие правила и положения метрологического обеспечения на всех стадиях жизненного цикла АСК. [53]

Основным требованием метрологического обеспечения АСК является требование обеспечения передачи единиц физических величин от государственных эталонов каждому параметру объекта контроля, измеряемому с помощью средств АСК. С целью проверки этого требования рекомендуется выстраивать метрологические цепочки для каждого параметра с последующим их анализом.

Графическое изображение метрологических цепочек для параметров объекта контроля приведено на рис. 11.19. [42, 53]

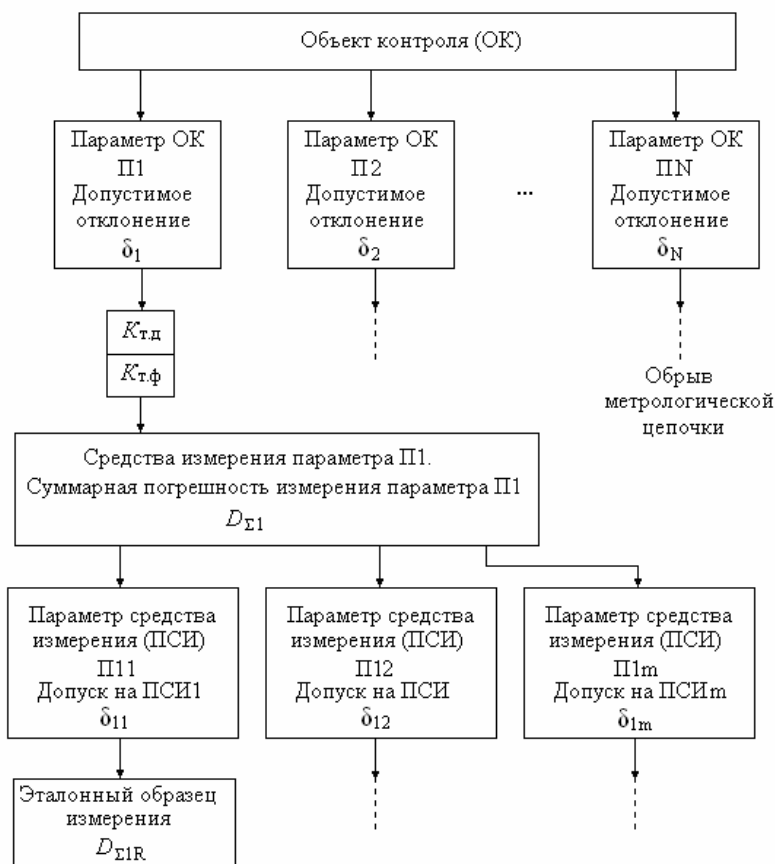


Рис. 11.19. Графическое изображение метрологических цепочек

Метрологическая цепочка представляет собой структурную последовательность метрологических звеньев, каждое из которых состоит из проверяющего средства и средства, подлежащего проверке.

В прямоугольниках второго ряда (сверху) указывают номера всех параметров объекта контроля, отклонение от нормы которых должно проверяться. Здесь же указывают допустимые величины отклонений δ_1 , δ_2 и т. д. Если параметр не контролируется, то есть не создано необходимых средств

для его контроля, такую цепочку обозначают надписью «обрыв метрологической цепочки».

Метрологическая цепочка, охватывающая контролируемый параметр объекта и средства его измерения (контроля), является первым звеном метрологической цепочки и характеризуется допустимым $K_{ТД}$ и фактическим $K_{ТФ}$ коэффициентами точности, которые отображают соотношения между допустимым отклонением параметра δ_l и суммарной погрешностью его измерения $D_{\Sigma l}$.

Метрологическое звено второго уровня охватывает средство измерения параметра П1 объекта контроля и эталонный образец. Штрихпунктирная линия между ними указывает на то, что между ними могут быть другие.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается системный подход к созданию АСК и АСУ автомобиля?
2. Какие основные задачи при создании автоматических систем контроля технического состояния автомобиля?
3. Какие бывают виды АСК?
4. Какая необходимость разработки модели объекта контроля и диагностирования?
5. Приведите этапы построения диагностической граф-модели объекта диагностирования.
6. Как определить полноту диагностической модели объекта диагностирования?
7. Приведите логическую функциональную модель объекта диагностирования.
8. Приведите пример построения матрицы неисправностей функционирования объекта диагностирования.
9. Как производится обеспечение контролепригодности автоматических электронных схем диагностирования?
10. Приведите пример определения характеристик кодирования неисправностей объектов диагностирования по OBD-II.
11. Приведите пример определения характеристик контролируемых сигналов объектов диагностирования по ГОСТ 19838-74.
12. Как осуществляется контроль работоспособности АСК?
13. Приведите пример алгоритма поиска и устранения неисправностей объекта диагностирования с использованием кодов OBD-II.
14. Какие общие требования предъявляются к программному обеспечению АСК?
15. Приведите пример алгоритма поиска неисправностей внешними устройствами диагностирования.
16. Какие условия реализации самоконтроля объекта диагностирования?
17. Зачем вводится избыточность признаков для самоконтроля автоматизированной системы контроля технического состояния объекта?
18. Как можно оценить эффективность АСК при контроле объекта диагностирования?
19. Как выбирают метрологическое обеспечение АСК?

12. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

12.1. Задачи и процесс прогнозирующего диагностирования

Прогнозирование технического состояния машин в жизненном цикле остается одной из самых сложных проблем диагностики.

Прогнозирование – определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Прогнозировать событие – значит предвидеть, предсказать будущее событие на основании изучения таких факторов, от которых оно зависит или которые ему сопутствуют. Научное прогнозирование основывается на изучении объективных закономерностей, которым подчиняются интересующие нас процессы и события. При этом используются две группы закономерностей: закономерности случайных событий или вероятностные (стохастические) и закономерности детерминированные.

Процесс прогнозирования позволяет определить:

- протекание процесса на протяжении будущего отрезка времени в конкретной размерности;
- ожидаемую вероятность того, что исследуемый процесс не выйдет за установленные допусковые границы;
- к какому классу по долговечности следует отнести исследуемый процесс.

В зависимости от прогнозируемых параметров и целевой направленности прогнозирования выбираются имеющиеся методы и математический аппарат.

При прогнозировании события можно выделить два характерных подхода к решению поставленной задачи:

- прогнозирование будущего состояния данного события на основании изучения закономерностей изменения данного события;
- прогнозирование будущего состояния данного события на основании изучения другого события (или группы других событий), связанного с данным.

Все сказанное о прогнозировании в общем плане имеет непосредственное отношение к прогнозированию технического состояния и надежности изделий.

Оценивая область, которую изучает техническая диагностика, рассмотрим три типа задач по определению технического состояния объектов.

К первому типу относится задача определения технического состояния, в котором находится объект в данный момент времени. Это – задача диагностирования. Задача второго типа – прогнозирование технического состояния, в котором окажется объект в некоторый следующий момент времени. Это – задача прогнозирования. К третьему типу относятся задача определения технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом. По аналогии можно сказать, что это – задача генезиса.

Задачу первого типа формально следует отнести к техническому диагностированию, а второго типа – к техническому прогнозированию. Тогда отрасль знания, которая должна заниматься решением задач третьего типа, следует назвать технической генетикой.

Существующие разновидности основных постановок задачи прогнозирования представлены в табл. 12.1. Наиболее часто используется (решается) прямое прогнозирование или обратная задача (обратное прогнозирование).

Успешность решения задачи прогнозирования зависит от ряда условий:

- объема и качества информации о прогнозируемом процессе;
- правильности формулировки задачи прогнозирования и обоснованности выбора метода ее решения;
- наличия вычислительных средств и вычислительного аппарата для решения задачи в соответствии с выбранным методом.

Отсутствие любого из этих условий может сделать невозможным прогнозирование.

Чтобы обосновать выбор того или другого метода прогнозирования, необходимо иметь возможность количественно оценить качество прогнозирования на основе данного метода. Каждый метод прогнозирования желательно сопровождать своим вполне определенным значением показателя качества, изменяющимся в зависимости от формулировки задач и условий ее решения. Но это чрезвычайно трудно. В каждом конкретном случае прогнозирования возможны различные методы и каждый из них характеризуется не одним показателем качества, а набором показателей, изменяющихся при изменении формулировки задачи и условий ее решения.

К числу наиболее важных **показателей качества прогнозирования** относятся:

- точность прогнозирования, которая характеризуется степенью соответствия величины, полученной в результате прогноза, и величины действительной;
- достоверность прогнозирования, которая совпадает с понятием достоверности оценки, полученной в результате прогнозирования;
- быстродействие прогнозирования, измеряемое затратами времени на процесс прогнозирования;
- стоимость прогнозирования, измеряемая затратами материальных средств на операцию прогнозирования;
- информационный показатель качества прогнозирования, который указывает, насколько увеличилась информация об исследуемом объекте;
- показатель плотности прогнозирования, который представляет собой отношение числа параметров, охваченных контролем, к общему числу параметров, определяющих работоспособность изделия;
- показатель эффективности прогнозирования, который показывает, насколько улучшились эксплуатационные характеристики исследуемого изделия в результате прогноза, и является обобщенным показателем качества прогноза.

Объем и качество информации, естественно, обуславливают успех прогнозирования. Информация о прогнозируемом объекте (процессе) получается из результатов контроля. Контроль может быть непрерывным, периодическим и однократным.

Таблица 12.1

Способы прогнозирования технического состояния

Способы	Процесс, характеризующий состояние
1. Прямое прогнозирование	В этом случае при аналитическом прогнозировании предполагают наличие связей. Данные получают из эксперимента или расчетным путем
2. Обратное прогнозирование	Идея обратной задачи заключается в определении времени $t_* = t^*$ (долговечности), когда информативная характеристика процесса $y(x, t)$ или вероятности $P(y)$ нахождения функции y в заданной области достигают предельных значений, задаваемых положенными ограничениями. Примерами решения обратных задач может служить определение долговечности, сроком профилактических работ, сроков выполнения контроля и т. п.
3. Прогнозирование вперед	В подавляющем большинстве практических случаев прогнозирование связано с определением состояния в последующие значения аргумента в области будущих моментов времени, то есть на основе предыстории определяется предстоящая ситуация
4. Прогнозирование в реальном времени	Этот способ соответствует задаче перспективного прогнозирования по множеству. В данном случае чаще всего осуществляют экстраполяцию (распространение) свойств выборки на свойство генеральной совокупности
5. Прогнозирование назад	В некоторых случаях требуется определить процесс в прошлом по информации, полученной в определенный интервал времени. Такие задачи возникают тогда, когда по техническим или другим причинам нельзя определить прогнозируемый параметр в явном виде. Отличие в решении подобных задач заключается в том, что необходимо переставить местами области $[0 \dots t_n]$ и $[t_{n+1} \dots t_{n+m}]$, при этом значение аргумента не возрастает, а убывает. Подобная постановка задачи имеет много сходства с генезисом и поэтому удобно назвать решение такого варианта задачи генетическим прогнозированием
6. Индивидуальное прогнозирование	В этом случае для получения прогноза экспериментально исследуется функция состояния допустимого значения индивидуального образца машины в области T_1 и осуществляется оценка поведения этой функции в области T_2 , причем $T_1 \cup T_2$
7. Групповое прогнозирование	При этом рассматривается целая группа однородных процессов целой группы технических изделий, получают и анализируются их статистические характеристики средних значений и элементов ковариационных матриц, полученные в области T_1 с целью обнаружения экстраполяционных связей, существующих между прошлым и будущим. Эти связи могут быть детерминированными, квазидетерминированными, вероятностно-детерминированными и т. п. При этом статистическая классификация рассматривается как «грубое» прогнозирование, аналитическое прогнозирование указывает на конкретную величину

Непосредственный перенос методов решения одних задач (диагности-

рование) на другие (прогнозирование) невозможно из-за различия моделей, с которыми необходимо работать: при диагностировании моделью обычно есть описание объекта, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса эволюции технических характеристик объекта во времени. В результате диагностирования каждый раз определяется не более, чем одна точка отмеченного процесса эволюции для современного момента (интервалу) времени. Однако хорошо организованное диагностическое обеспечение объекта хранит все предыдущие результаты диагностирования, что может дать полезную и объективную информацию, которая является предысторией (динамикой) развития процесса изменения технических характеристик объекта в прошлом, которое может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности.

В настоящее время существуют различные подходы к построению информативной системы признаков. Среди них особо следует выделить эвристический, информационный, статистический, вероятностный, нейросетевой подходы.

Классические статистические методы дают оптимальное решение задачи прогнозирования. Однако практическое применение этих методов возможно на основании опыта или если проведен специальный эксперимент по сбору и обработке статистических данных о прогнозируемом параметре и его признаках. В результате чего будут найдены подходящие аналитические модели условных многомерных плотностей распределения прогнозируемого параметра и признаков. Однако в реальных задачах исследователь сталкивается здесь с рядом проблем, поэтому реализовать классические статистические методы не всегда возможно [21].

В связи с изложенным представляет интерес применение методов решения задач прогнозирования, основанных на эвристических алгоритмах.

Эвристическим прогнозированием называют суждения о развитии и исходе событий на основе мыслительного взвешенного набора фактов, большая часть которых носит качественный характер. Смысл понятия «эвристический алгоритм» состоит в том, что в этом случае алгоритм прогнозирования не вытекает из строгих положений теории, а в значительной степени основан на интуиции и опыте исследователя.

Такие методы могут давать удовлетворительные результаты и при ограниченной информации о вероятностных характеристиках признаков и прогнозируемого параметра. Для применения этих методов необходимо иметь набор признаков, сильно коррелированных с прогнозируемым параметром, и необязательно знать вид их условных плотностей распределения. Естественно, методы индивидуального прогнозирования, основанные на использовании эвристических алгоритмов, в отличие от методов оптимального оценивания, не всегда приводят к оптимальным решениям. Однако для их применения на практике достаточно, чтобы ошибка прогнозирования не превышала допустимого значения, а этого можно добиться, например, подбором более информативных признаков, применением соответствующих способов улучшения оператора прогнозирования.

Техническое состояние изделия определяется значением техниче-

ских параметров, от которых зависит его работоспособность. Изменение этих параметров обычно вызывается многими причинами, поэтому исключается возможность установить однозначную связь между изменением параметра и причинами, вызывающими такое изменение.

Прогнозирование надежности, основанное на наблюдении прямых или косвенных прогнозирующих параметров, позволяет исследовать надежность конкретных изделий в процессе их работы. Это обстоятельство приобретает особую важность для изделий, которые изготавливаются в небольшом количестве экземпляров и выполняют ответственные функции. Для них может оказаться совершенно недопустимой ориентация на оценку надежности по числу зафиксированных отказов, так как главным требованием может быть предупреждение отказов.

Прогнозирование технического состояния и надежности можно осуществлять на различных стадиях создания и использования изделий: на стадии проектирования, производства и эксплуатации. На этих стадиях математические основы прогнозирования сохраняются общими, однако конкретные методики и алгоритмы различны.

При проектировании следует обосновать технические характеристики, которыми будет обладать будущее проектируемое изделие. Исходными данными являются предполагаемые характеристики проектируемого изделия, рабочие режимы и предполагаемые условия работы. Целевая направленность прогнозирования на этом этапе – создание конструкции, которая наилучшим образом удовлетворяет предполагаемым условиям работы.

В процессе создания изделия, его производства и доводки макетных, опытных и серийных машин, а также подготовки к эксплуатации и самой эксплуатации очень важно уметь определять его техническое состояние в данный момент времени. Эта задача решается средствами обычного технического контроля, позволяющего получать данные об измеряемых технических параметрах в момент их измерения.

С появлением технических систем, выполняющих ответственные функции, возрастает роль предвидения технического состояния в некоторый будущий отрезок времени, с тем чтобы можно было своевременно принять меры по предотвращению отказов. В процессе развития техники возникла задача управления техническим состоянием больших систем путем своевременного переключения на резерв, своевременного перехода на новые рабочие режимы и т. п. Но управлять без прогнозирования ожидаемого состояния нельзя. Таким образом новые этапы развития техники вызвали к жизни новую техническую проблему – проблему прогнозирования технического состояния.

Для изделий важно установить не только то, что они исправны в данный момент времени (в период контроля), но и то, что они будут продолжать оставаться исправными на протяжении некоторого будущего интервала времени эксплуатации. В дальнейшем оказалось, что прогнозирование технического состояния важно не только для периода эксплуатации, но и для периода проектирования изделий и для процесса производства [14, 24].

В процессе производства по результатам испытаний ограниченного

количества изделий (малых выборок, небольших продолжительностях и т. д.) делается предположение о технических характеристиках и работоспособности больших партий на больших временных интервалах. По результатам ускоренных испытаний делается прогноз о предполагаемом состоянии изделий в нормальных условиях. Таким образом в процессе производства также имеет место прогнозирование технического состояния изделий.

На стадии эксплуатации изделий исходными данными являются предполагаемые закономерности изменения технических параметров реального изделия. Целью прогнозирования технического состояния при эксплуатации является определение сроков исправной работы до появления предельного состояния, то есть своевременное предупреждение отказов и применение таких рабочих условий и обслуживания изделий, которые наилучшим образом отвечают задаче обеспечения заданной надежности и эффективности.

Необходимость прогнозирования определяется возможностью управления техническим состоянием автомобиля в целом на основе знания изменения его технического состояния в течении времени. Прогнозирование дает возможность наиболее полно использовать ресурс автомобиля и оптимизировать его обслуживание как восстанавливаемого объекта эксплуатации.

Неисправности и отказы в эксплуатации являются случайными событиями потому, что решения, принимаемые персоналом в отношении механизма, основаны на неполных данных о свойствах его деталей и конструкции (функциональных зависимостях), а также потому, что прогноз внешних воздействий, которым подвергнется механизм в будущем, не вполне достоверен. Неполные знания о функциональных зависимостях механизма и возможных воздействиях на него приводят к невозможности однозначного предсказания событий, которые произойдут в данном механизме (системе), и позволяют сделать об этих событиях лишь вероятностный прогноз.

Общий процесс технического диагностирования включает в себя:

- обеспечение функционирования объекта на заданных режимах или тестовое воздействие на объект;
- улавливание и преобразование с помощью датчиков сигналов, выражающих значения диагностических параметров, их измерение;
- постановку диагноза на основании логической обработки полученной информации путем сопоставления текущих значений параметров с нормативными.

Прогнозирование в эксплуатации – один из основных элементов технической диагностики. Под прогнозированием технического состояния автомобилей понимают определение срока его работоспособности или остаточного ресурса до возникновения предельного состояния, регламентированного нормативно-технической документацией. При диагностировании автомобиля важно знать не только его фактическое состояние, но и иметь прогноз его остаточного ресурса. Это позволяет наиболее рационально спланировать его дальнейшую эксплуатацию, предусмотреть ремонт и свя-

занные с ним затраты.

Уровень решения задач прогнозирования остаточного ресурса определяет эффективность диагностирования. Множество методов прогнозирования изменения состояния включает три основных группы методов: аналитического прогнозирования, вероятностного прогнозирования и статистической классификации. Существует также ряд модифицированных вариантов этих методов. Сведения обо всех этих методах прогнозирования составляют библиотеку методов.

Под остаточным ресурсом понимают наработку сопряжения, узла, агрегата после контроля до их предельного состояния, характеризуемого предельным износом, недопустимым ухудшением качества работы, снижением экономичности.

Результаты диагностирования узлов, агрегатов автомобиля могут быть использованы для предсказания изменения параметра конкретного элемента. При этом учитываются общие закономерности изменения этого параметра в зависимости от наработки автомобиля.

Задача технической генетики возникает, например, в связи с расследованием аварий и их причин, когда техническое состояние объекта в рассмотренное время отличается от состояния, в котором он находился в прошлом, в результате появления первопричины, которая вызвала аварию. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных предысторий, которые отображают действительное состояние объекта.

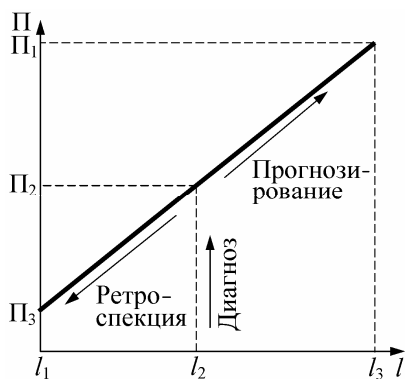


Рис. 12.1. Схема определения технического состояния объекта: в настоящее время – P_2 при наработке l_2 (диагноз); в будущем – P_1 , когда наработка будет l_3 (прогноз); в прошлом P_3 , когда наработка была l_1 (ретроспекция)

Оценку технического состояния объекта в прошлом (например, для выявления причины аварийного отказа, повлекшего дорожно-транспортное происшествие) называют ретроспекцией (рис. 12.1). Практические задачи прогнозирования или ретроспекции решают, пользуясь известными закономерностями изменений параметров технического состояния объекта в функции наработки (часов) или пробега (км) путем соответственно их экстраполяции или интерполяции. Результаты технической ретроспекции в конечном итоге помогают совершенствованию конструкции последующих аналогичных объектов и методов управления ими.

Прогнозирование остаточного ресурса работы позволяет управлять изменением износа, добиваться минимальных эксплуатационных издержек и полнее использовать ресурс автомобиля, выявить сопряжения, которые могут отказать в течение последующего периода работы, а также планировать объем работ по ТО и ремонту.

Определение остаточного ресурса работы проводят главным образом для тех элементов, срок безотказной работы которых определяет в целом межремонтный ресурс узла, агрегата или автомобиля. К таким элементам, например для механической системы двигателя, относятся цилиндропоршневая группа, кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы, система подачи топлива, шестерни и подшипники силовой передачи и др.

Особого внимания при прогнозировании требуют агрегаты, техническое состояние которых обеспечивает безопасность движения: тормозная система, рулевое управление, шины, подвеска, крепление колес, осветительные сигнальные приборы. Если параметры агрегатов и деталей, влияющих на безопасность движения, не достигли предельного значения, но не обеспечивают безотказной работы автомобиля до очередного ТО, то эти агрегаты подлежат техническому воздействию (замене, ремонту, регулировке).

Зная остаточные ресурсы агрегатов и узлов, можно варьировать срок предстоящего обслуживания, увеличивать или уменьшать объем выполняемых работ. При этом в ряде случаев возможно проведение промежуточного, целевого вмешательства, например при выполнении ТО-1. Решая эту задачу, следует учитывать такие факторы, как дефицитность запасных частей и материалов, наличие исполнителей и технических средств в отряде или части технической службы и т. д.

Действительно, анализ исправного состояния ТС позволяет установить степень работоспособности и момента перехода в область неисправного состояния, то есть позволяет прогнозировать состояние ТС. Таким образом, диагностирование и прогнозирование технического состояния тесно взаимосвязаны.

В технической диагностике прогнозирование состояния технических объектов основано на данных об изменениях, происходящих в объекте с течением времени под влиянием внешних воздействий и внутренних необратимых физико-химических превращений.

Картина физических изменений состояния технических объектов объясняет происхождение количественных изменений в объекте и возможный переход его в другое качественное состояние. С момента изготовления объекта в нем протекают процессы деградации, то есть работоспособность его постепенно ухудшается, причем скорость изменения работоспособности различна у электронных и механических объектов. Причинами отказов и процессов их возникновения в большинстве случаев являются деформация и механические разрушения материалов, нарушение электрической изоляции (пробой), тепловые разрушения элементов (перегорание, расплавление), износ поверхностей деталей и т. д.

