

В. Д. Мигаль

**Техническая диагностика
автомобилей. Теоретические
основы**

*Рекомендуется ученым советом Харьковского национального
автомобильно-дорожного университета в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство»
(протокол № 9 от 30.05.2014)*

Харьков
«Майдан»
2014

УДК 629.33
ББК 30
М 57

Рецензенты: **Подригало М. А.**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология машиностроения и ремонта машин» Харьковского национального автомобильно-дорожного университета

Кравченко А. П., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматика и управление на транспорте» Восточноукраинского национального университета им. В. Даля

Игуменцев Е. А., д-р техн. наук, профессор кафедры «Системы управления технологическими процессами и объектами» Украинской инженерно-педагогической академии

Барановский Б. Н., д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, зав. кафедрой транспорта и транспортных технологий Кременчугского университета информационных технологий и управления

Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы : учеб. пособ. / В. Д. Мигаль. – Х. : Изд-во «Майдан», 2014. – 516 с.

ISBN 978-966-372-418-8.

Рассмотрены цели, задачи технической диагностики, показатели диагностирования и необходимые знания диагноста, определяющие эффективность диагностирования.

Описаны характеристики объектов диагностирования автомобилей, виды их технического состояния и факторы, определяющие появление неисправностей и отказов, требования контролепригодности и диагностического обеспечения объектов диагностирования.

Освещены методы диагностирования, выбора диагностических параметров, взаимосвязь структурных и диагностических параметров и их нормирования.

Представлены средства диагностирования, задачи и виды технической диагностики, методы и алгоритмы диагностирования, процессы диагностирования и постановки диагноза. Описаны системы диагностирования массовых транспортных средств на СТО и АТП. Приведены методы оптимизации периодичности диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса.

Для преподавателей и студентов профильных учебных заведений, подготовки специалистов по диагностике и техническому обслуживанию автомобилей.

УДК 629.33
ББК 30

ISBN 978-966-372-418-8

© Мигаль В.Д., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Основные понятия и определения в диагностике	11
1.1 Цель, предмет и объекты диагностирования	11
1.2 Задачи технического диагностирования	14
1.3 Понятия «диагностирование», «контроль», «самоконтроль» и «самодиагностика»	17
1.4 Термины, понятия, определения и показатели диагностирования	22
1.5 Основные понятия и определения в морфологическом обеспечении диагностики	27
Контрольные вопросы	30
2 Характеристика объектов и знаний диагностики	32
2.1 Технический уровень проектируемых машин	32
2.1.1 Показатели технического уровня проектируемых машин	32
2.1.2 Проектирование машин на безопасный ресурс	33
2.2 Показатели, определяющие техническое состояние автомобилей, поступающих в эксплуатацию	36
2.3 Технический уровень проектной надежности современных автомобилей	40
2.4 Знания, необходимые диагносту для эффективного диагностирования автомобилей	41
2.5 Выбор и характеристика объектов машин, требующих диагностирования	43
2.6 Разделение объектов диагностирования	48
2.7 Режимы диагностирования	49
2.8 Виды технического обслуживания и диагностирования	50
Контрольные вопросы	52
3 Неисправности и надежность автомобилей	53
3.1 Понятия дефект и неисправность	53
3.2 Классификация дефектов и неисправностей	56
3.3 Виды технических состояний автомобилей	59
3.4 Надежность механических, газогидроаэродинамических и электронных систем автомобиля	63
3.5 Изменение технического состояния объектов машин в жизненном цикле и безопасный ресурс	71
3.6 Основные факторы, определяющие неисправности и отказы	76
3.7 Причины, источники и виды отказов	80
3.8 Неисправности электрооборудования и компонентов электронных систем управления автомобилем	87
3.8.1 Виды дефектов и неисправностей	87
3.8.2 Дефекты и неисправности компонентов электрической системы	88
3.8.3 Физические дефекты	90