Прогнозирование является частью автоматического контроля ручных, автоматизированных и автоматических систем диагностирования. Устройства прогнозирования, используемые в настоящее время в различных системах диагностирования, наиболее целесообразно рассматривать, распределив по группам методов прогнозирования, которые они реализуют.

При вероятностном прогнозировании технические средства решают

задачу экстраполяции стационарных и нестационарных процессов.

Задачи отбора и оценки информативных признаков технического состояния объекта диагностирования. В соответствии с ГОСТ 25044–81 одной из основных задач диагностирования машин является сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса или вероятности безотказной работы автомобилей в межконтрольный период.

К задачам технической прогностики относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначением периодичности его профилактических проверок и ремонтов. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных эволюций состояния объекта, начинающихся в данный момент времени.

Априорная информация, необходимая для постановки диагноза или прогноза, представляет собой те или другие данные о техническом состоянии одного s_0 или группы S_1 из m объектов в текущий момент времени t_0 . Эти данные получают или в результате одноразового (в момент времени t_0), или многократного (в течение периода времени T_1) диагностирования конкретных объектов.

Обозначив данные о техническом состоянии объекта символом T_C выделим четыре объема полученной априорной информации (табл. 12.2):

- $T_C(S_1, T_1)$ – группа из S_1 экземпляров объектов диагностировалась многократно в течение периода времени T_1 ;
- $T_C(s_0, T_1)$ – экземпляр s_0 объекта диагностировался многократно в течение периода T_1 ;
- $T_C(S_1, t_0)$ – группа S_1 экземпляров объекта диагностировалась однократно в момент времени t_0 ;
- $T_C(s_0, t_0)$ – экземпляр s_0 объекта диагностировался однократно в момент времени t_0 .

Таблица 12.2

Классификация задач прогнозирования и диагностирования

Объем априорной информации	Прогнозирование		Диагностирование	
	групповое	индивидуальное	групповое	индивидуальное
$T_C(S_1, T_1)$	ГП	ИП		
$T_C(s_0, T_1)$		ИП		
$T_C(S_1, t_0)$			ВК	
$T_C(s_0, t_0)$				КД

Примечание: ГП – групповое прогнозирование; ИП – индивидуальное прогнозирование; ВК – выборочный контроль; КД – «классическое» диагностирование.

Первая ситуация отвечает получению наибольшего, а четвертая – наименьшего объема априорной информации. Вторая и третья ситуации занимают промежуточное положение по объему информации, но между собой эти ситуации несравнимы.

Аналогично можно выделить четыре вида обработки априорной информации с целью определения: $T_C(S_2, T_2)$ – технического состояния группы

S_2 объектов в будущий период времени T_2 ; $T_C(s_0, T_2)$ – технического состояния одного экземпляра s_0 объекта в будущий период времени T_2 ; $T_C(S_2, t_0)$ – технического состояния группы S_2 объектов в текущий период времени t_0 , $T_C(s_0, t_0)$ – технического состояния одного экземпляра s_0 объекта в текущий период времени t_0 .

Из описанных четырех видов обработки априорной информации первые два отвечают задачам прогнозирования, а последние два – задачам диагностирования (см. табл. 12.2).

Априорные данные о технических характеристиках объекта можно получать от средств функционального и тестового диагностирования. Тем самым при достаточно «хороших» средствах функционального и тестового диагностирования и при условии организации накопления и обработки ими получаемой информации есть возможность в любой период времени жизненного цикла конкретного объекта иметь не только абсолютные фактические значения прогнозируемых интенсивностей отказов прогнозируемых параметров, но также и динамику их изменения, например, в виде кривых.

При наличии таких кривых можно эмпирически избрать критерий пригодности и выбрать его предельное значение, по достижении которого последующее использование данного объекта или невозможно (опасно), или не оправдано с точки зрения технико-экономических рассуждений. Удачный выбор критерия пригодности позволяет использовать его значение также для управления периодичностью тестового диагностирования (профилактики и ремонта) объекта.

Самыми простыми критериями пригодности могут быть, например, абсолютные значения или скорости изменения абсолютных значений интенсивностей отказов некоторых (прогнозируемых) параметров.

Наиболее трудными являются вопросы обоснованного выбора предельного значения критерия пригодности, а также выбор прогнозируемых параметров. Теоретически обоснованные ответы на эти вопросы удастся получить далеко не всегда и только для очень простых объектов. В большинстве случаев, однако, могут оказаться приемлемыми методы экспертных оценок.

Методы отбора и критерии оценки информативности диагностических признаков приведены на рис. 12.3.

Задача прогнозирования состояния технических объектов с помощью классификаторов может быть решена только в том случае, когда имеется в распоряжении набор классов состояний, которые нужно распознать по совокупности признаков или изменения значений диагностического параметра. При этом классы состояний должны быть связаны со степенью работоспособности, например, «хорошо», «допустимо», «требуется принятия мер», «недопустимо» или отрезком времени гарантирования сохранения работоспособности объекта диагностирования (см. рис. 8.6, 8.7, 8.8) [14, 54, 55].

Условия целесообразности прогнозирования при диагностировании объекта непрерывного действия определяются законными показателями безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности и организацией

целесообразности его (прогнозирования) выполнения.

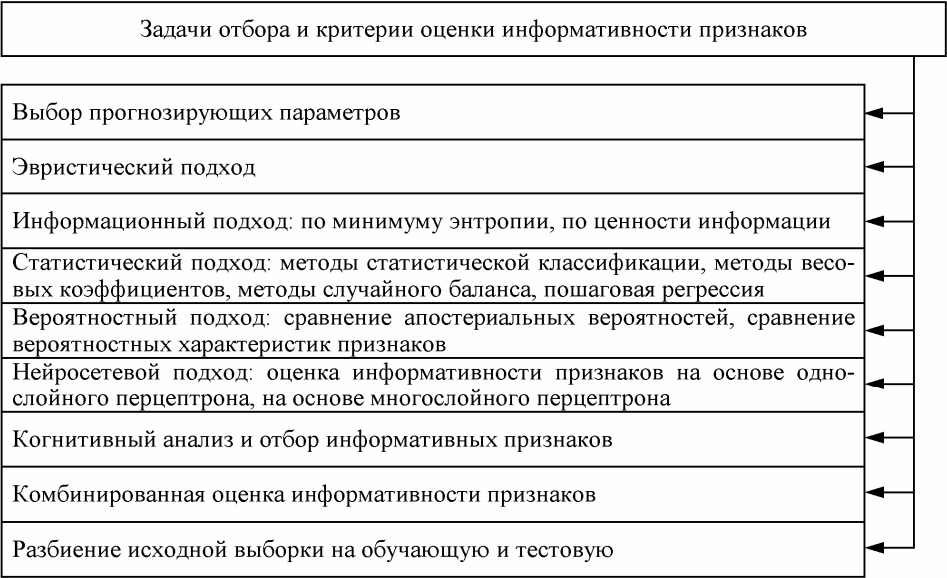


Рис. 12.2. Определение информативных признаков

Задача достоверного и устойчивого измерения значений прогнозирующих параметров, то есть выбора и обработки диагностической модели является типичной для теории и практики измерения. Специфическими для технического прогнозирования являются задачи построения и обработки модели с целью получения прогноза, а также задачи выбора прогнозирующих параметров. Для решения задачи выбора совокупностей прогнозирующих параметров не существует формализованных методов. Даже для простых объектов прогнозирующие параметры выбираются интуитивно на основе знания функциональных, структурных, физико-химических и других свойств конкретных машин с учетом условий эксплуатации и т. п.

Таким образом, практическая реализация теоретически строгих постановок задач прогнозирования технического состояния машин встречается с трудностями и ограничениями. Этим, по-видимому, объясняется медленное внедрение методов и средств прогнозирования в практику.

Априорные данные о технических характеристиках объекта можно получать от средств функционального и тестового диагностирования. Тогда при условии организации накопления и обработки выдаваемой ими информации имеется возможность в любой период времени жизненного цикла конкретного экземпляра машины иметь не только абсолютные фактические значения интенсивностей отказов и прогнозирующих параметров, но также динамику их изменения, например, в виде кривых.

При наличии таких кривых можно эмпирически выбрать критерий годности и назначить его предельное значение, по достижении которого

дальнейшее использование данного экземпляра машины либо невозможно (опасно), либо не оправдано по технико-экономическим соображениям. Удачный выбор критерия годности позволяет использовать его значения также для управления периодичностью тестового диагностирования (то есть профилактики и ремонта) машины. Это и будет реализацией индивидуального прогнозирования технического состояния машины и тем самым обслуживания ее по фактическому состоянию.

Простейшими критериями годности могут быть, например, абсолютные значения или скорости изменения абсолютных значений интенсивностей отказов или некоторых прогнозирующих параметров.

Наиболее трудным является выбор предельного значения критерия годности, а также выбор прогнозирующих параметров. Теоретически обоснованные ответы на эти вопросы удается получить только для очень простых машин. В большинстве случаев, однако, могут оказаться приемлемыми методы экспертных оценок [21, 25, 40].

Прогнозирующее диагностирование. Сбор, накопление, переработка и доставка информации о техническом аварийном состоянии автомобиля требуют затрат времени, что приводит к запаздыванию в выдаче управляющих решений и, следовательно, к снижению их эффективности. Существует два способа устранения этого недостатка:

- увеличить скорость прохождения информации;
- использовать прогнозирование на основе необходимых данных.

Оба способа применяют при создании системы диагностирования объектов.

Задача прогнозирования технического состояния формулируется следующим образом: по наблюдению реализации случайных процессов изменения показателей качества функционирования на определенном интервале времени предсказать значение реализации в некоторый будущий момент времени. Для решения этой задачи составляют алгоритмы обработки наблюдаемых реализаций параметров, дающих их экстраполированное значение.

Реализация диагностирования содержит следующие этапы: выбор существенных параметров для прогноза; выбор и составление моделей прогноза; определение и назначение технических средств, обеспечивающих измерения и наблюдение за выбранными показателями; оценка эффективности выбранных средств; корректировка ранее выбранных параметров и состава технических средств.

Структурная схема прогнозирующего диагностирования показана на рис. 12.3.

СТД выполняет следующие задачи: оценивает изменение диагностирующих параметров и сравнивает их с предельными значениями и при необходимости включает аварийную сигнализацию; определяет и прогнозирует техническое состояние; выдает рекомендации обслуживающему персоналу на ремонт и регулировку.

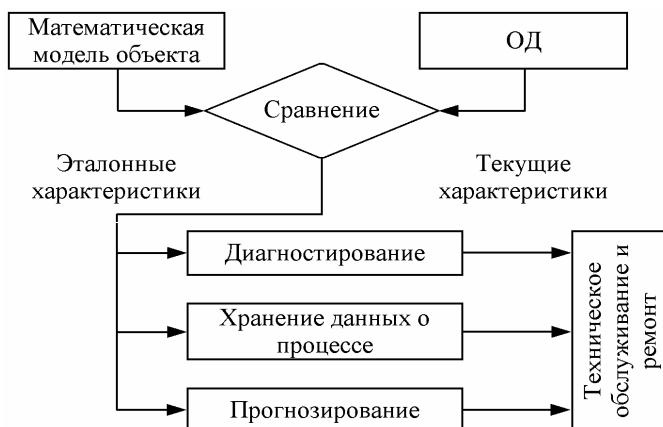


Рис. 12.3. Структурная схема прогнозирующего диагностирования

12.2. Методы, критерии и этапы прогнозирования остаточного ресурса

12.2.1. Классификация методов прогнозирования

Прогнозирование – одна из основных задач технической диагностики. Основная цель прогнозирования – установление сроков безотказной работы составных частей машины на предстоящий интервал времени.

Прогнозирование технического состояния может определяться с заданной вероятностью интервала времени, в течении которого сохраняется работоспособное (исправное) состояние объекта, или вероятностью сохранения работоспособного состояния объекта на заданный интервал времени.

Необходимость прогнозирования определяется возможностью управления техническим состоянием автомобиля в целом, если известны изменения технического состояния.

Методы прогнозирования разделяют на три основные группы:

- метод экспертных оценок, суть которых сводится к обобщению статистической обработки и анализа мнений специалистов;
- метод моделирования, который основывается на основных положениях теорий подобности и состоит из формирования модели объекта исследований, проведения экспериментальных исследований и пересчета полученных значений из модели на натурный объект;
- статистические методы, в которых широко используется метод экстраполяции. В его основе лежат закономерности изменения прогнозируемых параметров во времени. Для описания этих закономерностей подбирают по возможности простую аналитическую функцию с минимальным количеством переменных.

Методы диагностирования рассмотрены в работах [14, 21], методы оценки и прогнозирования ресурса машин приведены на рис. 12.4, а общая схема прогнозирования – на рис. 12.5. Приведенная классификация методов

(см. рис. 12.4) не является общей.

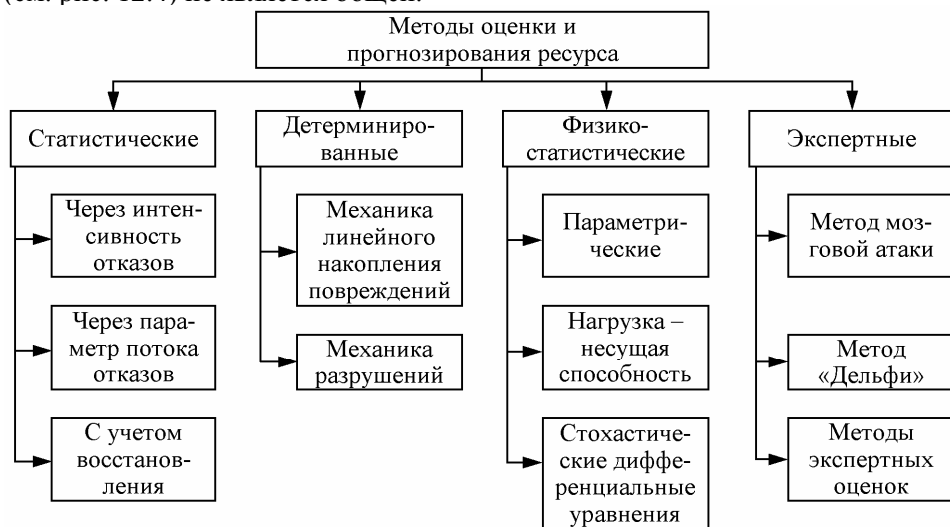


Рис. 12.4. Классификация методов оценки и прогнозирования ресурса

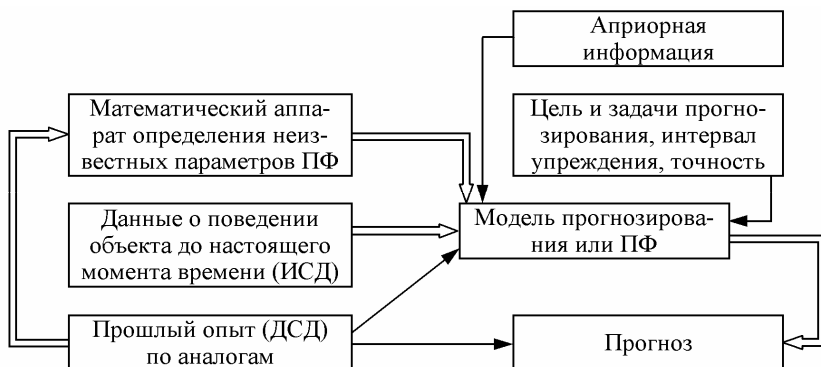


Рис. 12.5. Схема прогнозирования:

⇐ – вычислительные процедуры; ← – исследовательские операции

Общей классификации методов прогнозирования пока нет; тем не менее для таких технических объектов, как автомобиль, следует рассматривать три группы методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов: статистический, прогнозирование по реализации и экспертных оценок (рис. 12.6, 12.7), которые в ряде случаев обогатились полезными модификациями [40, 56].

Сущность основных методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов автомобиля определяются информационным и процедурным характером. Так, статистические методы основаны на принципе аппроксимации имеющихся статистических данных, полученных в результате реализации процесса изнашивания, которые используются при выборе

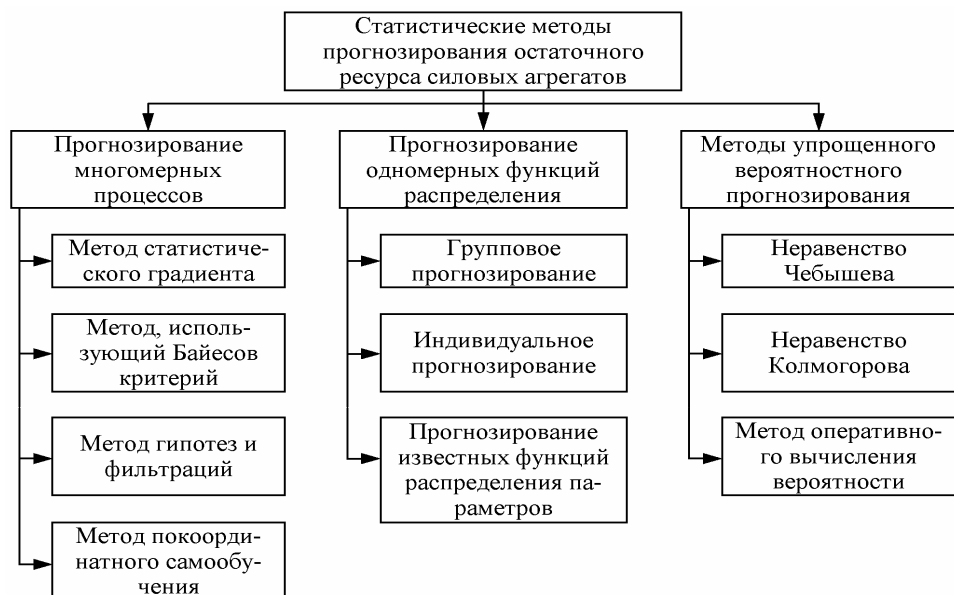


Рис. 12.6. Классификация статистических методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов



Рис. 12.7. Классификация методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов по реализации

аппроксимирующих функций для описания характера изменения структурных (диагностических) параметров при наличии данных об их непосредственной реализации. Прогнозирование остаточного ресурса силовых агрегатов производится на основе аппроксимации статистическими методами измерений функциональных параметров. В данном случае речь идет о прогнозировании остаточного ресурса деталей или сопряжений силовых агрегатов по диагностическим параметрам на основе установления статистической взаимосвязи между структурными и диагностическими параметрами.

Прогноз по диагностическими параметрам возможен при наличии двух видов информации: информации о связи между структурными и диагностическими параметрами; информации о статистических моделях изменения во времени диагностических (структурных) параметров.

По способу реализации прогнозирования можно разделить на две группы (см. рис. 12.7):

- методы прогнозирования, основанные на экстраполяции тенденций изменения технического состояния силовых агрегатов. Назовем такие методы прямыми;

- методы прогнозирования, где в качестве исходного пункта берется не только значение отдельных параметров, но также учитывается влияние внешних условий на систему в целом. Назовем такие методы системными.

В настоящее время наиболее разработаны прямые методы прогнозирования. Прогнозирование по этим методам основано на переносе изменения технического состояния агрегата, имевшегося в недалеком прошлом, на будущее. К ним относятся различные модификации методов, возникшие в связи с особенностями эксплуатации силовых агрегатов. Кроме того, для пользования прямыми методами требуется незначительное количество данных о наработке и изменении технического состояния агрегатов, узлов. Эти методы обладают более достоверными результатами при малом времени упреждения, когда не предвидятся существенные изменения во внешних условиях работы узла, агрегата.

За последнее время прямые методы прогнозирования подвергались существенной критике. Чисто временная экстраполяция, которую дает прямой метод, весьма сомнительна, так как математическая модель отражает лишь внешнюю формализованную картину общего воздействия всех факторов на интенсивность изнашивания узла, агрегата и не дает представления о характере взаимодействия их причин [14, 21, 40].

Для оценки прямых методов прогнозирования решающим является применение на основе теории соответствующих процессов и их внутренних закономерностей.

Непрерывные изменения диагностических параметров силового агрегата в функции наработки выражают реализациями. Реализации аппроксимируют соответствующими уравнениями, отражающими связь данного параметра с наработкой. Пользуясь этими уравнениями, экстраполируют ресурс силового агрегата во времени или по пробегу.

Необходимость статистического прогнозирования многомерных процессов определяется сильным влиянием внешних условий эксплуатации, а

также технических и эксплуатационных факторов, имеющих случайный характер. В этом случае преобладание случайной составляющей при изменениях диагностических (структурных) параметров приводит к большим случайным изменениям значений остаточного ресурса. К этой группе методов можно отнести методы: статистического градиента; метод, использующий Байесов критерий; гипотез и фильтрации; покоординатного самообучения.

Прогнозирование изменений одномерных функций распределения остаточного ресурса целесообразно, когда влияние помехи и преобладание случайной составляющей при изменении диагностического параметра приводит к необходимости анализа не отдельных значений диагностического параметра, а их совокупности. В эту группу можно отнести такие методы: группового прогнозирования, индивидуального прогнозирования и прогнозирования известных функций распределения параметров.

Для ориентировочного, предварительного или оперативного прогноза могут использоваться методы упрощенного статистического прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов. Эти методы можно выделить также в отдельную группу и определить их как методы прогнозирования искомой вероятности при неизвестных функциях распределения. К этой группе можно отнести такие методы: неравенство Чебышева, неравенство Колмогорова, метод оперативного вычисления вероятности [40].

Закономерности изменения параметров с необходимой точностью могут быть описаны целой рациональной функцией n -го порядка.

Системные методы позволяют проводить системный анализ прогнозируемых процессов, внешних условий и прогностически овладеть случайными процессами. Выявление динамического характера поведения систем позволяет учесть при постановке прогноза не только внешние воздействия (внешние помехи), но и внутренние. Эти воздействия обнаруживают ряд взаимосвязанных внутренних возможностей, на которые реагирует система в целом, а отдельные элементы этой системы случайно реализуют ту или другую из этих возможностей. Следовательно, с помощью системного метода возможно разрабатывать прогнозы, охватывающие внутреннее и внешнее распределение случайностей. Этот метод приводит к предсказанию векторов состояния, окружающих распределение вероятностей.

При классификации математических методов параметрического прогнозирования технического состояния объектов диагностирования выделяют три больших класса: экстраполяция, моделирование и опрос экспертов. Наиболее распространены в настоящее время 15-20 методов. В зависимости от классификационных признаков для целей прогнозирования технического состояния автомобиля эти методы можно представить в следующем виде (табл. 12.3). Для решения задач прогнозирования остаточного ресурса оборудования наибольший интерес представляют методы, которые рассматриваются в признаке «форма представления количественных результатов», «вид информации о прогнозируемых процессах» и «применяемый аппарат» [57].

Прогнозирование остаточного ресурса по результатам диагностирования позволяет с заданной вероятностью предсказать техническое состояние

в будущем с учетом влияния на ресурс всех факторов – эксплуатационных, конструктивных и производственных. Определение остаточного ресурса позволяет успешно управлять работоспособностью машин, периодичностью ТО, межремонтным ресурсом, расходом запасных частей и эксплуатационными затратами.

Таблица 12.3

Классификация методов прогнозирования

Признак классификации	Метод прогнозирования
Информационное обоснование метода	Фактографический, экспертный комбинированный
Принцип обработки информации	Статистический, метод аналогий, опережающий
Полнота результатов прогноза	Прогноз: предупреждающий, разрешающий, командный
Форма представления количественных результатов	Прогноз: аналитический, вероятностный, альтернативный, прямой, обратный
Значение интервала упреждения	Прогноз: оперативный, краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный
Вид информации о прогнозируемых процессах	Прогноз: индивидуальный, групповой, одномерный, многомерный
Применяемый аппарат	Экстраполяция и интерполяция, регрессия и корреляция, факторные модели, опрос и анализ, генерация идей, игровые модели
Критерий качества прогнозирования	Обобщенный показатель качества, векторный показатель качества, частный показатель качества

Диагностирование и прогнозирование технического состояния тесно взаимосвязаны и вместе с состоянием в прошлом (ретроспекция) составляет **три этапа полного цикла прогнозирования:**

- исследование прогнозируемого процесса в прошлом, в анализе характера прошедших изменений его показателей с целью разработки динамической модели этого процесса;

- определение текущего состояния объекта по выбранным критериям (допускам, номинальным, предельным и допускаемым значениям параметра) и выбор метода прогнозирования;

- прогнозирование изменения параметров технического состояния (в будущем), в том числе остаточного ресурса, которое базируется на динамической модели процесса и результатах диагностирования.

На рис. 12.7 приведена классификация методов диагностирования, а на рис. 12.8 – методы диагностирования.

При прогнозировании остаточного ресурса машин работы по всем трем этапам должны быть обязательно выполнены.

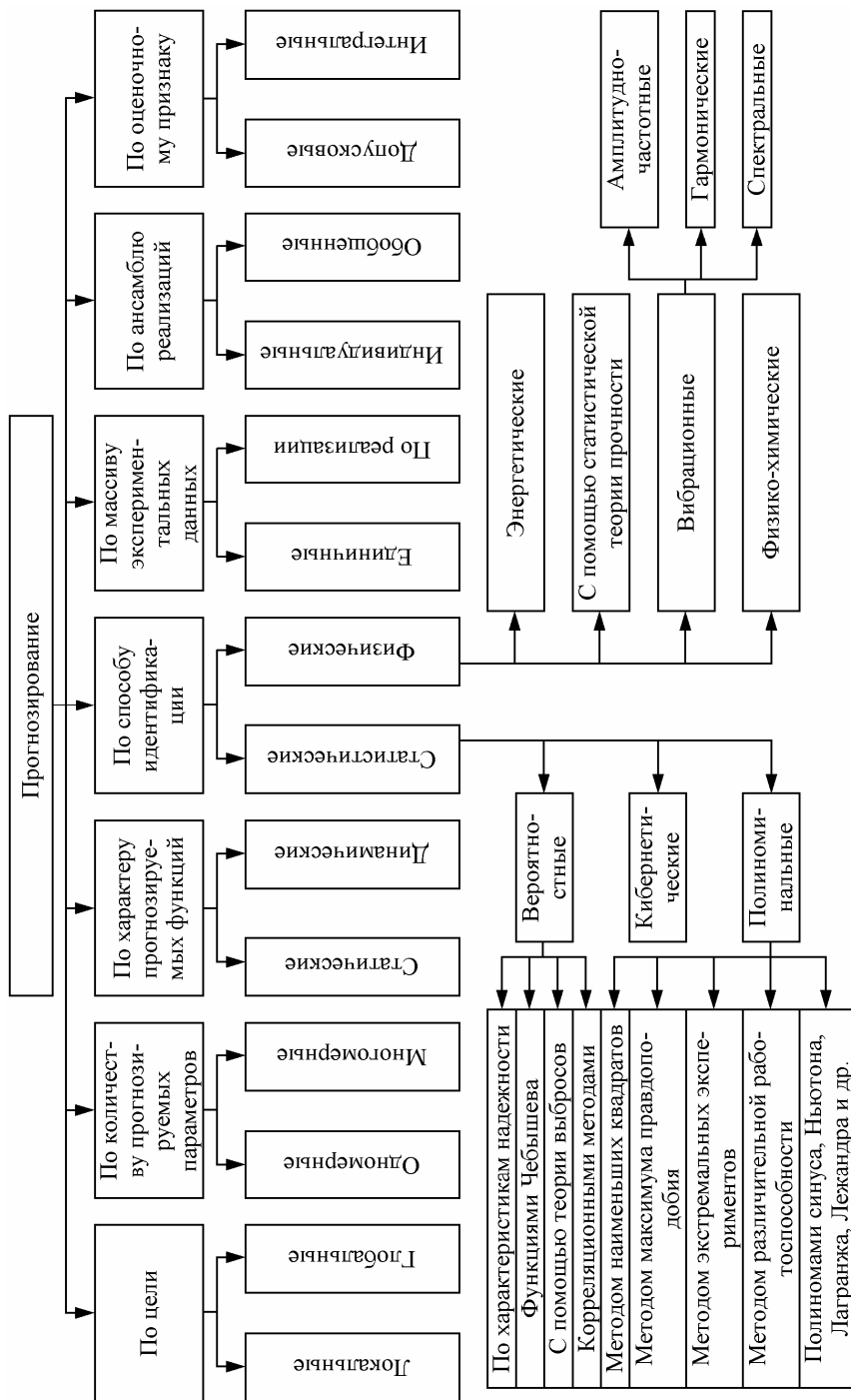


Рис. 12.8. Классификация методов прогнозирования

12.2.2. Критерии и методы прогнозирования остаточного ресурса

Прогнозирование остаточного ресурса предполагает известными закономерности достижения диагностическим или структурным параметром предельного значения и критерии технического состояния. Последние делят на технические и экономические критерии.

В качестве **технических критериев**, например, используют величины постепенного износа, изменение геометрических форм шейки (втулки, вала, диска), утечку газов, расход масла, разрежение и другие физические параметры.

Экономические критерии характеризуют удельные затраты на поддержание работоспособности ТС в эксплуатации.

Во всех случаях необходима экстраполяционная прогнозирующая модель в виде математической формулы, графика или таблицы, характеризующих динамику развития процесса.

Оптимальный остаточный ресурс – это прогнозируемый период работы, в течение которого диагностируемая составная часть может проработать без замены при условии минимальных издержек, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом.

Предельный остаточный ресурс – это прогнозируемый период работы составной части, при котором издержки, связанные с устранением отказа, равны издержкам на предупредительное обслуживание (ремонт).

Оптимальный и предельный остаточные ресурсы, так же как и ресурс с доверительной вероятностью, находят по действительной закономерности изменения параметров состояния объектов диагностирования.

При определении оптимального и предельного остаточных ресурсов учитывают экономические характеристики удельных издержек – затрат на единицу выполненной работы или наработки. К экономическим характеристикам относятся издержки A , связанные с устранением отказа, и издержки C на предупредительное восстановление. В издержки A входят издержки C , а также издержки на транспортирование, дополнительные ремонтные работы и потери от простоя машины за время устранения отказа.

Отношение

$$A/C = A_0 - \text{это}$$

один из исходных показателей (вместе с σ , α и отношением $I(t_H)/I_{\Pi}$) при определении оптимального и предельного остаточных ресурсов, где $I(t_H)$ – изменение параметров состояния к моменту диагностирования (после наработки t_H), ед. измерения параметра; I_{Π} – предельное изменение параметра состояния, ед. измерения параметра.

Значение A_0 всегда больше единицы, потому что при устранении отказа все издержки на разборочно-сборочные работы относятся на одну отказавшую составную часть с учетом потерь от простоя машин (например, для тракторов – 3-4 грн/час, для комбайнов до 12 грн/час). Поэтому, чем больше A_0 , тем меньше (при прочих одинаковых показателях) оптимальный и предельный остаточные ресурсы. Это обусловлено тем, что выгоднее своевре-

менно заменить составную часть (предупредить отказ), нежели нести потери от возможного отказа.

Оптимальный остаточный ресурс определяют в том случае, если $A_0 > 1,1$. Предельный остаточный ресурс определяют при решении вопроса о возможности использования составной части до следующего одноименного технического обслуживания.

Если вычисленный предельный остаточный ресурс окажется не менее наработки между одноименными техническими обслуживаниями, то составная часть может эксплуатироваться до очередного одноименного технического обслуживания с последующим уточнением времени ее дальнейшего использования.

Методы моделирования основываются на основных положениях теории подобия и состоят из формирования модели объекта исследования, проведения экспериментальных исследований и перечисления полученных значений из модели на натуральный объект.

Из статистических методов самое широкое применение нашел метод **экстраполяции**. В его основе лежат закономерности изменения прогнозируемых параметров во времени. Для описания этих закономерностей подбирают как можно более простую аналитическую функцию с минимальным количеством переменных.

Наиболее распространенными являются методы статистического моделирования, согласно которым в качестве базовых материалов используют результаты технической диагностики. В этом случае прогноз нужно рассматривать как вероятностную категорию.

В проблеме, которая рассматривается, важнейшим является прогнозирование остаточного ресурса. Самым простым приближенным методом его реализации является линейное прогнозирование, когда изменение параметра в зависимости от наработки считают линейным.

Физико-статистические методы при оценке ресурса учитывают как влияние разнообразных физико-химических факторов, способствующих развитию деградационных процессов в конструкционных материалах оборудования, так и действующих эксплуатационных нагрузок. Причем несущая способность и эксплуатационные нагрузки анализируются с позиций математической статистики. Как показал опыт использования физико-статистических моделей для оценки и прогнозирования ресурса оборудования модели этого класса дают наиболее адекватные практике эксплуатации результаты.

Суть **методов экспертных оценок** сводится к обобщению, статистической обработке и анализу мнений специалистов. Экспертные методы оценки и прогнозирования ресурса связаны с ограничениями в выборе экспертов и их субъективностью. Вместе с тем, если в качестве групп экспертов используются специалисты различной квалификации и опыта работы (эксплуатационный и ремонтный персонал, конструкторы, технологи), и одновременно проводится независимая экспертиза в конструкторском бюро и на предприятии-поставщике, то экспертный опрос может дать весьма интересные результаты для оценки и прогнозирования ресурса.

Очевидно, что основная ценность эвристического подхода, основанного на экспертных оценках, заключается прежде всего в быстром получении результатов при минимальных затратах. При этом трудно утверждать о высокой точности результирующих оценок по сравнению с аналогичными, но полученными с использованием математических методов (в том числе вероятностно-статистических). Однако при достаточно корректной постановке экспертизы и грамотной обработке ее результатов можно утверждать, что экспертные оценки вполне адекватно отражают исследуемую ситуацию и исчерпывающе отвечают на многие вопросы, возникающие при оценке и прогнозировании ресурса.

Так как каждая группа методов оценки и прогнозирования ресурса имеет свои преимущества и недостатки, то применять их необходимо в комплексе, сравнивая и анализируя полученные результаты. И только после такого анализа возможен научно-обоснованный вывод о значении остаточного ресурса объекта диагностирования.

Определение количественных значений показателей надежности объектов (в том числе и ресурса) по ГОСТ 27002-89 ориентировано на оценку генеральной совокупности, то есть гостированные показатели надежности имеют статистический, групповой характер. Многие годы ряд ученых отстаивает следующую точку зрения: для высокоответственных, опасных для обслуживающего персонала и населения и дорогостоящих объектов главный показатель – индивидуальная надежность. Отражением этого мнения является появление в РД 50-650-87 кроме статистических показателей индивидуальных показателей надежности объектов: безотказная наработка, ресурс, срок службы. Поскольку индивидуальное прогнозирование ОР относится к конкретному объекту, а прогноз неизбежно содержит элементы вероятностного характера, то возникает вопрос об истолковании вероятностных выводов применительно к индивидуальной ситуации. Понятие индивидуальных показателей надежности, в конечном счете, представляет собой математическую формализацию интуитивных представлений (экспертных оценок). Это определяет важность правильного использования при прогнозе различных видов информации. Каждой группе методов оценки и прогнозирования ресурса объектов автомобиля присущи трудности (неопределенности), связанные с малым объемом информации.

Неопределенности при прогнозировании ресурса объектов по эксплуатационным данным (статистике отказов). Наиболее ценной информацией для оценки ресурса оборудования являются статистические данные реальной эксплуатации. Для определения показателей по эксплуатационным данным (статистике отказов) применяют два метода:

- непараметрический – при неизвестном законе распределения наработки до отказа (ресурса, срока службы, срока сохраняемости), который включает непосредственную оценку показателей надежности по выборочным данным;

- параметрический – при известном законе распределения параметров, входящих в расчетную формулу определяемого показателя надежности, а оценку показателя надежности – по вычисленным оценкам параметров за-

кона распределения.

Выполнить достоверное прогнозирование можно только в том случае, когда известны условия, в которых будут использовать технический объект: режимы использования, характер нагрузки, внешние факторы (температура, влажность и т. п.). Чем больше физических процессов, являющихся причинами деградации объекта, тем сложнее характер изменения работоспособности, тем труднее осуществить точное прогнозирование. Однако изменения параметров, случайные для одного объекта, носят устойчивый статистический характер для группы объектов, причем статистическую устойчивость характеризует явно выраженная тенденция монотонности и плавности, что служит одной из решающих предпосылок для осуществления прогнозирования.

Для решения задачи прогнозирования рассматриваемое время разделяют на два интервала: T_1 – интервал наблюдения за состоянием объекта, T_2 – интервал, на котором осуществляют прогнозирование. Естественно, чем больше T_1 , тем достовернее прогноз, поскольку с увеличением T_1 возрастает объем информации о прогнозируемом процессе. Однако увеличение интервала наблюдения приводит к дополнительным затратам, связанным с выполнением длительного эксперимента или дополнительной обработкой данных, характеризующих состояние объекта. В связи с этим на практике стараются по возможности сократить T_1 . Период наблюдения может предшествовать или совмещаться с использованием объекта по назначению.

Научное предвидение представляет распространение (экстраполяцию) известных выводов, полученных из наблюдения над одной частью явления, на другую часть его. Точность прогноза зависит от того, какой закон подвергается экстраполяции и насколько правильно и точно он осознан [64].

Задача прогнозирования изменения состояния технического объекта может быть решена методами экстраполяции или классификации.

При прогнозировании методом экстраполяции изменения состояния технического объекта определяют значения детерминированных или вероятностных характеристик процесса изменения состояния объекта на основе данных, получаемых на участке наблюдения.

Процедура прогнозирования состоит из анализа результатов наблюдения, построения аналитического выражения, связывающего результаты наблюдения, и собственно экстраполяции с помощью полученного выражения. При прямой экстраполяции в процессе прогнозирования предполагают, что условия, которые были при наблюдении, в дальнейшем остаются неизменными или изменяются по известному закону.

Погрешности прогнозирования при экстраполяции складываются из погрешностей при фиксации результатов наблюдения, погрешностей, допускаемых при построении прогнозирующего выражения, и погрешности, вносимой изменением условий в область наблюдения (на интервале T_2).

При прогнозировании изменения состояния технических объектов, не смотря на вероятностный характер процессов изменения состояния, используя экстраполяцию, решают как детерминированные, так и вероятностные задачи.

При прогнозировании методом классификации необходимо обнаружить общие черты в различных объектах, их систематизировать, сформировать классы и отнести измеренные значения к классу известных. В этом случае приходится решать две задачи: во-первых, построить множество классов; во-вторых, необходимо оценить признаки и по результатам оценки отнести объект прогнозирования к тому или иному классу.

Решение первой задачи требует обработки большого объема статистических данных, получаемых в период эксплуатации и использования технических объектов или выполнения специальных экспериментов. Возможность формирования классов во многом зависит от удачного выбора диагностических признаков. Эти признаки должны достаточно полно характеризовать протекание процессов, приводящих к потере работоспособности объекта, и их оценка с требуемой точностью не должна представлять больших трудностей. Успех в решении второй задачи во многом определяется точностью отнесения объекта по результатам оценки к известному классу, характеризующему определенной тенденцией изменения состояния объекта с течением времени.

При использовании классификации в целях прогнозирования изменения состояния технических объектов применяют методы с обучением и без обучения. Классификацию с обучением осуществляют в два этапа: на первом (обучение) формируют обучающую выборку, отбирают информативную совокупность показателей и строят классифицирующее правило; на втором этапе осуществляют непосредственную классификацию объектов по состоянию. При выборке небольшого объема информативные показатели выбирают методами перебора показателей, регрессионного анализа и информативной нормализации. При выборке большого объема используют методы выделения вторичных признаков, которые являются комбинациями исходных показателей. Для построения классифицирующих правил применяют методы статистических решений, потенциальных функций, построения эллипса рассеивания, обобщенных портретов, многопараметрическую классификацию и др.

Решение задачи прогнозирования позволяет для конкретного технического объекта:

- выявить узлы объекта, работоспособность которых существенно изменится в ближайший отрезок времени, и своевременно подготовить запасные или резервные узлы для замены;
- обосновать количество запасных деталей или узлов и объем ЗИПа на весь период использования объекта;
- определить сроки профилактических работ, направленных на повышение работоспособности объекта.

12.2.3. Аналитическое прогнозирование

Методы экстраполяции, используемые для определения величины прогнозируемой переменной, называют аналитическими или методами аналитического прогнозирования.

При выборе математического аппарата для решения задачи аналитического прогнозирования необходимо предварительно определить прогнозируемые признаки. Техническая сложность оценки из-за большого количества элементов приводит к тому, что при разработке диагностического обеспечения стараются выбрать минимум (в пределе – один) диагностических признаков, обеспечивающий требуемую достоверность прогнозирования изменения состояния объекта.

Выбранные показатели должны быть чувствительны к изменениям, которые происходят в элементах, входящих в объект диагностирования, то есть любая наметившаяся тенденция изменения состояния составляющих элементов должна отражаться на поведении выбранного диагностического признака. В частности, такими показателями будут коэффициент передачи, коэффициент усиления, характеристики обратных связей и т. д.

Рассмотрим постановку задачи прогнозирования. Для простоты будем считать, что работоспособность объекта определяется одним параметром Π . В этом случае прогнозирование работоспособности рассматривают как прогнозирование изменения функции $\Pi(t)$, значения которой измеряют дискретно или непрерывно на интервале времени $T_1 = [t_0, t_n]$. В результате имеются значения этой функции $\Pi(t_0), \Pi(t_1), \dots, \Pi(t_i), \dots, \Pi(t_n)$ на интервале T_1 (рис. 12.9).

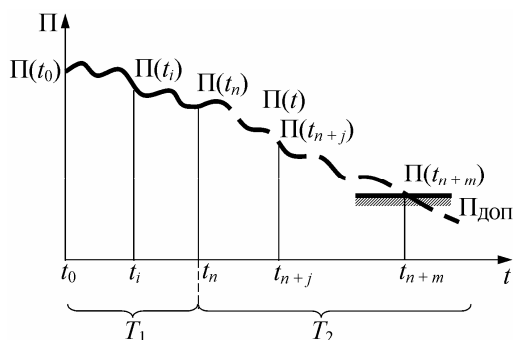


Рис. 12.9. Аналитическое прогнозирование

Необходимо по известным значениям $\Pi(t_i)$ определить значения функции $\Pi(t)$: $\Pi(t_{n+1}), \dots, \Pi(t_{n+j}), \dots, \Pi(t_{n+m})$ в будущие моменты времени $t_{n+1}, \dots, t_{n+j}, \dots, t_{n+m} \in T_2$. Это прямая задача. Обратная задача предполагает определение числа шагов прогнозирования m , через которые значения $\Pi(t_{n+j}), t_{n+j} \in T_2$ достигнут допустимого уровня $\Pi_{\text{доп}}$.

Идеальным случаем решения задачи будет адекватное описание изменения функции $\Pi(t)$ каким-либо аналитическим выражением. Ввиду сложности нахождения таких выражений по дискретным точкам $\Pi_i(t_i)$ целесообразно определить наилучшую структуру аналитического выражения, а при прогнозировании конкретной функции $\Pi(t)$ – менять базовые элементы, входящие в это выражение.

Методы экстраполяции применяют также для случайных процессов. При этом вместо нахождения значений функции внутри или вне отрезка наблюдений определяют функцию по исходным значениям случайного процесса с точки зрения удовлетворения выбранному критерию оптимальности. Критерием оптимальности может служить средняя квадратическая ошибка отклонения искомой аппроксимированной функции от случайной.

Для решения задач прогнозирования остаточного ресурса следует применять простые, но универсальные и достаточно точные методы, учитывающие основные экономические факторы. Это методы прогнозирования по среднему статистическому изменению параметра технического состояния нескольких однотипных агрегатов и среднему квадратическому отклонению этого изменения и по реализации параметра одного конкретного элемента.

При прогнозировании большое значение имеет выбор аппроксимирующей случайной функции, достаточно полно отражающей процесс изменения контролируемого параметра.

В теории прогнозирования основное внимание уделяется детерминированной и вероятностной частям.

Поскольку изменение параметров технического состояния элементов машин в большинстве случаев определяется вероятностными критериями, математические основы прогнозирования их остаточного ресурса базируются на теориях случайных функций.

Однако учет всех показателей (вероятность безотказной работы, максимальный срок службы, максимально допустимое время простоя машины на ТО и ТР) значительно усложняет прогнозирование, тем более, что зачастую некоторые из этих показателей накладывают противоречивые требования. Поэтому при прогнозировании остаточного ресурса машин достаточно, выбрать и использовать один универсальный показатель, например экономический – минимум издержек на единицу наработки. Кроме указанных работ по трем основным этапам прогнозирования остаточного ресурса необходимо выполнять значительные работы по нахождению вероятных издержек, связанных с отказами, техническими воздействиями для поддержания агрегата в работоспособном состоянии, проведением диагностирования и т. д. Важнейшей из них является определение функции вероятности по основному параметру технического состояния и среднего фактического ресурса по предельному состоянию отдельных узлов. Качество получаемых функций, определенных на основе анализа и экстраполяции изменения параметра изделия до предельного значения, определяет результативность всей работы по прогнозированию остаточного ресурса.

Выводы об изменении параметра в будущем делают на основе изменений в прошлом. Число данных об изменении параметра в прошлом предопределяет точность прогноза. Информация об изменении параметра в прошлом может быть получена как для совокупности узлов, так и для отдельных деталей.

Реально существующие процессы можно разделить на детерминированные (поддающиеся точному расчету индуктивными методами), стационарные случайные процессы и нестационарные случайные процессы.

В детерминированных процессах случайные процессы малы и они могут быть заранее точно рассчитаны. Законы изменения этих процессов могут быть выражены в виде аналитических функций.

Прогнозирование детерминированных процессов выполняют с «помощью интерполяций (нахождения значений функции внутри отрезка наблюдения). В этом случае сначала выявляют аналитическое выражение ис-

следуемой функции, а затем осуществляют прогнозирование. Для прогнозирования детерминированных процессов при условии небольшого времени упреждения используют интерполяционный полином Лагранжа. Когда имеется мало информации о контролируемой функции, применяют метод наименьших квадратов. В виде эмпирических зависимостей используют:

- дробно-линейную $y = ax/(b + x)$,
- степенную $y = ax^b$,
- показательную $y = ab^x$,
- логарифмическую $y = a \ln(bx + c)$ и др.

Как правило, детерминированные методы дают весьма консервативные оценки ресурса автомобиля.

Теория прогнозирования остаточного ресурса включает в себя совокупность правил и способов определения характеристик изменения ресурса и времени этого процесса. Она изучает зависимость ресурса от других параметров технического состояния. Теория прогнозирования является частью автоматического контроля.

Теоретическую задачу прогнозирования можно рассмотреть на следующем примере (рис. 12.10). Пусть на изменение технического состояния объекта оказывают влияние факторы $\bar{x}$, а также случайные и внутренние помехи $\bar{y}$.