3.8.4 Типовые модели неисправностей	91
3.9 Разработка таблиц-матриц неисправностей объектов	96
Контрольные вопросы	99
4 Контролепригодность и диагностическое обеспечение объектов диагностирования	101
4.1 Системы распознавания образов	101
4.2 Контрольные точки	109
4.3 Оценка контролепригодности объектов диагностирования	110
Контрольные вопросы	115
5 Диагностические параметры и их нормирование	116
5.1 Виды диагностических параметров	116
5.2 Взаимосвязь структурных и диагностических параметров	123
5.3 Зависимости изменения диагностического параметра от нара- ботки	126
5.4 Характеристика диагностических параметров	132
5.5 Виды и методы определения нормативных диагностических параметров	137
5.6 Диагностические параметры зазоров в сопряжениях деталей машин	140
5.7 Критерии оценки предельного технического состояния пар трения	148
5.8 Нормирование диагностических параметров механических и газогидроаэродинамических систем	152
5.8.1 Характеристики скоростей изменения диагностических параметров	152
5.8.2 Нормирование номинальных значений диагностическо- го параметра	155
5.8.3 Методы нормирования предельных значений диагно- стических параметров	158
5.8.3.1 Нормирование предельных значений диагности- ческого параметра методом толерантных границ	159
5.8.3.2 Нормирование предельных значений диагности- ческих параметров статистическими методами	162
5.8.4 Нормирование допускаемых значений диагностических параметров	163
5.8.5 Нормирование предельных приращений вибрационных диагностических параметров в эксплуатации машин	164
5.8.6 Нормирование классов качественной оценки техниче- ского состояния по вибрационным параметрам	166
5.9 Диагностические параметры электрических и электронных систем, их выбор и нормирование	167
Контрольные вопросы	171
6 Методы диагностирования автомобилей	173
6.1 Классификация методов диагностирования автомобилей	173
6.2 Интеллектуальные методы	182
6.3 Инструментальные методы	184

6.3.1 Прямые и косвенные методы	184
6.3.2 Методы диагностирования по рабочим, сопутствующим и структурным параметрам	186
6.3.3 Энергетические и статодинамические методы	191
6.3.4 Оптические методы диагностирования	192
6.3.5 Вибрационные методы диагностирования	193
6.4 Методы контроля и диагностирования электрических и элек- тронных систем управления автомобилем	202
6.4.1 Классификация системы контроля и диагностирования	202
6.4.2 Виды диагностики технических систем	204
6.4.3 Выбор контролируемых параметров и методов диагно- стирования	206
6.4.4 Аппаратные методы диагностики технических систем	208
Контрольные вопросы	213
7 Диагностические модели и алгоритмы диагностирования	215
7.1 Задачи и виды знаний в построении диагностических моделей	215
7.2 Виды диагностических моделей	217
7.3 Функциональное и информационное моделирование	228
7.4 Логическое и математическое моделирование	230
7.5 Вероятностные и детерминированные модели построения ре- шающих правил	240
7.6 Статистические методы последовательного распознавания технического состояния	242
7.7 Диагностические матрицы	244
7.8 Построение структурных, структурно-наследственных и фун- кционально-логических моделей	247
7.8.1 Построение структурных схем диагностирования объек- та	247
7.8.2 Построение функционально-логической модели объекта	251
7.8.3 Построение функционально-структурной модели	254
7.9 Построение граф-моделей в пространстве свойств и парамет- ров	257
7.10 Анализ диагностических моделей	260
7.11 Создание и анализ диагностических моделей электрических систем	263
7.11.1 Создание и анализ функциональной диагностической модели	263
7.11.2 Создание и анализ дискретной диагностической модели	266
7.11.3 Решение задачи неразличимости состояний в таблицах неисправностей	269
7.11.4 Особенности построения цифровых диагностических моделей	271
7.12 Методы создания диагностических тестов и построения ал- горитмов диагностирования	273
7.12.1 Формирование таблицы покрытий и ее свойства	273
7.12.2 Создание диагностических тестов методом сокращен-	