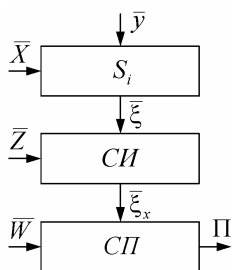


Рис. 12.10. Однолинейная схема прогнозирования:

S_i – объект прогнозирования;
СИ – средства измерения;
СП – средства прогнозирования

Принимаем, что прогнозирующие параметры объекта ε существенно зависят от $\bar{x}$ и помех $\bar{y}$ и позволяют предсказать будущее состояние объекта T_c . При измерении параметров возможны погрешности измерений $\bar{z}$, поэтому вектор истинных значений ε становится вектором $\bar{\varepsilon}^x \pm \bar{\varepsilon}$. Результаты прогнозирования также зависят от погрешности прогнозирования. Таким образом, техническое состояние T_c объекта зависит от нескольких случайных аргументов $T_c = t(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W})$. Последняя зависимость в общем виде практически и является моделью процесса прогнозирования.

В основу развития теории предсказания положено изучение, анализ и обобщение предыдущих сведений. Чтобы правильно предсказать, надо знать состояние процесса и характер его изменения.

Очень важным обстоятельством с точки зрения диагностики является тот факт, что можно прогнозировать изменение какого-либо параметра, не прибегая к его непосредственному измерению, а используя косвенные данные (признаки), характеризующие контролируемый параметр.

Теоретически задание прогнозирования ставится следующим способом. На техническое состояние объекта влияют факторы (вектор $\bar{X}$ на рис. 12.10), которые определяют необратимые процессы деградации физико-химических свойств этого объекта (старение, изнашивание и др.), а так-

же случайные внешние и внутренние препятствия, вектор $\bar{Y}$). Для измерения избрана совокупность ξ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) параметров объекта (вектор $\bar{\xi}$), относительно которых считается, что они существенно зависят от $\bar{X}$ и позволяют (при определенных средствах прогнозирования, которые реализуют алгоритм прогнозирования) предусматривать будущее техническое состояние T_C объекта. Эти параметры называют прогнозирующими. На значение прогнозирующих параметров в общем случае налагаются помехи $\bar{Y}$. При измерении параметров возможны погрешности измерения (вектор $\bar{Z}$), в результате чего вместо вектора $\bar{\xi}$ верных значений получают вектор $\bar{\xi}^* \neq \bar{\xi}$. На результаты прогнозирования, возможно, влияют погрешности прогнозирования (вектор $\bar{W}$). Таким образом, будущее техническое состояние объекта T_C зависит от нескольких случайных векторных аргументов:

$$T_C = f(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W}) \quad (12.1)$$

Зависимость (12.1) является моделью процесса прогнозирования.

Вероятностный характер этой модели определяется тем, что аргументы $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ и $\bar{W}$ являются случайными функциями. Получить зависимость (12.1) в явной аналитической форме для любых сложных объектов практически невозможно. В связи с этим используют разные приемы упрощения как самой модели, так и процедур ее обработки. До этих приемов нужно разделение общего задания прогнозирования на две самостоятельные задачи:

- задача измерения прогнозирующих параметров, когда работают с моделью вида

$$\bar{\xi}^* = \varphi_i(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (12.2)$$

- задача получения прогноза (результата прогнозирования) по модели вида

$$T_C = \psi(\bar{\xi}^*, \bar{W}). \quad (12.3)$$

Однако и при таком разделении трудности разработки практических и эффективных методов прогнозирования для сложных объектов остаются значительными.

Наиболее простою была бы явная аналитическая модель вида

$$T_C = f_x(\bar{X}), \quad (12.4)$$

в которой отсутствует зависимость будущего технического состояния от случайных препятствий и погрешностей. Стремясь к «идеальной» модели (12.4), применяют разные способы математической обработки моделей вида (12.2) и (12.3) с целью уменьшения зависимости окончательных результатов измерения прогнозирующих параметров прогноза от случайных функций $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ и $\bar{W}$. Эти способы заключаются, главным образом, в сглаживании случайных процессов применением операторов сглаживания, таких, как

операторы математического ожидания, текущего среднего, экспонентного приглаживания и др. Для применения операторов приглаживания необходимо знать характеристики случайных сглаживающих процессов, например, вероятности появления величин $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ и $\bar{W}$, интервалов сглаживания и др., что связано с необходимостью получения и обработки больших объемов априорной информации, что практически не всегда возможно.

Аналитическое представление модели (12.3) затруднено даже в том случае, когда известны значения прогнозирующих параметров ξ^* в прошлые периоды времени $t \in T_1$, заданы диапазоны их допустимых значений и можно пренебречь погрешностями $\bar{W}$. Задание выбора описания процесса изменения во времени рабочей точки (конца вектора ξ^*) в области допустимых значений прогнозирующих параметров, то есть выбора модели процесса эволюции технического состояния объекта прогнозирования, остается всегда.

Относительно просто прогноз может быть получен градиентным или операторным методами, когда процесс эволюции может быть описан линейной, или так называемой центральной детерминированной моделью, что, однако, не всегда допустимо в реальных ситуациях.

Задача достоверного и стойкого измерения значений прогнозирующих (как и любых других) параметров, то есть выбора и обработки модели (12.2), является типичной для теории и практики измерения. Специфической для технического прогнозирования является задача построения и обработки модели (12.3) с целью получения прогноза, а также задача выбора прогнозирующих параметров. Для решения задачи выбора совокупности прогнозирующих параметров не существует формализованных методов. Даже для простых объектов прогнозирующие параметры выбираются интуитивно на основе знания функциональных, структурных, физико-химических и других свойств конкретных объектов с учетом условий эксплуатации и т. п.

Выбор и измерение прогнозирующих параметров не является необходимым, потому что при прогнозировании в конечном итоге интересует только зависимость (12.4), где $\bar{X}$ представляет факторы, которые определяют необратимые изменения в объекте прогнозирования. Однако установить функциональную связь в явном виде между техническим состоянием объекта T_C и факторами $\bar{X}$ в общем случае невозможно. Более того, измерение значений вектора $\bar{X}$ достаточно важно, если это вообще возможно. Поэтому связь (12.4) устанавливается опосредствовано через зависимость (12.2) путем измерения прогнозирующих параметров, если считается, что их значения изменяются со временем через влияние факторов $\bar{X}$ и потом через зависимость (12.3), экстраполируя значение прогнозирующих параметров на будущие периоды времени.

Таким образом, практическая реализация теоретически строгих постановок задачи прогнозирования технического состояния сложных объектов сталкивается с трудностями и ограничениями.

12.3. Разработанные методы прогнозирования технического состояния машин

12.3.1. Методы линейного прогнозирования

В связи со сложностью определения влияния разбросов исходного технического состояния, режимов и условий эксплуатации, качества вождения и технического обслуживания прогнозирования технического состояния становится затруднительным.

Метод линейного прогнозирования до последнего времени был наиболее широко применяемым и не утратил своего значения как один из вариантов оценки ресурсов. Этот метод простой в применении. Суть его заключается в том, что условия эксплуатации принимают неизменными, а зависимость изменения диагностического параметра по времени работы – линейной. Близкие к «чистому» виду линейные процессы изнашивания могут наблюдаться в машинах высокого уровня (класса) проектирования и технологии производства первого и второго класса вибрации (см. рис. 2.1, 2.2) при стабильных назначенных режимах эксплуатации машин.

При линейном прогнозировании необходимо одно измерение. В этом случае проводят прямую по двум точкам исходного значения диагностического параметра и измеренного значения. В этом случае невозможно установить как изменялся в прошлом параметр (ускоренно, медленно или равномерно) [14].

В результате двух измерений диагностического параметра закономерность изменения величины параметра определяют уже по трем точкам (третья точка – начальная).

Линейный метод прогнозирования можно использовать при выполнении ТО-1 и ТО-2 с целью определения приблизительного срока проведения регулировочных работ или ремонта отдельных агрегатов.

Такие методы прогнозирования, как двухальтернативный, параболического интерполирования, экстраполяционный, градиентный, метод Бокса-Вильсона, метод обобщенного параметра по существу являются вариантами прямых методов прогнозирования.

Формула для линейного прогнозирования имеет вид [14]:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{н}} \frac{K_{\text{ост}}}{K_{\text{исп}}}, \quad (12.5)$$

где $K_{\text{ост}}$ и $K_{\text{исп}}$ – коэффициенты остаточного и использованного ресурса, $t_{\text{н}}$ – наработка с начала эксплуатации.

Для использования линейного метода прогнозирования требуется значительно меньше данных о наработке и изменении параметров с момента начала эксплуатации автомобиля (силового агрегата), чем при всех других способах. Сущность этого метода в том, что закономерность показателя изменения параметра рассматривается по закону убывающей скорости изменения, в связи с чем линейная экстраполяция процесса на некоторый промежуток времени дает величину остаточного ресурса всегда несколько

меньше действительной.

Достоверность диагностирования линейным методом прогнозирования технического состояния зависит от технического уровня проектирования машины (см. рис. 2.1, 2.2) и вида деградации элементов конструкции (см. подраздел 2.2), длительности наблюдения за изменением диагностических параметров. Для технического уровня проектирования Д достоверность использования линейного метода прогнозирования технического состояния на стадии безопасного ресурса (см. рис. 2.10) всегда будет высокой и снижается по мере исчерпания ресурса (см. зону ОР рис. 2.10).

Погрешности прогнозирования могут быть вызваны недостаточной полнотой информации, ее неоднородностью, низкой точностью измерительных инструментов и приборов, несовершенством диагностического оборудования, малой точностью математической модели, низкой квалификацией прогнозиста и др. Допустимые границы погрешности определяются нужной точностью прогнозирования. Прогнозирование остаточного ресурса, изменение прочности достигается увеличением периода наблюдений за изменением диагностического параметра с увеличением наработки. Экономическую оценку прогнозирования делают на основе затрат материальных средств на исследование за весь период прогнозирования. Эффективность прогнозирования определяют по изменению показателя надежности в результате внедрения тех или иных средств ее повышения.

12.3.2. Методы прогнозирования по среднему статистическому измерению

Несмотря на случайный характер изменений и рассеивание ресурса одноименных элементов, скоростей изменения значений параметров их состояния и других показателей, протекание этих параметров не хаотично, а имеет определенные закономерности. При достаточно большом количестве статистических и экспериментальных данных и их обработке, можно установить законы и величины изменения параметров состояния механизма в каких-то пределах (отклонениях) от средней величины. Эти закономерности устанавливают на основании статистической обработки и анализа данных, полученных в процессе производства и эксплуатации машин. По полученным результатам устанавливают рациональную периодичность планового обслуживания элементов машин и решают задачи прогнозирования их технического состояния.

Среднестатистическое прогнозирование основано на статистической обработке и анализе средних результатов, полученных в процессе разработки, производства и эксплуатации машин, и последующем установлении единых допускаемых значений параметров состояния и единой периодичности обслуживания для одноименных составных частей однотипных машин. При этом исходят из необходимости обеспечения допускаемого уровня безотказной работы, минимума суммарных удельных издержек на техническое обслуживание и устранение отказов, безопасности, качества работ и др. [14].

Применение среднестатистического прогнозирования требует установления единой периодичности планового технического обслуживания для всей совокупности одноименных составных частей однотипных машин, что в значительной мере упрощает планирование и организацию их технического обслуживания и ремонта. В этом одно из основных преимуществ такого вида прогнозирования.

При среднестатистическом прогнозировании известны v_x и t , поэтому по формуле линейной модели

$$\Pi(t) = \Pi_0 \pm v_x t, \quad \Delta\Pi = v_x t, \quad (12.6)$$

можно рассчитать среднее значение времени наработки до момента отказа, то есть предельного значения изменения диагностического параметра. В формуле $\Delta\Pi$ – изменение параметра; t – время работы объекта; Π_0 – значение исходного (номинального) параметра; v_x – коэффициент, который характеризует скорость изменения параметра. Знак «плюс» используется для возрастающей функции, а «минус» – для убывающей.

Учитывая, что скорость

$$v_x = f(v_1, v_2, \dots, v_x),$$

то есть зависит от v_i – скорости каждой i -й реализации, то скорость изменения параметра также характеризуется своей плотностью вероятности $f(v_x)$. Здесь приведена возрастающая функция, но характер формирования отказа не изменяется и для убывающей функции.

Для приближенного исследования этого случайного процесса изменения $\Pi(t)$ можно использовать линейную модель (12.6).

В соответствии с ГОСТ 21571-76 эксплуатационные изменения параметра $\Pi(t)$ с увеличением наработки t есть сумма двух случайных величин

$$\Pi(t) = \Pi_0 + v_x t^\alpha, \quad (12.7)$$

где v_x – скорость изменения параметра, α – показатель степени функции, аппроксимирующей изменение параметра (табл. 12.4), Π_0 – значение параметра после приработки, то есть известные или заданные (номинальные) значения $\Pi_{\text{и}}$, $\Pi_{\text{н}}$.

Значения интенсивностей изменения параметров технического состояния (v_x) ряда механизмов, характерных для грузовых автомобилей приведены в табл. 12.4.

Используя полученную информацию можно, например, составить функциональную зависимость изменения зазора между тормозными накладками и барабанами колес автомобиля.

Нетрудно видеть, что линейная модель (12.6) случайного процесса при $\alpha = 1$ является частным случаем модели (12.7) и поэтому

$$v = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}}{t}; \quad \Pi_{\text{н}} = \Pi_0 + \Delta\Pi,$$

где $\Delta\Pi$ – изменение параметра за период приработки. Поэтому все преды-

дущие закономерности остаются в силе и для общего случая.

Тогда изменение параметра в эксплуатации можно оценить как

$$И(t) = |\Pi(t) - \Pi_{\Pi}| = \Delta\Pi + v_x t^{\alpha}, \quad (12.8)$$

а предельное изменение значение снижения

$$И(t) = |\Pi_{\Pi} - \Pi_{\Pi}| - \Delta\Pi, \quad (12.9)$$

где Π_{Π} и Π_{Π} – предельное и номинальное значение параметра.

Таблица 12.4

Скорости изменения технического состояния v_x механизмов автомобиля

Параметры	Значения
1 Свободный ход педали, мм/1000 км: – сцепления – тормоза	0,4 ... 0,6 0,6 ... 0,9
2 Зазор между тормозными накладками и барабанами колес, мм/1000 км: – передних – задних	0,04 ... 0,06 0,1 ... 0,3
3 Прогиб ремня привода водяного насоса, мм/1000 км	0,3 ... 0,6
4 Суммарный угловой люфт, град/1000 км: – карданной передачи – главной передачи	0,01 ... 0,03 0,2 ... 0,3

Показатель α для различных параметров состояния машин находится в пределах от 0,8 до 2,0 [58, 59] (см. табл. 12.4, 12.5). С достаточной точностью показатель α считается одинаковым для однотипных деталей машин, например, для радиальных зазоров в подшипниках он равен 1,5, а для износа посадочных мест в корпусных деталях составляет 1.

Среднестатистический остаточный ресурс сопряжения определяется по результатам одной проверки

$$t_{\text{ост}} = t_i \sqrt{\frac{\Pi_{\Pi} - \Pi_{\Pi}}{\Pi_i - \Pi_{\Pi}} - 1}, \quad (12.10)$$

где Π_{Π} , Π_{Π} – начальное и предельное значение параметра; Π_i – значение параметра в момент контроля.

Прогнозирование по среднему статистическому изменению параметров даже однотипных объект имеет большую погрешность в оценке остаточного ресурса, поскольку недостаточно или совсем не учитывается индивидуальное состояние и условия эксплуатации конкретной машины, то есть технического состояния диагностируемого объекта машины в целом.

Чтобы определить, сможет ли данное сопряжение безотказно работать до следующей проверки, нужно иметь допустимое значение коэффициента использованного ресурса, который представляет собой ориентир для решения этого вопроса.

Допустимая величина параметра машины – это такая величина, обеспечивающая безотказную эксплуатацию данного сопряжения или узла от нынешнего до следующего диагностирования.

Таблица 12.5

Значение показателя α для различных узлов и механизмов

Параметр технического состояния узла	Ориентировочное значение α
Мощность дизельного двигателя	0,8
Мощность карбюраторного двигателя	1,1
Угар картерного масла	2,0
Расход картерных газов:	
– до замены поршневых колец	1,3
– после замены поршневых колец	1,5
Зазоры в кривошипно-шатунном механизме	1,4
Износ кулачков распределительного вала по высоте	1,1
Износ опорных поверхностей тарелки клапана газораспределения и посадочного гнезда (утопание клапана)	1,6
Зазор между клапаном и коромыслом механизма распределения	1,1
Радиальный зазор в подшипниках качения и скольжения	1,5
Износ посадочных гнезд корпусных деталей	1,0
Износ зубьев шестерен по толщине	1,5
Износ шлицевых валов	1,0
Износ валиков, пальцев и осей	1,4
Давление топлива до фильтра в системе питания двигателя	0,5
Производительность секции топливного насоса	0,5
Износ плунжерных пар	1,1
Изменение давления масла в системе смазки двигателя	1,0
Износ накладок тормозов и дисков муфт сцепления	1,0
Изменение схождения колес	1,35
Износ втулочно-роликовой цепи (удлинение ее шага)	1,0

Эта задача обычно решается заранее с учетом принятого периода между проверками состояния машины. Результаты этого прогноза вносят в технологию диагностирования в виде допускаемых зазоров в клапанном механизме газораспределения, допускаемого давления начала впрыска топлива форсункой и т. д.

Попытка заранее рассчитать остаточный ресурс может дать значительную ошибку, так как ресурс каждый раз будет зависеть и от состояния данной детали в данное время и от условий эксплуатации проведенных регулировок при ТО и множества других факторов.

Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния при разработке нормативно-технической документации на прогнозирование остаточного ресурса устанавливает ГОСТ 27302-86. Номенклатуру параметров состояния, по которым необходимо определять допустимое отклонение, а также перечень агрегатов, по которым необходимо прогнозировать остаточный ресурс, определяют в зависимости от назначения машины.

В отличие от номинального и предельного значений параметра, которые имеют постоянное, предварительно известное значение, допустимое значение зависит от факторов эксплуатационного характера (наработка сопряжения или узла от начала эксплуатации, величина будущего периода эксплуатации, во время которого должна быть обеспечена безотказная работа и т.п.). В связи с этим конкретное значение допустимой величины параметра действительно лишь для обусловленной совокупности этих факторов.

Оптимизация допускаемого значения диагностического параметра основана на рекомендациях ГОСТ 21571-76 с учетом связи диагностического и структурного параметров.

Оптимизацию проводят, минимизируя удельные издержки на эксплуатацию, ТО и ТР за межконтрольный период с учетом влияния ошибок I и II рода. При этом необходимо располагать зависимостями вероятности отказа, фактически используемого ресурса и удельных издержек от допускаемого отклонения параметра и погрешности его оценки. С этой целью отклонение структурного параметра состояния, по которому непосредственно наблюдается отказ, выражают в виде функции

$$\Pi(t) = V_C t^\alpha + V_C t^\alpha Z_0(t) + \Delta\Pi, \quad (12.11)$$

где t – наработка элемента; α – показатель степени функции, определяющий увеличение (при $\alpha > 1$) или уменьшение (при $\alpha < 1$) скорости изменения параметра с увеличением наработки; V_C – случайная величина, характеризующая совместно с α среднюю скорость изменения параметра; $Z_0(t)$ – случайная функция (стационарная) отклонения фактических значений параметра от гладкой теоретической кривой. Эти случайные отклонения в среднем могут характеризоваться среднеквадратическим отклонением V_C . $\Delta\Pi$ – показатель, учитывающий приработку элемента после обкатки.

Кроме того, предполагают, что отказ элемента возникает при достижении параметром некоторого фиксированного предельного значения.

Построение такой модели дает возможность просчитать процесс функционирования составной части на ЭВМ методом Монте-Карло и определить функцию удельных издержек $C(D)$ за межконтрольный период при изменении допускаемого отклонения параметра, а также оптимальное допускаемое отклонение $D_{\text{опт}}$ при отсутствии погрешности измерения:

$$C(D) = \{AQ(D) + C[1 - Q(D)]\}/t_\Phi(D),$$

где A – средние издержки, связанные с устранением последствий отказа агрегата по рассматриваемому параметру; $Q(D)$ – вероятность отказа за срок службы элемента; C – издержки, связанные с предупредительной заменой (ремонт) элемента; $t_\Phi(D)$ – средний фактически используемый ресурс.

В работах [58, 59] установлено, что независимо от того какова зависимость изменения параметра от наработки реального объекта, ее определяют по такой же формуле (12.6) с таким же значением показателя α , но с коэффициентом a , свойственным лишь данному конкретному объекту. Таким

образом, коэффициент a определяет масштаб зависимости или скорость изменения параметра. Величина показателя α является общей для всех однотипных объектов. Математически выражают закономерность этого процесса формулой

$$\Delta\Pi = at^{\alpha},$$

где $\Delta\Pi$ – изменение параметра, t – время работы объекта, a – коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра.

Таким образом, во время прогнозирования по среднестатистическим данным определяют вероятность того, что в течение заданного времени t_M данный параметр не выйдет за пределы предельного значения, то есть не наступит отказ данного сопряжения или детали. Величина t_M представляет собой периодичность технического обслуживания или ремонта, которая предварительно задана.

Во время плановой проверки состояния машины важно знать, возникнет ли отказ элемента до следующей проверки. Для этого используют допустимое значение параметра Π_d .

Если во время проверки наработка детали имеет значение меньше допустимого, то гарантируется ее безотказная работа до следующего диагностирования.

Допустимые значения параметра могут быть установлены для разного количества проверок (диагностирований). Например, может быть определено допустимое значение, при котором гарантируется отсутствие отказа во время второй, третьей и т.д. проверках.

Между количеством диагностирований, на момент которых гарантируется отсутствие отказа, и допустимым значением параметра существует следующая зависимость:

$$n = \frac{1}{1 - \sqrt[n]{\Pi_d / \Pi_{\Pi}}}, \quad (12.12)$$

где n – количество проверок; Π_{Π} – предельное значение параметра; Π_d – допустимое значение параметра; α – показатель степени зависимости $\Pi(t)$.

В формуле учитывают лишь целую часть результата, а остаток отбрасывают. Действительно, количество проверок не может составлять, например, 2,4, поэтому 0,4 отбрасывают и остается 2. Наименьшая вероятность отказа наблюдается при $n = 2$. При этом допустимая величина параметра составляет:

$$\Pi_d = 0,5^{\alpha} \Pi_{\Pi}, \quad (12.13)$$

При $\alpha = 1$ $\Pi_d = 0,5 \Pi_{\Pi}$, то есть равняется половине предельного изменения параметра.

Исходя из величины Π_d или n и учитывая заданную периодичность t_M , можно определить наиболее вероятный ресурс данного сопряжения:

$$t = \sqrt[n]{\Pi_{\text{д}}/\Pi_{\text{п}}} (n-1) t_{\text{м}}. \quad (12.14)$$

Если, например, $\alpha = 1$; $n = 2$; $\Pi_{\text{д}} = 0,5 \Pi_{\text{п}}$, то остаточный ресурс сопряжения составляет:

$$t_{\text{р}} = 2 t_{\text{м}}.$$

Система допустимых значений параметров машины дает возможность возвести к минимуму расходы на техническое обслуживание и ремонт машин и в то же время обеспечить соблюдение установленных нормативов наработки как машины в целом, так и отдельных ее деталей.

С этой целью определяют так называемые оптимальные (наиболее выгодные) допустимые значения изменения параметров. Общая формула, по которой выполняют расчеты, имеет вид:

$$\Pi_{\text{до}}^{\text{опт}} = \sqrt[d]{\frac{m}{(d-m)(N-1)}}, \quad (12.15)$$

где N – отношение средних расходов на устранение отказа (A) к средним расходам на профилактические операции (C), то есть на техническое обслуживание.

В этой формуле допустимое изменение параметра выражено не в абсолютных единицах, а в частях от предельного изменения, то есть от поля допуска $\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}$.

Величины d и m – это показатели степени зависимостей вероятности отказа:

$$Q(\Pi_{\text{до}}) = \Pi_{\text{до}}^d \quad (12.16)$$

и фактического остаточного ресурса:

$$t_{\text{ф}}^0(\Pi_{\text{до}}) = t^0 \Pi_{\text{до}}^m, \quad (12.17)$$

где t^0 – время относительной межконтрольной наработки

$$t^0 = t_{\text{ср}}/t_{\text{м}}.$$

Величины показателей d и m определяют методом наименьших квадратов.

Рассмотренный метод прогнозирования для своей реализации требует 200-500 наблюдений за объектами, а также применения электронных внешних и бортовых средств регистрации (контроля) параметров состояния машин.

Следовательно, из анализа этого метода прогнозирования можно сделать следующие выводы:

- 1) вероятность отказа уменьшается с уменьшением допустимой величины изменения параметра до величины $0,5^{\alpha}$, а затем остается неизменной;
- 2) при $\Pi_{\text{до}} = 1$ вероятность отказа равняется единице;
- 3) с уменьшением периодичности диагностирования $t_{\text{м}}$ вероятность

отказа уменьшается;

4) с уменьшением допустимой величины $\Pi_{\text{до}}$ уменьшается также средний ресурс элементов машин.

Зависимость между величиной коэффициента остаточного ресурса $R_{\text{ост}}$ и временем работы машины имеет вид:

$$R_{\text{ост}} = 1 - a t^{\alpha}; \quad (12.18)$$

$$R_{\text{исп}} = a t^{\alpha}. \quad (12.19)$$

Вычисление $R_{\text{ост}}$ или $R_{\text{исп}}$ не создает значительных трудностей, если из технологической карты известны значения $\Pi_{\text{н}}$ и $\Pi_{\text{п}}$.

Пользуясь значениями α из табл. 12.5, легко можно подсчитать величину коэффициента a :

$$a = 1/t_{\text{п}}^{\alpha},$$

где $t_{\text{п}}$ – время предельной наработки данного сопряжения до момента

$$R_{\text{исп}} = 1.$$

Как уже отмечалось, изменение большинства параметров, характеризующих техническое состояние машины или ее элементов, происходит достаточно плавно и может быть выражено в зависимости от наработки t степенной зависимостью

$$\Pi = \Pi_0 + K t^{\alpha}. \quad (12.20)$$

Таким образом, в зависимости от показателя α и знака коэффициента K закономерности изменения состояния будут иметь различный вид.

Среднестатистический остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ механизма можно рассчитывать по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_0 \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{пр}} - \Pi_0}{\Pi_i - \Pi_0}} - 1 \right). \quad (12.21)$$

где t_0 – наработка механизма с начала эксплуатации (или ремонта) до диагностирования; $\Pi_{\text{пр}}$, Π_0 , Π_i – предельное, начальное и текущее значения параметра.

12.4. Прогнозирование по нормативным значениям диагностического параметра

Методы диагностирования по нормативным параметрам основаны на сопоставлении текущих значений измеренных параметров износов, зазоров, углов, утечек жидкостей и газов, скоростей, нагрузок мощности, временных параметров, уровня вибрации и др. с установленными нормами стандартов, техническими условиями и эксплуатационной документацией.

Предельный норматив $\Pi_{\text{п}}$ соответствует такому состоянию объекта,

при котором его дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной по технико-экономическим соображениям (высокий расход топлива, масла и т. д.) или по соображениям безопасности (возможна авария автомобиля).

Именно по величине диагностических нормативов делается заключение о техническом состоянии машины. Диагностические нормы измеряемых параметров технических систем, периодичности ТО и пробега приведены в технической документации на автомобиль.

Значение Π_n соответствует новому или технически исправному объекту. В процессе эксплуатации Π_n используют как величину, до которой надо довести норматив путем регулировки или ремонта объекта.

В эксплуатации допустимый норматив принимается условно как граница неисправных состояний объекта для заданной периодичности его межконтрольного пробега. Состоит допустимый норматив Π_d из начального значения Π_0 и допустимого приращения или снижения $\Delta\Pi$, то есть

$$\Pi_d = \Pi_0 + \Delta\Pi. \quad (12.22)$$

Если текущее значение диагностического параметра Π_i выходит из допустимого норматива, это означает, что хотя объект и является работоспособным, его не следует выпускать на линию без регулировки или текущего ремонта из-за высокой вероятности отказа или при пониженных технико-эксплуатационных свойствах (рис. 12.11).

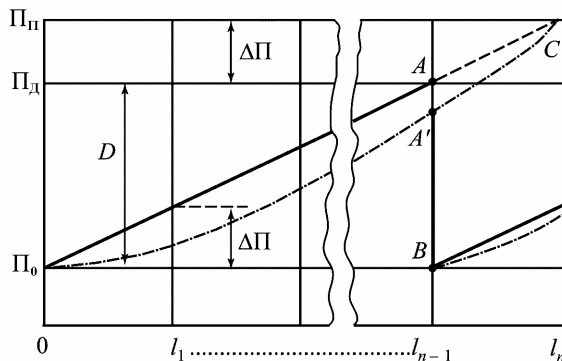


Рис. 12.11. Схема формирования диагностических нормативов при линейной зависимости параметра Π от пробега l :

Π_d — допустимое приращение параметра; AB — профилактическое восстановление объекта; l_i — периодичность планового диагностирования; $\Delta\Pi$ — приращение параметра за межконтрольный пробег; точка C — аварийное состояние объекта; n — количество диагностических операций за $l_p \approx l_n$; $l_p \sim 1$

Для количественной оценки технического состояния значения диагностического параметра (ресурсного или функционального) от исходного (номинального Π_0) до предельного можно разбивать на классы технического состояния, например «хорошо», «допустимо», «требуется принятия мер», «недопустимо» (см. рис. 8.8). Оценка технического состояния объекта диагностирования производится путем сравнения текущих значений параметра с

нормативными классами технического состояния.

Необходимо иметь в виду, что определяемое предельное значение параметра для одноименных объектов, входящих в выборку, будет иметь естественное рассеивание. В силу этого одни и те же значения параметра могут соответствовать как исправному, так и неисправному (предотказному) состоянию, то есть возможны ошибки первого и второго рода при использовании предельного значения параметра $\Pi_{\text{пр}}$.

Под ошибкой первого рода понимают признание исправного объекта неисправным, а под ошибкой второго рода понимается пропуск неисправного, когда неисправный объект признается годным к дальнейшей эксплуатации. Ошибки первого рода приводят к неоправданным разборочно-сборочным и контрольным работам, простоя автомобиля в ремонте. Ошибки второго рода приводят к возникновению аварийных отказов непосредственно в эксплуатации или к значительным потерям за счет повышенного расхода топлива, расхода масла и т. п.

Часто изменение диагностического норматива по пробегу машин принимают равномерным или линейного характера (см. рис. 12.12).

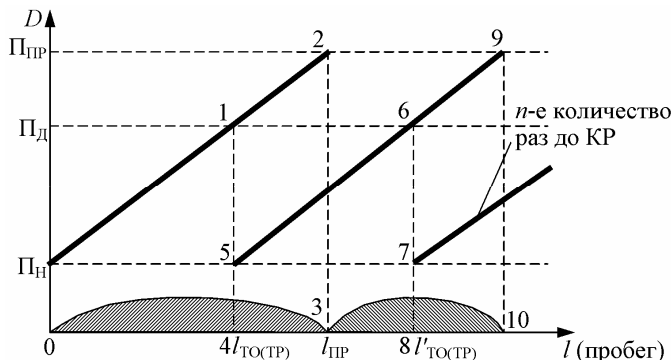


Рис. 12.12. Характер изменения диагностических нормативов в зависимости от пробега машин

Если при текущем диагностировании автомобиль достигает нормативного значения $\Pi_{\text{д}}$ (точка 1), то при этом возможны два варианта действий инженерно-технической службы АТП:

- первый — продолжить дальнейшую эксплуатацию машины, и вскоре она достигнет своего предельного значения $\Pi_{\text{пр}}$ (точка 2), а значит и предельного пробега $l_{\text{пр}}$ (точка 3, область, заштрихованная по диагонали), что весьма нежелательно по технико-экономическим условиям;

- второй — прекратить дальнейшую эксплуатацию машины при данном пробеге (точка 4) и выполнить ей ТО или ТР, что соответствует пробегу $l_{\text{пр(ТР)}}$, и тем самым довести значение $\Pi_{\text{д}}$ до $\Pi_{\text{н}}$ (точка 5), а затем снова продолжить эксплуатацию автомобиля. Эти действия повторяются n -е количество раз (точка 6 и т. д.) до достижения машиной такого состояния, при котором значение $\Pi_{\text{н}}$ уже нельзя достичь путем проведения ТО или ТР, а только за счет выполнения капитального ремонта. Такая стратегия назначе-

ния ТО или ТР по результатам текущего диагностирования автомобилей позволяет в значительной степени повысить их надежность и ресурс (область, заштрихованная в виде сетки). Этот вариант действий инженерно-технической службы наиболее рационален и положен в основу текущего диагностирования машин, их технического обслуживания и ремонта.

Постановка диагноза заключается в измерении текущих значений – диагностических нормативов P_i и сравнении их с величинами P_H , P_D и $P_{ПР}$. При этом различают три возможных варианта постановки диагноза:

а) когда P_i равно или больше $P_{ПР}$, то есть $P_i \geq P_{ПР}$, и в этом случае объекту следует выполнить ремонт;

б) когда $P_i \geq P_D$, но меньше $P_{ПР}$, и тогда объекту следует выполнить ТО или ТР;

в) когда P_i меньше P_D , то есть $P_i < P_D$, и тогда объект может продолжить эксплуатацию без проведения ТО или ТР.

Теоретически постановка диагноза сводится к тому, чтобы с помощью диагностических параметров, которые связаны с конкретными неисправностями объекта, можно было бы из множества возможных его состояний выявить одно наиболее вероятное. Эта задача, которая, на первый взгляд, представляется достаточно простой, на деле является весьма сложной и трудоемкой.

Нормы и классы качественной оценки технического состояния объекта по мере приращения (снижения) диагностического параметра (P_D) в эксплуатации представлены на рис. 8.6, 8.7, 8.8, где P_D соответствует классу «Требуется принятия мер».

12.5. Прогнозирование по допустимым значениям параметров с использованием таблиц, графиков и номограмм

Для облегчения расчетов остаточного ресурса используются справочные таблицы, графики и специальные номограммы. Правила их составления приведены в работах [14, 17, 21, 58, 59].

Номограмма – это графическое изображение функциональной зависимости между несколькими переменными, которое служит для отыскания числовой величины одной из них по заданным значениям других.

Номографические изображения не имеют целью показать наглядно зависимость, они предназначены исключительно для замены вычислительной работы.

Для построения номограммы нужно иметь уравнение, которое связывает между собой все переменные, изображаемые на номограмме.

За основу номограммы берут зависимость (12.21)

$$t_{\text{ост}} = t_H \left(\sqrt[3]{\frac{P_{П} - P_H}{P_i - P_H}} - 1 \right), \quad (12.23)$$

где t_H – наработка на момент диагностирования; P_H , $P_{П}$, P_i – номинальное, предельное и измеряемое значение параметра.

Таким образом, измерив на каком-то пробеге l_i величину диагностического параметра Π_i (например, прорыв отработавших газов в картер двигателя) и зная из нормативно-технической документации начальное Π_H и предельное $\Pi_{ПР}$ значения этого диагностического параметра, можно определить остаточный ресурс объекта (в данном случае деталей цилиндропоршневой группы двигателя) по выражению [14]

$$l_{\text{ост}} = l_i \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{ПР}} - \Pi_H}{\Pi_i - \Pi_H}} - 1 \right), \quad (12.24)$$

где α – степень, определяющая характер изменения диагностического параметра в зависимости от l .

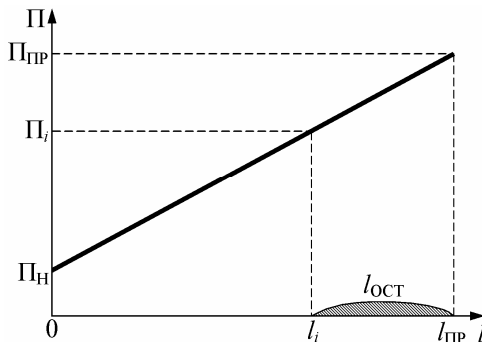


Рис. 12.13. Характер изменения параметров технического состояния объекта по наработке (пробегу)

Например, на пробеге $l_i = 70$ тыс. км прорыв отработавших газов в картер двигателя $\Pi_i = 80$ л/мин, а величины $\Pi_H = 20$ л/мин и $\Pi_{ПР} = 120$ л/мин при значении $\alpha = 2$. Тогда остаточный ресурс деталей ЦПГ двигателя (рис. 12.13)

$$l_{\text{ост}} = 70 \left(\sqrt{\frac{120 - 20}{80 - 20}} - 1 \right) = 70 \cdot 0,29 = 20,3 \text{ тыс. км.}$$

В перспективе будут разработаны и созданы специальные диагностические информацион-

но-прогнозирующие системы, которые, наряду с контролем текущего состояния автомобиля, смогут в автоматизированном режиме выдавать прогностическую информацию по остаточному ресурсу отдельных агрегатов, узлов и механизмов, а также по машине в целом.

12.6. Методы прогнозирования по реализации

Для повышения точности определения остаточного ресурса используют прогнозирование по реализации и по среднему статистическому изменению параметра индивидуального объекта диагностирования. Методы диагностирования остаточного ресурса по реализации представлены на рис. 12.14.

Для классического случая износа сопряжений прогнозирование остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ наглядно поясняет рис. 12.14. Сравнивая измеренное значение параметра Π_i с нормативным (предельным или допускаемым) $\Pi_{ПР}$, делают заключение об остаточном ресурсе $t_{\text{ост}}$.

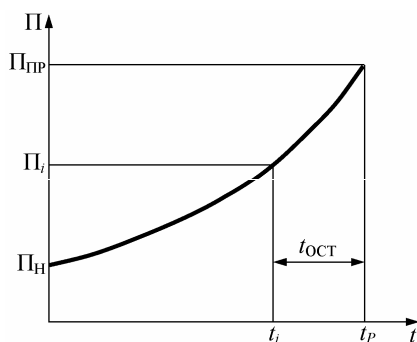


Рис. 12.14. Прогнозирование по реализации параметра

Метрологическое обеспечение диагностирования и прогнозирования заключается в выборе диагностических параметров, разработке алгоритмов поиска и локализации неисправностей, обосновании точности и достоверности измерения диагностических параметров, нормировании предельных и допускаемых значений диагностических параметров, оптимизации периодичности диагностирования, прогнозирования остаточного ресурса, типизации точности контрольно-диагностических методов, оценке

влияния наработки объекта на изменение метрологических показателей диагностирования и управления характеристиками достоверности в эксплуатации.

Прогнозирование по реализации основано на выявлении скоростей изменения параметров состояния составных частей машины путем непосредственных измерений их значений и последующей обработки результатов с учетом характера изменения состояния одноименных составных частей. Цель такого прогнозирования — определение остаточного ресурса конкретного узла или агрегата машины с учетом предельных значений диагностического параметра, характера индивидуального изменения в прошлом.

Прогнозирование по реализации дает возможность полнее использовать ресурс составных частей машин, а также повысить их надежность. Существующие при этом трудности связаны с учетом измеряемых значений параметров состояния и обработки результатов измерений, а также с планированием, организацией планового обслуживания машин и частой остановкой машин.

В настоящее время эти вопросы могут решаться путем разработки современных бортовых систем диагностирования в реальном времени. Но существующие электронные бортовые и внешние системы диагностирования механических систем и систем управления автомобилей в большинстве случаев не могут прогнозировать остаточный ресурс и выдавать рекомендации по оптимальному ТО.

Для того, чтобы получить прогноз с помощью существующих средств, результаты диагностирования должны удовлетворять ряду условий, а именно: отражать изменения диагностических параметров, определяющих состояние машины; быть увязанными с условиями ее эксплуатации; охватывать объем информации, обеспечивающей достоверность диагноза. Соблюдение этих условий возможно при проведении диагностирования по определенной программе, анализе и обработке полученного материала с учетом внешних условий и прошлого состояния.

При прогнозировании состояния информация может быть получена

для совокупности элементов или для одного конкретного элемента. В первом случае можно использовать метод прогнозирования по среднему статистическому изменению параметра и его среднеквадратичному отклонению, во втором предсказывать изменение параметра конкретного элемента по данным реализации. Результаты прогнозирования всегда носят вероятностный характер. Для этого разработаны и широко применяются простые методы и средства прогнозирования, приведенные ниже.

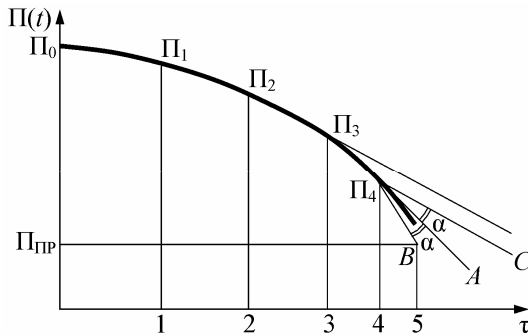


Рис. 12.15. Графическая модель прогнозирования технического состояния машины:

Π – диагностируемый параметр; τ – наработка;
 Π_0 , $\Pi_{ГР}$ – начальное и предельное значение параметра; 1, 2, 3, 4 – последовательные диагностирования, при которых получены значения параметра Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 ; B – прогнозируемая наработка, соответствующая достижению предельного значения параметра $\Pi_{ГР}$

достигнуто предельное значение. Для этого в точках Π_3 и Π_4 строят касательные к кривой изменения параметра, касательную в точке Π_3 параллельно переносят в точку Π_4 . Строят отрезок Π_4B , образующий угол α с касательной Π_4A . Абсцисса точки B определяет минимальное время достижения параметром предельного значения, то есть остаточный ресурс (пессимистический прогноз). Не позже окончания наименьшего ресурса назначают обслуживание, в противном случае по этому параметру произойдет отказ или резко снизятся функциональные свойства машины.

Из рис. 12.15 следует, что кроме остаточного ресурса прогнозируют также гарантированный ресурс безотказной работы машины. Его определяют по закономерности изменения параметра в конкретных условиях. По гарантированному ресурсу, имеющему в момент проверки минимальное значение, рассчитывают срок очередного диагностирования, приурочивая его преимущественно к периодическому ТО.

Определить остаточный ресурс элемента можно в двух случаях: когда известна наработка с начала эксплуатации и когда отсутствует учет данных о наработке автомобиля с начала эксплуатации или после получения авто-

Один из наиболее простых и доступных способов прогнозирования базируется на анализе изменений показателей во времени. В процессе эксплуатации машины проводят ряд диагностирований, при которых получают соответствующие значения диагностического параметра (Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 , рис. 12.15). Изменение параметра или показателя может происходить с нарастающей скоростью. Объединяя точки $\Pi_1 \dots \Pi_4$ плавной кривой, получим закономерность изменения параметра Π в зависимости от наработки τ . При приближении величины параметра к предельному значению делают прогноз наработки τ_5 , при которой будет

мобили из капитального ремонта.

Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ конкретного элемента при известной наработке с начала эксплуатации определяют как разность между наработкой до его предельного состояния и наработкой в момент контроля по формуле

$$t_{\text{ост}} = t \left[\left(U_{\Pi} / U_t \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (12.25)$$

где t – ресурс, использованный элементом от начала эксплуатации к моменту контроля; U_{Π} – предельное изменение значения параметра; U_t – изменение значения параметра к моменту контроля; α – показатель степени, характеризующий закономерность изменения значений контролируемого параметра.

Предельное изменение значения параметра U_{Π} определяют как разность между номинальной $\Pi_{\text{н}}$ и предельной Π_{Π} величинами параметра:

$$U_{\Pi} = |\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\Pi}|. \quad (12.26)$$

Изменение значения параметра U_t определяется как разность между измеренной величиной параметра Π_t при наработке t и его номинальной (исходной) величиной $\Pi_{\text{н}}$:

$$U_t = |\Pi_{\text{н}} - \Pi_t|. \quad (12.27)$$

При отсутствии сведений о наработке сопряжений автомобиля от начала эксплуатации остаточный ресурс определяют по значениям параметров, выявленных при двукратном контроле и наработке между первым и вторым изменениями по формуле:

$$t_{\text{ост}} = t' \left[\frac{1}{(U''/U')^{1/\alpha}} + 1 \right] \left[\left(\frac{U_{\Pi}}{U''} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (12.28)$$

где t' – ресурс, использованный в промежутке времени между первым и вторым измерениями; U' – изменение значения параметра от начала эксплуатации до первой проверки; U'' – изменение значения параметра от начала эксплуатации до второй проверки.

Изменение значения параметра U' определяют как разность между номинальным значением $\Pi_{\text{н}}$ и измеренным значением параметра Π' при первой проверке:

$$U' = |\Pi' - \Pi_{\text{н}}|. \quad (12.29)$$

Изменение значения параметра U'' определяют как разность между номинальным $\Pi_{\text{н}}$ и измеренным значением Π'' параметров при второй проверке:

$$U'' = |\Pi'' - \Pi_{\text{н}}|. \quad (12.30)$$

Для облегчения выполнения расчетов формулу (12.28) преобразуют в виде

$$t_{\text{ост}} = t''_{\text{ост}} R; \quad (12.31)$$

$$R = \frac{1}{(U''/U')^{1/\alpha}} + 1; \quad (12.32)$$

$$t''_{\text{ост}} = t' \left[\left(\frac{U_{\Pi}}{U''} \right)^{1/\alpha} - 1 \right]. \quad (12.33)$$

Определение остаточного ресурса по формуле (12.25) проводят в следующей последовательности:

- вычисление U_{Π} и U_t по формулам (12.26) и (12.27) и их отношения;
- вычисление выражения в скобках, связанное с логарифмированием при извлечении корня степени α (значение α – по табл. 12.5);
- умножение результата в скобках на t .

Определение остаточного ресурса по формуле (12.28) проводят в такой последовательности:

- вычисление U_{Π} , U' , U'' по формулам (12.26), (12.29), (12.30) соответственно;
- вычисление выражения в скобках, связанное с логарифмированием;
- вычисление R и $t'_{\text{ост}}$ по формулам (12.32) и (12.33);
- определение остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ по формуле (12.31).

Прогнозирование по реализации иллюстрирует рис. 12.16.