ного перебора	276
7.12.3 Создание диагностических тестов методом эквивалентной нормальной формы	277
7.12.4 Критерии оптимизации алгоритмов диагностирования	280
7.12.5 Построение алгоритмов диагностирования	281
Контрольные вопросы	285
8 Средства диагностирования	288
8.1 Общая характеристика средств диагностирования	288
8.2 Классификация средств измерений по виду диагностических параметров	290
8.3 Классификация средств диагностирования по виду представляемой информации	292
8.4 Системы диагностирования	298
8.4.1 Виды систем диагностирования	298
8.4.2 Требования к разработке и обоснованию применения систем диагностирования	300
8.5 Выбор диагностического оборудования и приборов	301
8.5.1 Краткая характеристика выпускаемого оборудования	301
8.5.2 Линии комплексного технического контроля автомобилей	304
8.5.3 Внешние переносные средства контроля, диагностирования и распознавания кодов неисправностей	305
8.5.4 Характеристики современных диагностических средств, выпускаемых фирмами Bosch, SUN, Nextech, Texa, Autologic	310
Контрольные вопросы	319
9 Задачи и виды технической диагностики	321
9.1 Диагностические задачи	321
9.2 Тестовое диагностирование	325
9.3 Диагностирование по функциональным параметрам	330
Контрольные вопросы	334
10 Процессы диагностирования и постановка диагноза	335
10.1 Структурная схема диагностирования	335
10.2 Разработка алгоритмов поиска неисправностей	338
10.3 Процесс диагностирования и постановки диагноза	342
10.4 Контроль технического состояния по нормативным параметрам	348
10.5 Постановка диагноза по нормативным значениям диагностических параметров	349
10.6 Нормирование классов качественной оценки технического состояния объекта диагностирования в эксплуатации	353
10.7 Постановка диагноза по комплексу диагностических параметров	354
10.8 Постановка диагноза по методу последовательного анализа	359
Контрольные вопросы	360

11 Принципы организации самоконтроля неисправностей и отказов	361
11.1 Самоконтроль технических систем автомобиля	361
11.2 Диагностические системы управления рабочими процессами и реализация самоконтроля	364
11.3 Эффективность и достоверность контроля технического состояния автоматизированных систем контроля	367
11.4 Бортовая диагностика	372
11.5 Бортовой контроллер связи CAN	380
Контрольные вопросы	386
12 Диагностирование транспортных средств на АТП и СТО	387
12.1 Структура систем диагностирования и технического обслуживания на предприятиях автомобильного транспорта	387
12.2 Формы организации диагностирования	388
12.3 Средства диагностирования	391
12.4 Варианты планирования станции диагностирования	394
12.5 Организационные принципы диагностирования	396
12.6 Условия нормальной работы и документация зоны диагностики	400
12.7 Общая характеристика и содержание контрольно-диагностических и регулировочных работ	403
12.8 Бортовые и наземно-бортовые автоматизированные системы контроля технического состояния автомобилей	409
12.9 Определение спроса на автомобильные услуги	412
Контрольные вопросы	423
13 Периодичность и эффективность диагностирования	424
13.1 Задачи и методы оптимизации периодичности диагностирования	424
13.2 Нормирование периодичности диагностирования	432
13.3 Условия эффективного применения диагностики в технической эксплуатации автомобилей	435
13.3.1 Формы технической эксплуатации и их эффективность	435
13.3.2 Экономическая эффективность диагностирования	438
13.3.3 Обобщенный функционально-статистический критерий оценки эффективности диагностирования	440
Контрольные вопросы	443
14 Прогнозирование технического состояния транспортных машин	444
14.1 Задачи и процесс прогнозирующего диагностирования	444
14.2 Методы, критерии и этапы прогнозирования остаточного ресурса	454
14.2.1 Классификация методов прогнозирования	454
14.2.2 Критерии и методы прогнозирования остаточного ресурса	459
14.2.3 Аналитическое прогнозирование	465
14.3 Методы линейного прогнозирования	470