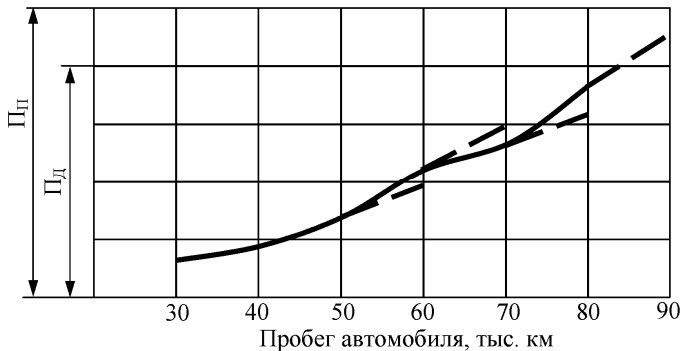


Рис. 12.16. Определение остаточного ресурса элемента автомобиля по фактическому изменению параметра (по реализации)

Прогнозирование по реализации изменения диагностического параметра, принятого для совокупности однотипных агрегатов узлов и сопряжений, может характеризоваться экстраполяцией изменения параметра Π от номинального Π_n до предельного Π_p значения и средним квадратическим отклонением от фактического значения.

Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ в любой момент t_1 наработки определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_p - t_i = t_i \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}}{\Pi_i - \Pi_{\text{н}}} - 1} \right), \quad (12.34)$$

где t_p – ресурс составной части; α – эмпирический показатель, характеризующий закономерности изменения значений диагностируемого параметра (см. табл. 12.5).

Средняя погрешность в оценке остаточного ресурса

$$Q(t_0, \Pi_0) = \frac{\sigma}{\bar{t}} \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}}{\Pi_0 - \Pi_{\text{н}}} - 1} \right). \quad (12.35)$$

Суммарная погрешность прогнозирования составляет приблизительно 11% и является так называемой инструментальной погрешностью. Она не учитывает ошибки вследствие неточности измерения параметра прибором и тех, которые добавляются к указанной погрешности.

При отсутствии сведений о наработке отдельных составных частей ТС остаточный ресурс определяют по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{исп}} \left[\frac{1}{\left(\frac{\Pi_1 - \Pi_{\text{н}}}{\Pi_2 - \Pi_{\text{н}}} \right)^{1/\alpha} - 1} \left[\left(\frac{\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}}{\Pi_2 - \Pi_{\text{н}}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] \right], \quad (12.36)$$

где $t_{\text{исп}}$ – ресурс, использованный за время между первым и вторым диагностированием; Π_1, Π_2 – значения параметра на момент первого и второго диагностирования.

Формулы (12.35) и (12.36) применяются в случае гладкой реализации параметра (см. рис. 2.8), то есть при отсутствии случайных эксплуатационных изменений этого параметра. Если же реализация изменения параметра имеет характер ломаной кривой со случайными отклонениями, то необходимо учитывать значение остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ и предельного изменения параметра.

Для определения остаточного ресурса по номограмме при известной и неизвестной наработках от начала эксплуатации сначала необходимо найти и записать значение $t_{\text{ост}}$, а после этого найти коэффициент K . По полученным значениям $t_{\text{ост}}$ и K определяют остаточный ресурс, как показано в [17] и ГОСТ 21571-76.

Исходными данными этого метода являются функция среднего изменения диагностического параметра, ее среднее квадратическое отклонение и усредненные данные по предельному состоянию, полученные для группы однотипных явлений.

Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяют как

$$t_{\text{ост}} = T_{\text{ср}} - t_{\text{ф}}(D), \quad (12.37)$$

где $T_{\text{ср}}$ – средний ресурс; $t_{\text{ф}}(D)$ – фактически использованный ресурс.

Величину $t_{\Phi}(D) = t_M t_{\Phi}^0(D)$ находят с помощью номограммы [17]. Последовательность поиска:

$$T_0 \rightarrow v(\alpha) \rightarrow D_0 \rightarrow T_0 \rightarrow t_{\Phi}^0(D). \quad (12.38)$$

Здесь относительные безразмерные величины определяются как

$$T_0 = \frac{T_{\text{CP}}}{t_M}; \quad D_0 = \frac{D}{|\Pi_{\text{П}} - \Pi_{\text{Н}}|}; \quad t_{\Phi}^0(D) = \frac{t_{\Phi}(D)}{t_M}, \quad (12.39)$$

где t_M – межконтрольная (между одноименными видами ТО или ремонта) наработка; D – допускаемое отклонение параметра технического состояния; $v(\alpha)$ – коэффициент вариации ресурса в зависимости от величины эмпирического показателя α .

Пример. Определить остаточный ресурс втулки верхней головки шатуна двигателя, если ее средний ресурс до предельного износа составляет $T_{\text{CP}} = 200$ тыс. км, межконтрольная наработка $t_M = 95,5$ тыс. км, предельный износ $\Pi_{\text{П}} - \Pi_{\text{Н}} = 0,24$ мм, допускаемый износ $D = 0,11$ мм, коэффициент вариации ресурса $v = 0,5$, показатель $\alpha = 1,4$.

Решение. Для оценки фактически использованного ресурса $t_{\Phi}(D)$ вычисляем нормированные показатели

$$T_0 = \frac{200}{95,5} = 2,1; \quad D_0 = \frac{0,11}{0,24} = 0,46.$$

От точки ординаты $T_0 = 2,1$ левого квадранта проводим горизонтальную линию и находим точку с координатами $T_0 = 2,1$ ($v = 0,5$; $\alpha = 1,4$). Далее ведем вертикальную линию до кривой $D_0 = 0,46$, а затем горизонтальную в правый квадрант. Одновременно от точки $T_0 = 2,1$ на верхней горизонтальной оси правого квадранта проводим линию параллельно близлежащей наклонной прямой до пересечения с ранее проведенной горизонтальной линией в т. Н, абсцисса которой и определяет $t_{\Phi}^0(D) = 1,65$. Следовательно,

$$t_{\Phi}(D) = 1,65 \cdot 95,5 = 158 \text{ тыс. км.}$$

Отсюда по формуле (12.37), остаточный ресурс составит $t_{\text{ОСТ}} = 42$ тыс. км.

Прогнозирование остаточного ресурса механизма с использованием карточки учета выполняют с той же точностью, что и графическим методом, но менее наглядно. Разность в значениях параметров в момент диагностирования и предыдущего значения делят на величину наработки, определяя тем самым интенсивность изменения параметра за прошлый период работы машины. Оставляя в дальнейших расчетах по прогнозированию остаточного ресурса полученную интенсивность изменения параметра, подсчитывают величину его к моменту последующего диагностирования, сравнивают с допускаемой или предельной величиной и определяют остаточный ресурс.

Недостатком предлагаемых способов диагностирования, кроме некоторой ошибки в определении остаточного ресурса, является еще и труд-

ность прогнозирования остаточного ресурса на более длительный период, больший, чем периодичность диагностирования, без учета коэффициента α и среднестатистических данных об изменении параметра.

Краткий анализ методов прогнозирования по среднестатистическому изменению параметра технического состояния и по реализации этого параметра показывает, что каждому из них присущи положительные и отрицательные стороны.

При среднестатистическом методе прогнозирования заранее рассчитанные допускаемые в эксплуатации значения контролируемых параметров автомобилей вносят в технологические карты на диагностирование. Эти значения являются основанием для мастера-диагноста при решении вопроса о дальнейшей эксплуатации механизма.

Сравнивая величину параметра, измеренного в процессе диагностирования, с величиной его допускаемого изменения, диагност делает заключение о техническом состоянии механизма и определяет объем предупредительных (профилактических) ремонтных работ, которые отмечаются в контрольно-диагностической карте. При определении остаточного ресурса механизма могут быть два варианта. Первый, когда остаточный ресурс элемента больше или равен наработке до очередного технического обслуживания, то есть до очередного диагностирования. Второй, когда остаточный ресурс элемента менее наработки до очередного обслуживания. В первом случае элемент оставляют без профилактического или ремонтного воздействия, а во втором – он подвергается воздействию или заменяется на другой с достаточным ресурсом.

Техническое состояние сборочной единицы или агрегата, необходимость их отправки на ремонт определяют по износу состоянию основных деталей. Если износ достиг предельной величины, то считают, что сборочная единица или агрегат исчерпал свой ресурс. По двигателю такими сопряжениями являются гильза-поршень, подшипник-шейка коленчатого вала, деталью – распределительный вал (износ его кулачков). Таким образом, прогнозирование остаточного ресурса сборочной единицы, агрегата сводится к прогнозированию остаточного ресурса основных сопряжений, деталей.

Прогнозирование по реализации дает возможность полнее использовать ресурс составных частей машин, а также повысить их надежность. Однако трудности, связанные с учетом измеряемых значений параметров состояния и обработки результатов измерений, а также с планированием и организацией планового обслуживания машин, не позволяя с одинаковой достоверностью прогнозировать остаточный ресурс всех составных частей машины, особенно объектов, агрегатов класса качества изготовления 3 и особенно класса 4 (см. рис. 2.3). Вследствие огромного рассеивания ресурсов различных составных частей машин их пришлось бы очень часто останавливать для проверки технического состояния, предупреждения отказов и замены составных частей при самой разнообразной периодичности обслуживания, что экономически невыгодно. При этом потребовался бы дополнительный штат для планирования и учета периодичности обслуживания каждой машины и обработки результатов измерений. Практика показывает,

что применение дорогостоящих автоматизированных электронных систем диагностирования часто является неоправданным для машин класса качества проектирования 3 и особенно 4 (см. рис. 2.1, 2.3).

Отсюда следует, что обслуживание машин класса 3 и 4 как высокоотказных машин по техническому состоянию практически неприемлемо. Поэтому для большинства составных частей применяют среднестатистическое прогнозирование их состояния. При этом заранее рассчитывают допускаемые в эксплуатации значения контролируемых параметров и используют их в технологии диагностирования. Полученные данные являются инструктивными для мастера-диагноста, который по результатам диагностирования органами чувств, мышления и измерений дает заключение о состоянии объектов диагностирования и определяет виды воздействий на них, не проводя никаких расчетов. Диагностирование машин класса качества проектирования 3 и 4 требует высокой квалификации диагноста – знаний диагностики такого класса машин. Здесь затраты на обучение диагноста экономически выгоднее по сравнению с приобретением дорогостоящей электронной аппаратуры и оборудования.

Приобретение дорогостоящих электронных диагностических приборов и оборудования, стоимость которого часто составляет более трети стоимости грузового автомобиля и автобуса первого класса качества также не может быть оправдано. В машинах первого класса качества проектирования изменение технического состояния происходит приблизительно по линейной зависимости от наработки, поэтому все расчеты по обслуживанию могут выполняться по показателям пробега и условий эксплуатации.

12.7. Прогнозирование по результатам двух диагностирований

Для использования этого метода необходимо, чтобы были известны реальные экспериментальные данные двух диагностирований (изменение параметра) машины, а именно: наработок до первого T_1 и второго T_2 диагностирований и соответствующие значения коэффициента использованного ресурса ($R_{исп1}$ и $R_{исп2}$).

Следовательно, можно составить систему уравнений:

$$R_{исп1} = a T_1^a; \quad R_{исп2} = a T_2^a. \quad (12.40)$$

Если разделить первое уравнение на второе и прологарифмировать выражение, то получим

$$\ln \frac{R_{исп1}}{R_{исп2}} = a \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (12.41)$$

откуда

$$a = \ln \frac{R_{исп1}}{R_{исп2}} / \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (12.42)$$

С помощью этой формулы получают действительное и достаточно

точное значение показателя степени α для данного типа сопряжения.

Потом с помощью формулы (12.40) определяют величину a :

$$a = \frac{R_{\text{исп1}}}{T_1^\alpha} = \frac{R_{\text{исп2}}}{T_2^\alpha}. \quad (12.43)$$

Время работы сопряжения от начала эксплуатации определяют из условия $R_{\text{исп}} = 1$, то есть:

$$T_{\text{гр}} = (1/a)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (12.44)$$

Остаточный ресурс подсчитывают по формуле

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{г}} - T_2 = \left(\frac{1}{a}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - T_2. \quad (12.45)$$

Вычисления по формулам (14.58), (14.59) не очень сложны, однако являются трудоемкими. По результатам расчетов, выполненных по этим формулам, могут быть составлены справочные номограммы и таблицы, выдаваемые как приложение к технологии диагностирования и которые могут быть использованы для составления программного обеспечения электронных систем диагностирования.

12.8. Индивидуальное прогнозирование

В виду большого разнообразия качества материалов, качества изготовления, условий эксплуатации, режимов работы изменение технического состояния деталей носит случайный характер. Поэтому скорость изменения параметров состояния одноименных сборочных единиц однотипных машин одного уровня проектирования (см. рис. 2.3, 8.5) при одной и той же нагрузке неодинакова.

Фактические предельные значения параметров состояния одноименных сборочных единиц машин могут также отличаться от расчетных или среднестатистических данных. Например, подшипники качения одного размера на однотипных машинах разрушаются при разных зазорах, хотя и близких друг к другу. Это объясняется действием на детали множества технологических (при изготовлении и восстановлении деталей) и эксплуатационных факторов.

Скорость изменения параметра технического состояния однотипных механизмов одного исходного качества производства зависит от многих, часто неподдающихся учету факторов. Например, от случайных неблагоприятных эксплуатационных условий – неправильная регулировка сопряжения, запыленность воздуха, работа на маслах – заменителях основного сорта, недостаточная квалификация водителя и методы вождения автомобиля и другие причины, действие которых может происходить одновременно, при этом одни из условий увеличивают интенсивность изнашивания меха-

низма, а другие – уменьшают темп износа.

Случайный характер изменения параметров технического состояния составных частей машин, несмотря на периодический контроль, техническое обслуживание, замену и восстановление деталей, неизбежно приводит к рассеиванию межремонтных сроков службы составных частей. Это обусловливает, с одной стороны, неполное использование их ресурсов, а с другой – возникновение отказов в процессе эксплуатации.

Влияние качества материалов и изготовления, условий эксплуатации и режимов работы автомобиля можно в большой мере учитывать при индивидуальном прогнозировании в жизненном цикле автомобиля. Перспективными для индивидуального прогнозирования автомобиля являются бортовые электронные системы.

Индивидуальное прогнозирование является одним из перспективных направлений в проблеме повышения качества изготовления и эксплуатации автомобиля. Возможности прогнозирования велики и они привлекают в настоящее время широкие круги специалистов как в области исследования, разработки и теоретического обоснования методов прогнозирования, так и практического применения в области проектирования и эксплуатации.

Основная цель прогнозирования – предсказание будущего состояния объекта на основе изучения таких факторов, от которых оно зависит или которые ему просто сопутствуют. При прогнозировании информацию, полученную об объекте, используют для того, чтобы дать количественную или качественную характеристику состояния объекта, процесса или явления в будущем. Прогнозирование основывается на изучении объективных закономерностей, которым подчиняются процессы в эксплуатируемом (исследуемом) объекте.

В процессе изготовления какого-либо изделия его элементы и материалы подвергаются как необходимым технологическим воздействиям, так и некоторым случайным воздействиям. Это приводит к тому, что параметры схем и конструкций, полученных после изготовления, являются случайными величинами. Усиленный контроль всех технологических операций и параметров изделий при изготовлении приводит к неоправданным затратам материалов и трудовых ресурсов. В то же время весьма желательно знать не только средние показатели надежности выпускаемых изделий, но и для каждого отдельного экземпляра. Индивидуальное прогнозирование предназначено именно для этого.

Использование индивидуального прогнозирования в производстве позволяет устранить потенциально ненадежные изделия в каждом автомобиле, что само по себе очень важно, так как появляется возможность научно обоснованного управления качеством выпускаемой продукции за счет введения обратной связи от прогнозирования к производству.

Индивидуальное прогнозирование особо эффективно проводить при эксплуатации. Цель индивидуального прогнозирования в эксплуатации – предотвращение отказов и увеличение сроков между профилактическими работами путем выявления и исключения из эксплуатации потенциально ненадежных экземпляров с ухудшенными значениями параметров и интен-

сивным старением.

Чтобы применение прогнозирования оправдывало себя, необходимо выполнять следующие требования:

- точность (вероятность ошибочного прогнозирования должна быть достаточно малой);
- затраты времени на прогнозирование должны быть минимальными;
- оборудование для целей прогнозирования должно быть как можно проще и дешевле.

Индивидуальное прогнозирование с качественной оценкой прогнозируемого параметра – такое прогнозирование, в результате которого должно быть указано, в каком интервале значений находится величина прогнозируемого параметра каждого экземпляра к моменту $t_{\text{пр}}$. Также такое прогнозирование можно назвать прогнозированием с классификацией. В практических приложениях этого вида прогнозирования совокупность изделий бывает необходимо разделить на несколько классов: годных, дефектных и неисправных, в «хорошем», «допустимом» состоянии или «требует принятия мер».

Прогнозирование по признакам называется также прогнозированием на основе теории распознавания образов. При таком прогнозировании начальное состояние каждого экземпляра оценивается по значениям некоторых информативных признаков параметров изделия (признаков), вероятностно связанных с прогнозируемым параметром, и на основе этой информации определяется состояние прогнозируемого параметра каждого экземпляра в будущем к моменту времени прогнозирования $t_{\text{пр}}$.

Требуется, используя информацию об этих наблюдениях, найти такой оператор $H_{\text{ХКЛ}}$, используя который, можно по совокупности значений признаков каждого экземпляра оценить его принадлежность к тому или иному классу. Если число классов равно двум, то для определения номера класса может быть найдено одно пороговое значение Π для оператора $H_{\text{ХКЛ}}$, которое разделит все множество значений оператора $H_{\text{ХКЛ}}$ на две области. Тогда экземпляр будет отнесен к первому классу, если $H_{\text{ХКЛ}} \leq \Pi$, и ко второму классу, если $H_{\text{ХКЛ}} > \Pi$.

Прогнозирование состоит из четырех этапов:

- обучающего эксперимента для получения набора исходных данных;
- обучения для получения оценки класса экземпляров из рабочей выборки (с известными классами);
- экзамена для оценки ошибок классификации данным оператором прогнозирования (по результатам обучения) и улучшения оператора прогнозирования или подбора порога;
- прогнозирования для определения классов новых экземпляров.

Для решения задач индивидуального прогнозирования на основе теории распознавания образов с классификацией необходимо иметь массив исходных данных следующего состава: информация о состоянии изделия в начальный момент времени представляется значениями признаков каждого экземпляра, а состояние каждого экземпляра ко времени $t_{\text{пр}}$ определяется по тому, в каком из интервалов значений находится прогнозируемый параметр.

Решение об отнесении экземпляра к конкретному классу принимается по результатам прогнозирования в зависимости от соотношения между величиной порога Π и значением оператора прогнозирования. Для оптимизации оператора прогнозирования используются различные критерии, тем или иным образом связанные с уменьшением вероятностей ошибочных решений, заключающихся в переименовании классов.

Эти вероятности находятся по данным обучающего эксперимента и обучения путем определения числа верных и ошибочных решений по каждому классу, то есть в результате экзамена. Если вычисленное значение вероятности ошибочных решений не превышает заданных допустимых значений, полученный оператор можно рекомендовать для прогнозирования класса новых экземпляров, не участвовавших в обучающем эксперименте.

Качество прогнозирования может быть улучшено как выбором соответствующего оператора прогнозирования, так и подбором более информативных признаков.

Центральным моментом индивидуального прогнозирования технического состояния объекта является выбор прогнозируемой функции (ПФ). При заведомо плохо выбранной ПФ ни при каких условиях невозможно получить хороший прогноз. Выбирая ПФ, необходимо учитывать: характер протекания процесса (эволюционный или имеется скачкообразное изменение механизма процесса); вид функций, описывающих тренд; степень изученности процесса, что эквивалентно виду математического описания; прошлый опыт, который позволяет определить класс функций, в котором отыскивается ПФ. При плохой изученности процесса предпочтительнее простая алгебраическая структура ПФ, а при хорошей – можно говорить о характере поведения скорости изменения процесса. В последнем случае оправдано применение дифференциальных уравнений для описания процессов. Необходимо также учитывать наличие неопределенностей различной природы, влияющих на поведение процесса, к которым относятся существование неконтролируемых внешних факторов, погрешности измерения и др. Классификация ПФ показана на рис. 12.17 [56]. Общего математически

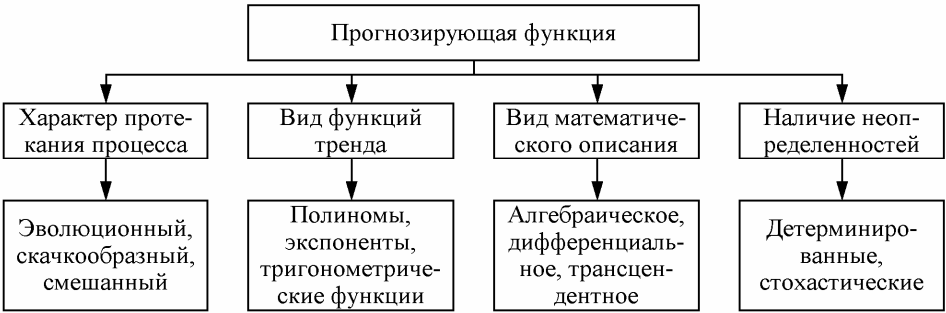


Рис. 12.17. Классификация прогнозирующих функций процессов

строгого метода выбора прогнозируемых параметров в настоящее время не существует. Выбор прогнозируемых параметров объектов автомобиля целесообразно рассматривать в комплексе задач выбора контролируемых пара-

метров машины, так как совокупности прогнозируемых параметров большинства машин пересекаются, а иногда и полностью совпадают с совокупностями контролируемых параметров. Как и все контролируемые параметры, параметры прогнозирования должны обеспечивать измерение с необходимой точностью и адекватностью информации, характеризующей эти параметры, фактическому состоянию.

Состав и число прогнозируемых параметров машин могут быть определены в соответствии с приоритетным методом выбора прогнозируемых параметров. Этот метод позволяет построить упорядоченную последовательность параметров по мере возрастания или убывания их значимости по заданным критериям. В качестве таких критериев выбираются критерии, учитывающие:

- 1) интервал времени от момента обнаружения предотказного состояния до момента возникновения отказа;
- 2) динамику предотказного состояния;
- 3) последствия данного отказа (влияние на безопасность и экономическую эффективность);
- 4) затраты на обеспечение прогноза (объем и стоимость доработки оборудования как объектов прогнозирования);
- 5) соответствие использования объекта прогнозирования принципу «безопасного разрушения», допускающему накопление некоторого количества неисправностей, не влияющих на основные характеристики оборудования, и предполагающему техническую возможность допуска начинающегося разрушения до выхода из строя за время между регламентными проверками;
- 6) среднее время наработки на данный отказ;
- 7) среднее время между корректирующими действиями на объект.

Методика выбора прогнозирующих параметров машины может быть предложена следующей:

- 1) прогнозируемые параметры в первую очередь выбираются для машины с высокой интенсивностью (наработкой, выработкой ресурса) эксплуатации и тяжелыми последствиями отказов;
- 2) для выбранных объектов составляются описания выполняемых функций, полные перечни вариантов отказов (дерева событий) и возможных последствий отказов;
- 3) на основании структурного анализа оборудования определяются критические функциональные элементы, оказывающие влияние на безопасность и экономичность, а также на другие элементы, у которых процессы расхода параметрической избыточности обладают сильной взаимообусловленностью;
- 4) составляется минимальный перечень параметров, определяющих работоспособность элементов оборудования, прогнозирование технического состояния которых может быть эффективным;
- 5) среди выбранных для анализа параметров отыскиваются такие, которые удовлетворяют заданным условиям.

12.9. Постановка диагноза по комплексу диагностических параметров

Постановка диагноза, когда производится поиск неисправности у сложного механизма или электронной системы и используется несколько диагностических параметров, требует иного подхода. В этом случае необходимо на основе данных о надежности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами.

Из практики и опыта технической диагностики диагноз в таких случаях, как правило, ставится не по одному, а по нескольким признакам. Эта задача значительно облегчается возможностями проведения расчетов микропроцессорной системой автоматически. В микропроцессорных системах можно предусматривать процесс «обучения», то есть корректирования матрицы вероятностей по мере накопления опытных данных. Коррективы в диагностическую матрицу может вносить диагност по результатам правильного диагноза, например по результатам разборки узла, или каким-то другим образом. Чем глубже знания и больше опыт диагноста, тем достовернее выдвигаемый им диагноз.

При разработке системы автоматической диагностики необходимо располагать алгоритмом постановки диагноза, на основании которого может действовать некоторая схема (в общем случае компьютер). Для этой цели в практике диагностирования автомобилей наиболее часто применяют диагностические матрицы (см. табл. 9.1...9.5, 10.1...10.12, 11.1, 11.2).

Диагностическая матрица, приведенная в табл. 12.6, представляют собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами P и возможными неисправностями D объекта.

При изменении технического состояния автомобиля различные неисправности могут частично сопровождаться одинаковыми диагностическими параметрами. Например, негерметичность клапана поплавковой камеры карбюратора (D_1) сопровождается повышенным расходом топлива – P_1 , большим содержанием углеводородов (C_nH_m) в выхлопных газах – P_2 , большим содержанием CO в выхлопных газах – P_3 , загрязнением карбюратора – P_4 . Износ топливных жиклеров (D_2) сопровождается: повышенным расходом топлива – P_1 , большим содержанием C_nH_m в выхлопных газах – P_2 , большим содержанием CO в выхлопных газах – P_3 . Неправильная регулировка холостого хода (D_3) сопровождается указанными ранее признаками $P_1, \dots, P_3$ и неустойчивой работой двигателя на холостом ходу – P_5 . Описание диагнозов удобно свести в матрицу, обозначая наличие признака «1», а отсутствие – «0» (см. табл. 12.6).

Говоря об отсутствии или наличии некоторого диагностического признака, имеем в виду, что диагностический параметр меньше или больше выбранного допустимого значения диагностического параметра P_d (ведь работающий двигатель всегда имеет какой-то расход топлива, какую-то температуру и т. д.).

Элементарная матрица диагнозов и диагностических параметров

Диагнозы (неисправности)	Диагностические параметры				
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5
D_1	1	1	1	1	0
D_2	1	1	1	0	0
D_3	1	1	1	0	1

Контролируемые диагностические параметры имеют случайный разброс из-за ошибок измерения, случайного сочетания режимов работы разных элементов автомобиля и т. п. Поэтому наличие или отсутствие диагностического признака при определенном диагнозе D_i не является достоверным событием («1» или «0»), а наблюдается с некоторой условной вероятностью $P_{Di}(\Pi_j)$.

Наблюдая за большой группой автомобилей, можно установить, насколько часто встречаются интересующие нас диагнозы $P(D_i)$ и с какой вероятностью при этих диагнозах существуют принятые для разрабатываемой системы диагностические параметры $P_{Di}(\Pi_j)$. Для определения вероятностей наблюдения различных признаков, можно искусственно вносить в автомобиль интересующие нас неисправности (нарушать регулировки и т. п.).

Для примера примем, что результаты статистических исследований по ранее рассматриваемому примеру будут представлены в табл. 12.7.

Таблица 12.7

Рабочая матрица, используемая для постановки диагноза по комплексу признаков

Диагноз	Вероятности наблюдения диагностических параметров					Вероятность диагноза $P(D_i)$
	$P_{Di}(\Pi_1)$	$P_{Di}(\Pi_2)$	$P_{Di}(\Pi_3)$	$P_{Di}(\Pi_4)$	$P_{Di}(\Pi_5)$	
D_1	1,0	0,8	0,9	1,0	0,2	0,05
D_2	0,9	0,7	0,9	0,0	0,2	0,10
D_3	0,6	0,1	0,9	0,1	0,9	0,30
D_4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,55

Поскольку используется вероятностный подход, то к трем рассматриваемым в табл. 12.6 диагнозам, в табл. 12.7 прибавлен еще один, образующий полную группу событий, диагноз D_4 – все остальное, то есть все возможные другие неисправности.

Поставим диагноз для автомобиля с комплексом признаков: двигатель перерасходует топливо – Π_1 , большое содержание $C_n H_m$ в выхлопных газах – Π_2 , карбюратор грязный – Π_4 , остальные диагностические параметры не наблюдаются, то есть

$$\Pi^* = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5\}.$$

Расчет наиболее вероятного диагноза можно произвести по известной в теории вероятностей формуле Байеса [14, 21, 50, 51].

12.10. Алгоритм прогнозирующего контроля автоматических систем диагностирования

Для оценки выработки ресурса в условиях реальной эксплуатации автомобиля оснащаются автоматизированными системами учета выработки ресурса наиболее нагруженных деталей агрегатов автомобилей. Достоверность этих систем определяется точностью входящих в их состав математических моделей и алгоритмов расчетного мониторинга температурного и напряженно-деформированного состояния.

Существенного повышения надежности объектов автомобиля, проконтролированных и восстановленных по результатам контроля, можно достичь, применяя индивидуальный прогнозирующий контроль. Прогнозирующим контролем (ПГК) будем называть такой контроль, который определяет вид технического состояния объекта в следующем интервале времени, которое наступает после момента проведения ПГК. В отличие от прогнозирующего, обычно широко распространен контроль, который предназначен для определения вида технического состояния объекта на момент проведения контроля, такой контроль называют иногда текущим контролем (ПТК). Стоит отметить, что элемент прогноза имеется и в текущем контроле, поскольку всегда ожидается, что объект, работоспособный по результатам контроля, будет сохранять это состояние в течение определенного отрезку времени, например, до момента его применения или до момента проведения следующего дежурного цикла контроля. Но, поскольку прогнозирование при текущем контроле является по своей сути групповым, а не индивидуальным, результаты его относительно низкие. Прогнозирующий контроль, благодаря учету им индивидуальных количественных результатов текущего контроля, позволяет получить большие значения вероятности работоспособного состояния объектов в межконтрольном интервале T_{Π} в сравнении с текущим, или же увеличить указанный интервал при уровнях показателей достоверности, не ниже заданных.

В зависимости от выбранных показателей качества контроля, которые подлежат улучшению (достоверность, периодичность), возможны различные алгоритмы выполнения прогнозирующего контроля. Блок-схемы двух из них изображенные на рис. 12.18, 12.19 [53].

Алгоритм двухступенчатого контроля (см. рис. 12.18) применяют для повышения достоверности контроля. Объект признается пригодным для применения, если результаты по обоим видам контроля – текущего (ПТК) и прогнозирующего с интервалом прогнозирования T_{Π} (ПГК) являются положительными.

Приведенный алгоритм не может применяться для деления объектов на пригодных и непригодных вследствие неочевидности негативных результатов ПГК и сложности проверки их истинности в моменты принятия решения по результатам контроля. Но в тех случаях, когда для выполнения особо ответственных заданий нужно выбрать из группы объектов наиболее надежные, указанный алгоритм может найти применение.

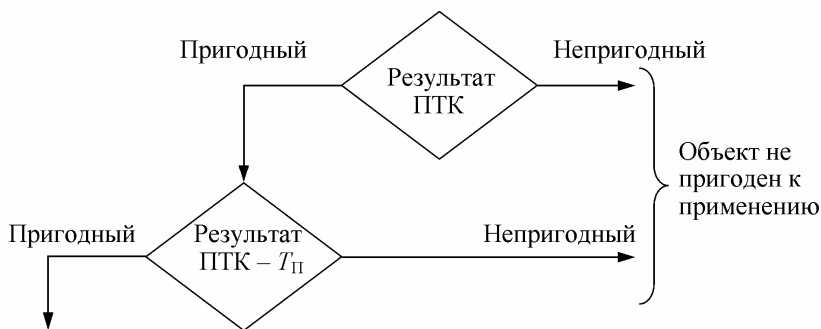


Рис. 12.18. Блок-схема алгоритма проведения двухступенчатого прогнозирующего контроля

Для увеличения межконтрольного интервала, а следовательно, снижения эксплуатационных расходов, возможно применение многоступенчатого контроля (см. рис. 12.19).

По получении результата «пригодный» текущего контроля АСК последовательно выполняет пошаговые этапы прогнозирующего контроля, то есть определяет работоспособность объекта в следующих интервалах времени, кратных интервалу T_{Π} ($\text{ПГК} - T_{\Pi}$, $\text{ПГК} - 2T_{\Pi}$, $\text{ПГК} - 3T_{\Pi}$ и т.д.). Последний в этой последовательности шаг с результатом «годный», полученный на K -м шаге прогнозирования ($K = 1, 2, 3, \dots$), определяет допустимый интервал времени до следующего цикла контроля этого образца, равный KT_{Π} .

Итак, в случае многоступенчатого ПГК межконтрольный интервал для каждого образца устанавливается индивидуально, в зависимости от конкретных результатов прогнозирования его технического состояния. Стоит отметить, что применение указанного алгоритма имеет смысл только в том случае, когда достоверность прогнозирующего контроля для каждого шага прогнозирования будет не ниже, чем достоверность группового прогнозирования по группе образцов, которая фактически имеет место при текущем контроле.

Сущность прогнозирующего контроля заключается в выработке прогнозирующим средством АСК результата прогнозирования, который является функцией совокупности результатов наблюдений за параметрами объекта, с последующей оценкой этого результата арифметико-логическими средствами АСК.

В зависимости от принципов работы прогнозирующих средств результатами прогнозирования могут быть следующими:

- спрогнозировано значение определяющего параметра;
- остаток «времени жизни» объекта в целом или по отдельным его параметрам;
- вероятность невыхода определяющего параметра за допустимые пределы в интервале прогноза;
- двухзначный код, несущий в себе информацию о соответствии или несоответствии норме определенного параметра в следующем интервале

времени и т. п.

Информационной основой прогнозирующего контроля являются результаты текущего контроля, накопленные в определенном интервале наблюдений. Эти результаты хранятся в памяти АСК в виде числовых данных и используются прогнозирующим средством АСК во время выполнения операций прогнозирующего контроля.

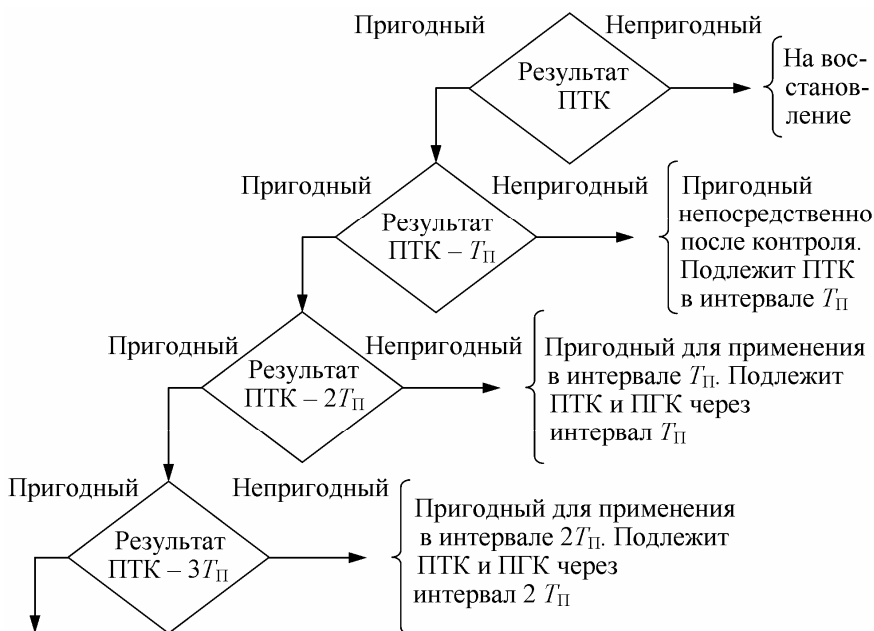


Рис. 12.19. Блок-схема алгоритма проведения многоступенчатого прогнозирующего контроля

12.11. Факторы, влияющие на ошибки прогноза ресурса

После выбора прогнозирующей функции вторым центральным вопросом теории прогнозирования вообще и индивидуального в частности, является вопрос ошибки прогноза. Основными источниками ошибок прогноза являются:

- наличие неконтролируемых внешних факторов, погрешности измерения и им подобные (помехи), искажающие исходные статистические данные (ИСД) на участке наблюдения и в прогнозируемой точке;
- неправильный выбор ПФ и ошибки в оценке ее параметров;
- изменение характера протекания процесса на участке упреждения по сравнению с первоначальным на участке наблюдения.

Схема образования ошибок прогноза показана на рис. 12.20.



Рис. 12.20. Факторы, влияющие на образование ошибки прогноза

Естественно, что исследователь всегда стремится к минимуму ошибки прогноза

$$\sigma^2_{k+1} \Rightarrow \min.$$

При прочих равных условиях (объеме ИСД и ДСД, априорной информации, величине упреждения и т.д.) значение минимума ошибки прогноза характеризует эффективность метода прогнозирования. Например, отмечается, что при прогнозе методом линейной фильтрации в случае отсутствия модели тренда ПФ вида авторегрессии скользящего среднего дает меньшую ошибку прогноза, чем экспоненциальное сглаживание, но сложнее при практической реализации.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят задачи прогнозирования?
2. Какие существуют способы прогнозирования технического состояния?
3. Опишите процесс прогнозирующего диагностирования.
4. Приведите наиболее важные показатели качества прогнозирования.
5. Какое прогнозирование осуществляется на стадии доводки и производства машины?
6. Какие данные необходимы для прогнозирования технического состояния на стадии эксплуатации?
7. Какова цель прогнозирования технического состояния на стадии эксплуатации?
8. Как производится отбор и оценка информативных признаков технического состояния объекта диагностирования?

9. Как производится прогнозирование состояния технического объекта с помощью классификаторов?
10. Опишите три метода прогнозирования.
11. Как производится прогнозирование остаточного ресурса?
12. Что означает прогнозирование по экономическому критерию?
13. Как определяют оптимальный остаточный ресурс?
14. Какова суть методов экспертных оценок технического состояния объекта?
15. Как используются результаты прогнозирования в техническом обслуживании машин?
16. Как выполняется прогнозирование детерминированных процессов?
17. Что включает в себя теория прогнозирования остаточного ресурса?
18. Охарактеризуйте методы линейного прогнозирования.
19. Опишите методы прогнозирования по среднему статистическому измерению параметров. Каковы недостатки этого метода?
20. Как производится прогнозирование по нормативным значениям диагностического параметра?
21. Как производится прогнозирование остаточного ресурса по реализации?
22. Как можно прогнозировать остаточный ресурс по карточке учета?
23. Как осуществляется индивидуальное прогнозирование?
24. Как осуществляется постановка диагноза по комплексу диагностических параметров?
25. Приведите алгоритм прогнозирующего контроля автоматическими системами диагностирования.
26. Приведите факторы, влияющие на ошибки прогноза ресурса.

Литература

1. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994.- 23 с.
2. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования: Дата введения с 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 11 с.
3. ГОСТ 25044-81. Диагностика автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных машин. Основные положения: Дата введения с 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения: Взамен ГОСТ 20911-75. Дата введения с 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982.– 10 с.
5. Ополоник Т. Н. Эффективность диагностирования тракторов / Т. Н. Ополоник. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 124 с.
6. Мигаль В. Д. Модели оценки технического состояния и управления ресурсом и надежностью машин / В. Д. Мигаль, А. В. Бажинов, М. С. Олискевич // Автомобильный транспорт. Сб. науч. трудов. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2003. – Вып. 13. – С. 30-34.
7. Мигаль В. Д. Цели и задачи диагностирования машин в жизненном цикле / В. Д. Мигаль // Вестник Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2004. – № 23. – С. 39-41.
8. Мигаль В. Д. Вибрационные принципы доводки машин до заданного ресурса / В. Д. Мигаль // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. № 7 (77), ч. 1.– С. 186-192.
9. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 2. Диагностические параметры / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 590 с.
10. Мигаль В. Д. Вибрация и надежность транспортных машин / В. Д. Мигаль, В. М. Мищенко, В. П. Волков, С. А. Гаврилов, А. В. Мищенко: под ред. В. Д. Мигалья. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 383 с.
11. Мигаль В. Д. Принципы и алгоритмы проектирования транспортных машин на заданный ресурс по вибрационным характеристикам / В. Д. Мигаль // Вестник Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2004. – № 24. – С. 21-24.
12. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 6. Диагностическое обеспечение технической и экологической безопасности / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 538 с.
13. Мигаль В. Д. Техническая безопасность автомобилей: справ. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 202 с.
14. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы: учеб. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 516 с.
15. Мигаль В. Д. Вибродиагностика машин при эксплуатации / В. Д. Мигаль. – Х.: Изд-во ХГПУ, 1997. – 293 с.

16. Мигаль В. Д. Анализ развития и задачи подготовки высококвалифицированных специалистов по технической диагностике транспортных машин / В. Д. Мигаль, В. И. Клименко, Л. А. Рыжих // Автомобильный транспорт. Сб. науч. трудов. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2011. – Вып. 29. – С. 172-178.
17. Сергеев А. Г. Метрологическое обеспечение эксплуатации технических систем: учеб. пособие / А. Г. Сергеев. – М.: Изд-во МГОУ, 1994. – 488 с.
18. Андропов Б. С. Диагностирование автотранспортных средств: учеб. пособие / Б. С. Андропов. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. – 55 с.
19. Мигаль В. Д. Повышение достоверности прогнозирования надежности машин / В. Д. Мигаль // Автомобильный транспорт. Сб. науч. трудов. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2005. – Вып. 16. – С. 25-30.
20. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 5. Средства диагностирования. Книга 2 / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 459 с.
21. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 3. Методы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 550 с.
22. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 1. Дефекты производства и эксплуатационные неисправности / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 450 с.
23. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 4. Средства диагностирования. Книга 1 / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 500 с.
24. Мигаль В. Д. Теория технической диагностики автомобилей: учеб. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 472 с.
25. Мигаль В. Д. Методы технической диагностики автомобилей : учеб. пособие / В. Д. Мигаль, В. П. Мигаль. – М.: ИМ «Форум»: ИНФРА-М, 2013. – 423 с.
26. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 1. Объекты и методы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 459 с.
27. Мигаль В. Д. Вибрационные методы и средства распознавания дефектов машин / В. Д. Мигаль. Х.: Изд-во ХГПУ, 1996. – 235 с.
28. Мигаль В. Д. Вибрация машин и ее диагностические признаки / В. Д. Мигаль. Х.: Изд-во ХГПУ, 1997. – 264 с.
29. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 2. Неисправности, параметры и средства диагностики / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 403 с.
30. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 3. Практические основы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 444 с.
31. Мигаль В. Д. Основи технічної діагностики автомобілів. Апаратні засоби вібраційного діагностування: навч.-методичний посібник / В. Д. Мигаль, І. А. Мармут. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 124 с.

32. Мигаль В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. параметры и системы управления: учеб. пособие / В. Д. Мигаль, А. Н. Врублевский. – Х.: Майдан, 2015. – 264 с.
33. Мигаль В. Д. Средства информационных систем автомобиля: справ. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 444 с.
34. Оробей В. Ф. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобілем / В. Ф. Оробей, В. Г. Максимов, О. Д. Ніцевич та ін.: під ред. М. Б. Копитчука. – О.: Наука і техніка, 2012. – 392 с.
35. Мигаль В. Д. Технічна кібернетика транспорту: навч. посіб / В. Д. Мигаль. – Х.: ВД «ИНЖЕК», 2007. – 328 с.
36. Дубровин В. И. Интеллектуальные средства диагностирования и прогнозирования надежности авиадвигателей: монография / В. И. Дубровин, С. А. Субботин, А. В. Богуславов, В. К. Яценко. – Запорожье: ОАО «Мотор-Січ», 2003. – 279 с.
37. Беляков В. В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В. В. Беляков, М. Е. Бушуева, В. И. Сагунов. – Н. Новгород: Нижегород. гос. ун-т, 2001. – 271 с.
38. Надежность технических систем / Е. Переверзев, А. Алпачев, Ю. Дашев, П. Новак. Днепропетровск: Пороги, 2002. – 396 с.
39. Мигаль В. Д. Теорія і методи наукової творчості: навч. посіб / В. Д. Мигаль. – Х.: ВД «ИНЖЕК», 2007. – 424 с.
40. Бажинов О. В. Надійність автомобільних поїздів: монографія / О. В. Бажинов, О. К. Кравченко. – Луганськ, Ноулідж, 2009. – 412 с.
41. Бороденко Ю. М. Діагностика електрообладнання автомобілів: навч. посіб / Ю. М. Бороденко, О. А. Дзюбенко, О. М. Биков. – Х: ХНАДУ, 2014. – 225 с.
42. Дуэль М. А. Диагностирование состояния и условий эксплуатации энергооборудования ТЭС и АЭС / М. А. Дуэль, А. Л. Дуэль, В. А. Кострикин и др.: под общей ред. М. А. Дуэль. – Х.: 2006. – 284 с.
43. Буровлев А. И. Управление техническим состоянием динамических систем / А. И. Буровлев, Б. И. Доценко, И. Е. Казаков. – М.: Машиностроение, 1995. – 240 с.
44. Калявин В. П. Организация систем диагностирования судового оборудования / В. П. Калявин, А. М. Малышев, А. В. Мозгалеvский. – Л.: Судостроение, 1991. – 166 с.
45. Мозгалеvский А. В. Системы диагностирования судового оборудования / А. В. Мозгалеvский, В. П. Калявин. – Л.: Судостроение, 1987. – 220 с.
46. Мозгалеvский А. В. Диагностирование электронных систем / А. В. Мозгалеvский, В. П. Калявин, Г. Г. Костанди: под ред. А. В. Мозгалеvского. – Л.: Судостроение, 1984. – 224 с.
47. Мигаль В. Д. Технологія наукових досліджень: методи системного підходу й моделювання: навч.-методичний посібник / В. Д. Мигаль. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 200 с.

48. Воронин В. В. Диагностирование технических объектов / В. В. Воронин. – Хабаровск: Изд-во Хабаровск. гос. техн. ун-та, 2002. – 188 с.
49. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навч. посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенський, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 118 с.
50. Малкин В. С. Основы эксплуатации и ремонта машин / В. С. Малкин, Ю. С. Бугаков. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 431 с.
51. Говорущенко Н. Я. Техническая кибернетика транспорта: учеб. пособие / Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
52. Осис Я. Я. Диагностирование на граф-моделях / Я. Я. Осис, Я. А. Гольфандейн. – М.: Транспорт, 1991. – 224 с.
53. Чорний Г. П. Автоматизовані системи контролю літальних апаратів: навч. посібник / Г. П. Чорний. – К.: НАУ, 2008. – 160 с.
54. Мигаль В. Д. Определение мест и контрольных точек вибрационного диагностирования машин / В. Д. Мигаль // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільського господарства Вип. 24. – Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Х.: ХДТУСГ, 2004. – С. 323-331.
55. Мигаль В. Д. Методи нормування експлуатаційної вібрації та класів якісного оцінювання технічного стану трактора / В. Д. Мигаль // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільського госп. Вип. 8. Збірник наук праць «Підвищення надійності відновлених деталей машин». – Х.: ХДТУСГ, 2001. – С. 280-285.
56. Острейковский В. А. Теория надежности: учеб. для ВУЗов / В. А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
57. Машиностроение. Энциклопедия: ред. совет К. Ф. Фролов (пред.) и др. Т. IV-3. Надежность машин / В. В. Клюев, В. В. Болотин, Ф. Р. Соснин и др.: под общей ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 592 с.
58. Кирса В. Т. Прогнозування технічного стану машин / В. Т. Кирса. – К.: Урожай, 1978. – 72 с.
59. Бельских В. И. Диагностика и обслуживание сельскохозяйственной техники / В. И. Бельских. – М.: Колос, 1980. – 576 с.
60. Смирнов Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилем: учеб. пособие / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. – СПб.: Лань, 2012. – 619 с.
61. Голобородько О. О. Мехатронні системи автомобільного транспорту: навч. посібник. / О. О. Голобородько, В. В. Редчиць, О. М. Коробочка. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 300 с.
62. Данов Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей / Б. А. Данов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 244 с.
63. Соснин В. А. Новейшие автомобильные электронные системы / В. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 240 с..

64. Петров В. М. Электрооборудование, электронные системы и бортовая диагностика автомобилей: учеб. пособие / В. М. Петров, И. Ф. Дьяков. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2005. – 115 с.

65. Кучер В. П. Диагностика японских автомобилей / В. П. Кучер. – М.: Легион-Автодата, 2002. – 176 с.

66. Твег Р. Диагностика электронной системы управления двигателя автомобиля. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту / Р. Твег. – М.: Астрель, 2003. – 144 с

67. Литвиненко В. В. Автомобильные датчики, реле и переключатели / В. В. Литвиненко, А. П. Майструк. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.

68. Сига Х. Введение в автомобильную электронику: пер. с яп. / Х. Сига, С. Мидзутани. – М.: Мир, 1989. – 232 с.

69. Мигаль В. Д. Організація, методи та викладання результатів наукових досліджень: навч.-методичний посібник / В. Д. Мигаль. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 276 с.

Предметный указатель

авария 37, 69, 133, 270, 325, 357

аварийный отказ 75, 325, 358

автоматизация 17, 42, 43, 44, 49, 63, 64, 83, 117, 168, 172, 225, 232, 276, 284, 304, 360

автоматизированный контроль (АСК, АСУ) 40, 42, 52, 56, 71, 77, 79, 81, 89, 102, 115, 122, 149, 199, 266, 267, 268, 270, 271, 272, 273, 282, 283, 288, 291, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 301, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 312, 313, 314, 316, 317, 326, 345, 368, 376, 377, 378

алгоритм(ы) 12, 34, 40, 47, 48, 49, 50, 54, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 83, 85, 88, 89, 90, 97, 102, 105, 110, 111, 116, 119, 125, 150, 151, 152, 153, 158, 168, 171, 172, 177, 180, 182, 183, 185, 189, 191, 192, 194, 197, 198, 203, 210, 212, 215, 226, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 238, 248, 253, 256, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 268, 269, 275, 276, 281, 285, 288, 293, 295, 296, 298, 299, 322, 323, 330, 346, 361, 374, 376, 377, 378

бортовая система контроля и диагностики (БСКД) 91, 92, 93

быстродействие 134, 150, 233, 320

виброконтролепригодность 210, 211

деградация 15, 21, 22, 27, 29, 159, 326, 341, 345, 349

деградационные процессы 10, 11, 21, 27, 31, 229, 339

дерево:

- декомпозиций 207, 226

- поиска дефектов 215

- функций 124

- целей 207, 208

дефект 9, 10, 11, 12, 13, 14, 24, 26, 31, 32, 34, 40, 49, 51, 54, 56, 57, 58, 66, 67, 69, 74, 77, 84, 89, 90, 97, 98, 99, 100, 103, 106, 111, 115, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 148, 157, 165, 168, 169, 170, 172, 173, 176, 177, 182, 185, 186, 187, 190, 194, 197, 207, 211, 212, 215, 226, 228, 230, 232, 248, 249, 275, 277, 280, 283, 299, 300, 301

диагноз 11, 12, 14, 40, 42, 43, 45, 48, 50, 56, 73, 77, 84, 87, 89, 105, 115, 119, 158,

167, 180, 181, 193, 195, 196, 197, 198, 324, 325, 327, 359, 361, 374, 375

допуск 15, 69, 124, 127, 146, 160, 180, 196, 201, 222, 271, 272, 274, 277, 280, 281, 283, 307, 336, 355, 373

достоверность 9, 14, 17, 18, 24, 27, 37, 38, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 76, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 89, 103, 110, 125, 159, 160, 163, 182, 184, 188, 198, 226, 232, 233, 297, 308, 314, 316, 320, 322, 343, 349, 361, 367, 376, 377

задача:

- автоматических систем 271

- анализа 301

- генезиса 69, 319, 325

- декомпозиции 235

- диагностическая (диагностирования) 9, 12, 13, 46, 49, 51, 57, 61, 67, 68, 69, 73, 77, 78, 80, 81, 82, 84, 95, 105, 111, 116, 131, 145, 158, 168, 169, 173, 174, 175, 177, 187, 189, 190, 194, 196, 198, 199, 217, 218, 220, 225, 226, 230, 231, 235, 276, 284, 319, 327, 328

- измерения параметров 89

- исследований 208

- классификации 61, 64, 73, 78, 116, 154, 155

- математического обеспечения 188

- математического программирования 217

- метрологическая 94

- неразличимости состояний 249

- обучения 155

- описания 154, 155

- оптимизации 24, 265

- отбора признаков 153, 327, 347

- построения и реализации алгоритмов диагностирования 191, 232

- прогнозирования (прогноза) 48, 62, 70, 161, 195, 319, 320, 321, 322, 325, 327, 328, 329, 330, 335, 341, 342, 343, 344, 345, 347, 349, 371

- разделения 99

- распознавания 15, 61, 66, 67, 77, 78, 149, 153, 154, 180, 181, 194, 195

- самообучения 155

- синтеза схем 186

- теории контролеспособности 40

- эксплуатации 70

замыкание 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 158, 200, 216

интегральные схемы (ИС) 99, 133, 134, 135, 137, 252

интеллектуальная диагностика 116, 117

классификация:

- встроенных средств диагностики 75
- дефектов и неисправностей 126, 127, 131
- диагностических моделей 175, 176, 178
- диагностических параметров 147, 149
- задач (методов) прогнозирования 327, 331, 332, 333, 335, 336
- кодов неисправностей 288
- методов диагностирования 105, 106, 123, 336, 337
- методов исследования 189
- надежности 21
- образов технического состояния 49
- признаков 49
- прогнозирующих функций (ПФ) 372
- систем распознавания 155, 156
- факторов, влияющих на надежность 19

конструктивный отказ 125

контролепригодность 12, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 51, 52, 53, 59, 60, 86, 87, 101, 102, 152, 182, 186, 231, 283, 291, 293, 294, 295, 328

контролеспособность 40, 117

критерий 28, 58, 151, 154, 315, 373:

- «внешние причины» 126
- Байесов 35
- вероятностный 344
- информативности признаков 150, 153, 154, 157, 328
- качества прогнозирования 336
- минимальной стоимости 257, 260
- оперативности 255
- оптимальности 285, 286, 343
- оптимизации алгоритмов 260
- организации системы диагностирования 86
- оценки диагностического теста 255, 300
- предельного состояния 102, 104, 147, 331
- пригодности 328, 329, 330
- прогнозирования остаточного ресурса 338
- распознавания 62, 155
- скорости получения информации 215
- сохранения качества 67

- сравнения 66
- суммарных затрат 162
- технико-экономический 16, 146, 152
- технический 16, 152, 338
- технического состояния 211, 338
- экономический 152, 338
- эксплуатационной надежности 214
- эффективности 85, 146, 267, 285, 314, 315

матрица 177, 187, 199, 200, 201, 202, 204, 213, 236, 237, 238, 239, 240, 301, 375:

- бинарная 181
- вероятностная 198, 199, 374
- диагнозов 375
- диагностическая 198, 199, 241, 242, 374
- диодная 198
- достигаемости 235, 236
- ковариационная 321
- контрольных пар 202
- логическая 199
- неисправностей 199, 213
- переходных вероятностей 161, 162
- проверок 248, 249
- реакций 301
- связей 235, 236, 239
- смежности 224, 225
- состояний 225, 245, 248, 250, 251, 261, 262
- транспонированная 236

метод(ы):

- «раскручивания» 303, 304
- аналитические 176, 189, 342
- аналогии 64
- Байеса 197
- Вальда 197
- вероятностного прогнозирования 195
- вероятностные 65, 84
- весовых коэффициентов 151
- вибрационные 211, 215
- виброакустические 109
- вычисления оценок 66
- газоаналитические 107
- гидрогазодинамические 109
- граф-моделей 217
- графические 177, 189
- графоаналитические 177, 189
- дедукции (дедуктивный) 64, 124
- дерева целей 207
- детерминированный 65, 180, 181, 194, 196, 345

- диагностирования по нормативным параметрам 356
- диагностирования по параметрам рабочих процессов 119
- диагностирования по параметрам сопутствующих процессов 120
- диагностирования по структурным параметрам 121
- допусковый 196
- измерительный 105
- имитационные 177
- индикационные 179
- индукции 64
- инструментальные 105, 118
- интеллектуальные 49, 105, 106, 112, 115
- интуитивные 64, 180
- классификации 342
- комбинационный 122
- контроля 13, 24, 82, 105
- линейного прогнозирования 348
- логические 65, 111
- математические 189, 335
- математической статистики 79, 115, 150, 153, 159, 181
- морфологического анализа 226
- нейросетевые 116
- непараметрический 340
- неразрушающего контроля 107
- нормирования предельных значений 161
- отрицательной проверки 250, 251
- оценки по значениям входных параметров 196
- параметрический 340
- пересечения сфер влияния 309
- периодически действующие 47, 48
- поисковые 180
- последовательный 122
- постоянно действующие 47
- потенциалов 64
- прогнозирования 331, 332, 333, 334, 336, 337, 338
- прогнозирования по реализации 360, 361
- прогнозирования по среднему статистическому измерению 349
- разовые 47, 48
- системные 335
- сокращенного перебора 256, 257
- сравнения 64
- теории графов 202, 276
- теории принятия решений 79
- теории распознавания образов 61, 62, 65, 107
- теории статистической классификации 62, 151
- тепловые и оптические 107
- тестовые 54
- физико-статистические 339
- физико-химические 108
- физические 108, 112
- физического и математического моделирования 188
- формализованный 235
- функциональные 54
- эвристические 64, 105, 106, 111
- эквивалентной нормальной формы 258
- экспериментальный 105
- экспертных оценок 44, 339
- экстраполяции 339, 341, 342
- энергетические 109
- микропроцессор** 67, 77, 82, 88, 90, 124, 138, 139, 194, 198, 267, 284, 285
- микропроцессорная система** 51, 75, 76, 275, 286, 374
- модель** 21, 24, 40, 65, 78, 89, 90, 92, 97, 116, 117, 118, 133, 136, 138, 235, 241, 258, 339:
 - «марковская» 162
 - абстрактная 34, 168
 - адаптивная 179
 - аналитическая 176, 177, 178, 181, 189, 194, 220, 223, 322, 346
 - вероятностная 171, 178, 179, 190, 194, 195, 196
 - высокоиерархическая 65
 - гибридная 175, 275
 - граф-модель 66, 189, 203, 215, 216, 217, 218, 219, 229, 276
 - графическая 177, 223
 - графоаналитическая 177, 223, 225, 275
 - двуфункционально-логическая 176, 182, 203, 211, 214
 - детерминированная 171, 174, 178, 179, 190, 194, 196, 347
 - дефекта 185
 - диагностическая 13, 21, 47, 50, 54, 60, 69, 76, 77, 78, 79, 80, 89, 99, 116, 119, 147, 148, 156, 163, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 177, 178, 179, 181, 182, 185, 186, 187, 189, 193, 196, 215, 220, 225, 226, 229, 233, 235, 244, 246, 258, 264, 275, 276, 278, 299, 329

- динамическая 174, 186, 187, 336
- дискретная 175, 176, 181, 246, 247, 248
- игровая 336
- имитационная 177
- интуитивная 178, 179
- информационная 9, 176, 178, 182
- контроля 282
- концептуальная 117, 118
- корреляционная 178, 179
- линейная 177, 190, 350
- логическая 40, 99, 173, 181, 182, 183, 185, 186, 198, 213, 221, 222, 223, 232, 279, 281, 282, 374
- математическая 78, 80, 89, 117, 118, 159, 184, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 222, 233, 283, 299, 310, 334, 349, 376
- матричная 275
- неисправности 134, 135, 136, 137, 174, 185, 186, 199
- нейронов (нейронная) 63, 64
- нейросетевая 64
- нелинейная 178, 190
- непрерывная 174, 175, 176, 177
- нечеткологическая 64
- неявная 134, 172, 174, 231
- отказов 116
- параметрическая 177, 178, 179
- полиномиальная регрессивная 65
- полуэмпирическая 178, 189
- прогноза 48, 330, 338, 362
- процесса 282, 322, 345, 346, 347
- распознавания образов 64
- регрессионная 181
- с последовательной структурой 243
- символическая 178
- случайная 181
- специальная 175, 176
- статическая 174, 192
- статистическая 334
- стохастическая 178, 189
- структурная 23, 134, 163, 168, 171, 186, 188, 203, 204, 206, 215
- структурно-наследственная 203, 204, 205
- структурно-функциональная 220
- топологическая 177, 181, 217, 224
- факторная 336
- физико-вероятностная 22
- физико-статическая 339
- физическая 11, 150, 178, 283
- формализованная 171, 172

- формальная 188
- формально-логическая 275
- функциональная 111, 134, 171, 176, 182, 183, 213, 243, 244, 245, 257, 279, 280, 285
- цифровая 251, 252, 253, 258, 260
- экстремальная 179
- электронная 63
- эмпирическая 178, 189
- эталонная 172
- явная 172, 174, 230

мониторинг 14, 28, 30, 92, 376

наработка 11, 16, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 36, 46, 47, 50, 56, 71, 73, 87, 115, 128, 148, 161, 162, 163, 164, 166, 325, 334, 338, 339, 340, 344, 348, 349, 350, 353, 354, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 373

номограмма 204, 359, 365, 366, 369

обеспечение:

- алгоритмическое 267
- аппаратное 269
- диагностическое 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 57, 58, 59, 67, 71, 73, 75, 76, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 105, 106, 111, 115, 125, 170, 175, 176, 203, 225, 231, 275, 322, 343
- информационное 89, 91, 102, 116, 232
- математическое 85, 89, 90, 102, 116, 188, 266, 276
- метрологическое 56, 57, 80, 81, 86, 87, 93, 94, 184, 210, 211, 316, 317, 361
- программно-алгоритмическое 79, 89
- программно-математическое 80, 89
- программное 54, 63, 89, 92, 93, 107, 115, 119, 138, 168, 232, 267, 268, 269, 276, 288, 296, 297, 298, 369
- техническое 89, 90, 91, 102, 116, 232

обрыв цепи 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 185, 200, 216, 243, 246, 247, 248, 318

объект диагностирования 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 28, 42, 47, 50, 51, 52, 54, 56, 62, 67, 68, 73, 78, 79, 81, 82, 83, 85, 86, 88, 89, 90, 95, 97, 100, 101, 102, 103, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 120, 121, 142, 143, 148, 156, 157, 158, 159, 161, 163, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 193, 196, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 207, 213, 214, 215, 220, 222, 223, 224, 225, 227, 228, 229, 232, 233, 240, 261, 271, 274, 276, 277, 279,

280, 288, 291, 327, 328, 335, 338, 340, 357, 360, 368
отказ 11, 12, 13, 14, 18, 24, 27, 29, 33, 34, 40, 46, 47, 50, 54, 60, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 78, 81, 82, 87, 90, 95, 97, 100, 111, 112, 115, 116, 119, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 133, 137, 138, 144, 153, 156, 157, 158, 161, 163, 164, 166, 167, 173, 181, 182, 185, 186, 190, 191, 192, 194, 205, 213, 215, 225, 228, 229, 232, 233, 243, 265, 269, 271, 272, 275, 276, 280, 281, 283, 295, 297, 303, 304, 309, 312, 323, 324, 325, 326, 328, 329, 330, 338, 339, 340, 344, 349, 350, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 362, 367, 370, 373
параметр(ы) состояния 12, 13, 16, 22, 24, 25, 26, 28, 34, 36, 74, 81, 89, 119, 144, 145, 148, 156, 160, 161, 163, 166, 167, 188, 193, 194, 195, 199, 283, 285, 325, 336, 338, 344, 345, 349, 350, 351, 352, 353, 355, 360, 361, 366, 367, 369, 370
правила диагностирования 48
предмет технической диагностики 9, 10
пробой 132, 135, 248, 326
прогноз(ирование) 9, 12, 17, 21, 27, 29, 30, 31, 34, 36, 37, 40, 46, 47, 48, 50, 56, 61, 62, 66, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 83, 87, 89, 93, 107, 108, 115, 116, 151, 152, 157, 161, 181, 194, 195, 199, 210, 211, 233, 271, 272, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 354, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 376, 377, 378, 379
производственный отказ 126
работоспособность 12, 13, 15, 16, 37, 40, 56, 68, 69, 71, 75, 77, 78, 89, 90, 103, 104, 112, 118, 121, 124, 130, 133, 145, 146, 147, 158, 159, 161, 165, 166, 167, 169, 171, 182, 190, 195, 186, 203, 213, 217, 226, 233, 235, 239, 241, 268, 269, 271, 272, 275, 276, 277, 278, 282, 283, 299, 306, 308, 320, 323
распознавание образов 15, 61, 154
реализация параметра 16
резервирование 15, 19
ресурс 16, 17, 19, 21, 24, 27, 28, 29, 31, 33, 34, 38, 46, 53, 57, 71, 76, 85, 93, 95, 115, 129, 144, 145, 157, 159, 160, 161, 162, 166, 205, 209, 210, 211, 229, 232,

271, 297, 305, 324, 325, 331, 332, 334, 336, 339, 340, 345, 348, 349, 351, 352, 353, 354, 359, 361, 362, 363, 365, 366, 367, 368, 370, 373, 376, 378:
 - безопасный 27, 29, 31, 32, 349
 - вычислительный 134, 297
 - гарантированный 362
 - заданный 21, 34, 58, 210
 - межремонтный 326, 336
 - назначенный 33, 43, 44
 - остаточный 9, 16, 29, 30, 36, 38, 46, 50, 56, 61, 66, 69, 70, 71, 73, 74, 87, 107, 108, 112, 115, 119, 145, 157, 199, 209, 233, 324, 325, 326, 327, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 338, 339, 340, 344, 345, 348, 349, 351, 352, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 369
 - работоспособности 68
 - средний 36, 344, 353, 356, 365, 366
ресурсный параметр 16, 95, 112, 143, 144, 147, 163, 164, 166, 167, 357
самоконтроль 50, 289, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313
самопоиск 309
сбой 27, 32, 110, 132, 133, 138, 139, 140, 297
системы распознавания образов:
 - вероятностные 63, 65
 - детерминированные 63, 65
 - комбинированные 66
 - логические 63, 65
 - нейросетевые 63, 64
 - нечеткологические модели 64
 - с использованием метода потенциалов 64
 - структурные (лингвистические) 63, 65
 - экспертные 64
спонтанный отказ 138
стандарт(ы):
 - ISO 15031-3 288, 289
 - ISO 15031-6 290
 - ISO 9141 92
 - ISO 9141-2 288
 - OBD-II 288, 289, 290, 291
 - SAE J1850 288
 - SAE J1930 289
 - SAE J1962 288
 - SAE J1978 289
 - SAE J1979 289
 - SAE J2012 289
 - ГОСТ 154667-93 10

- ГОСТ 19838-74 291
- ГОСТ 19838-74 291
- ГОСТ 21571-76 350, 353, 365
- ГОСТ 23563-79 42
- ГОСТ 25044-81 327
- ГОСТ 25518-87 45
- ГОСТ 27002-89 68, 340
- ГОСТ 27302-86 46, 352
- ДСТУ 2389-94 67
- ЕСПД 298
- РД 50-650-87 340
- старение** 10, 11, 15, 21, 31, 128, 135, 137, 157, 345, 371
- таблица:**
 - истинности 258, 259
 - неисправностей (ТН) 172, 199, 200, 201, 202, 213, 214, 215, 225, 244, 245, 248, 249, 250, 251, 253, 258, 280, 281, 300, 301
 - покрытий (ТП) 253, 254
 - функций неисправностей (ТФН) 97, 191, 200, 201, 202, 281
 - циклическая 257
- теорема:**
 - булевой алгебры 255
 - гипотез (Байеса) 310
- технический уровень (проектирования)** 17, 18, 19, 20, 21, 25, 46, 58, 59, 71, 94, 159, 161, 207, 211, 349
- техническое обслуживание (ТО)** 15, 18, 19, 20, 27, 33, 37, 38, 40, 44, 47, 48, 50, 54, 56, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 83, 93, 95, 112, 115, 118, 125, 129, 146, 149, 152, 157, 161, 165, 167, 172, 184, 211, 233, 270, 272, 273, 274, 309, 314, 325, 326, 336, 338, 339, 344, 348, 349, 350, 352, 353, 354, 355, 357, 358, 359, 361, 362, 366, 367, 370
- техническое состояние** 9, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 78, 84, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 97, 99, 100, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 113, 115, 119, 120, 121, 126, 128, 129, 130, 131, 142, 143, 145, 147, 148, 149, 156, 157, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 181, 188, 190, 191, 193, 194, 196, 198, 199, 201, 202, 204, 207, 209, 211, 212, 213, 214, 219, 221, 222, 223, 225, 227, 229, 230, 232, 233, 244, 255, 256, 261, 264, 268, 270, 271, 272, 273, 274,

- 275, 277, 278, 288, 291, 294, 295, 297, 301, 302, 310, 314, 315, 319, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 334, 335, 336, 338, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 356, 357, 358, 359, 360, 362, 366, 367, 368, 369, 370, 372, 373, 374, 376, 377
- топология** 64, 177, 217
- точность** 14, 17, 20, 38, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59, 63, 81, 83, 87, 89, 94, 100, 103, 115, 120, 127, 138, 152, 163, 174, 178, 183, 184, 188, 189, 193, 196, 197, 211, 217, 226, 232, 233, 249, 270, 278, 297, 305, 308, 314, 318, 320, 335, 340, 341, 342, 344, 349, 351, 360, 361, 366, 371, 373, 376
- формула Байеса** 197, 310, 375
- экспертная система** 64, 173
- экспресс-анализ** 121
- экспресс-диагностирование** 14, 93
- эталон** 63, 65, 66, 94, 107, 155, 304, 317
- эффективность** 28, 36, 37, 49, 51, 83, 87, 88, 91, 95, 116, 118, 129, 158, 173, 184, 211, 219, 231, 232, 233, 267, 314, 315, 316, 325, 349, 373, 379

Учебное издание

**ТУРЕНКО Анатолий Николаевич
МИГАЛЬ Василий Дмитриевич
РЫЖИХ Леонид Александрович**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Учебное пособие

В авторской редакции

Технический редактор А. И. Жадан

Компьютерная верстка и дизайн обложки А. И. Жадан

Підписано до друку 03.12.2015. Формат 70х100/16.
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 24,5. Наклад 300 прим. Зам. № 15-79.

Видання і друк ТОВ «Майдан»
61002, Харків, вул. Чернишевська, 59
Тел.: (057) 700-37-30

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1002 від 31.07.2002 р.