14.4 Методы прогнозирования по среднему статистическому измерению	473
14.5 Прогнозирование по допустимым значениям параметров с использованием таблиц-графиков и номограмм	483
14.6 Методы прогнозирования по реализации	485
14.7 Прогнозирование по результатам двух диагностирований	493
14.8 Индивидуальное прогнозирование	494
14.9 Алгоритм прогнозирующего контроля автоматических систем диагностирования	499
14.10 Факторы, влияющие на ошибки прогноза ресурса	501
Контрольные вопросы	502
Предметный указатель	504
Перечень ссылок	511

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом автомобильная техника становится все сложнее и разнообразнее. Усложняются ее неисправности и отказы. Соответственно требуется совершенствовать их бортовое диагностическое обеспечение, внешние средства диагностирования и технического обслуживания.

Постоянно разрабатываются новые электронные автоматизированные системы диагностирования с выдачей на экран приборов рекомендаций по принятию решений после установления причины, виды и места появления неисправности. От диагноста технического обслуживания требуется принимать решение – согласиться с представляемой приборной рекомендацией или выполнить дополнительные диагностические измерения. В этой связи резко повышаются требования к квалификации диагноста, обслуживающего автомобиль. И чем выше уровень технической квалификации диагноста, применяемых методов и средств диагностирования, тем точнее будут определены действующие рабочие процессы и техническое состояние автомобиля.

Поэтому для эффективного диагностирования от диагноста требуется хорошее знание объекта диагностирования, закономерностей проявления и изменения его технического состояния в эксплуатации. Необходимо знание неисправностей, их диагностических параметров, их исходных и предельных значений, алгоритмов диагностирования, построения диагностической модели и прогнозирования остаточного ресурса. Уровень таких знаний по всем системам автомобиля определяет квалификацию специалиста по проектированию диагностического обеспечения и эффективного технического обслуживания автомобиля.

Получение студентом таких знаний должно составлять стратегию профессиональной подготовки квалифицированных специалистов технических учебных заведений. Но фактически учебного пособия по теоретическим основам технической диагностики нет. Отдельные практические вопросы технической диагностики размещаются в ограниченном виде в учебных пособиях по техническому обслуживанию и эксплуатации автомобилей.

Попытки решить некоторые из названных задач теоретической диагностики уже проводились, поэтому задачей автора было обобщение таких знаний, разбросанных по разным источникам и дополнить их новыми данными современной науки и практики диагностики автомобилей.

Реализация системного подхода к созданию учебного пособия по теории технической диагностики изложена в четырнадцати разделах в четкой следующей логической последовательности: основные понятия и определе-

ния в диагностике; характеристики объектов и знаний в диагностике; неисправности и надежность автомобилей; контролепригодность и диагностическое обеспечение объектов диагностирования; диагностические параметры и их нормирование; методы диагностирования; диагностические модели и алгоритмы диагностирования; средства диагностирования; задачи и виды технической диагностики; процессы диагностирования и постановка диагноза; принципы организации самоконтроля неисправностей и отказов бортовыми системами автомобиля; диагностирование массовых транспортных средств на АТП и СТО; условия эффективного диагностирования; прогнозирование технического состояния автомобиля.

Автор

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ

1.1 Цель, предмет и объекты диагностирования

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.

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.

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.

Основное назначение диагностики при проектировании состоит в обеспечении заданной надежности и ресурса машин за счет оптимизации параметров конструкции при доводке и диагностического обеспечения на стадии проектирования, диагностического контроля технологии производства и эксплуатации автомобилей.

Целью диагностирования автомобилей в эксплуатации является управление техническим состоянием, оптимизация рабочих процессов, локализация неисправностей. Техническая диагностика 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 (рис. 1.1, 1.2).

Такой комплексный системный подход к диагностическому обеспечению управления техническим состоянием автомобилей позволяет полу-

чить максимальную эффективность процессов создания и использования машин.

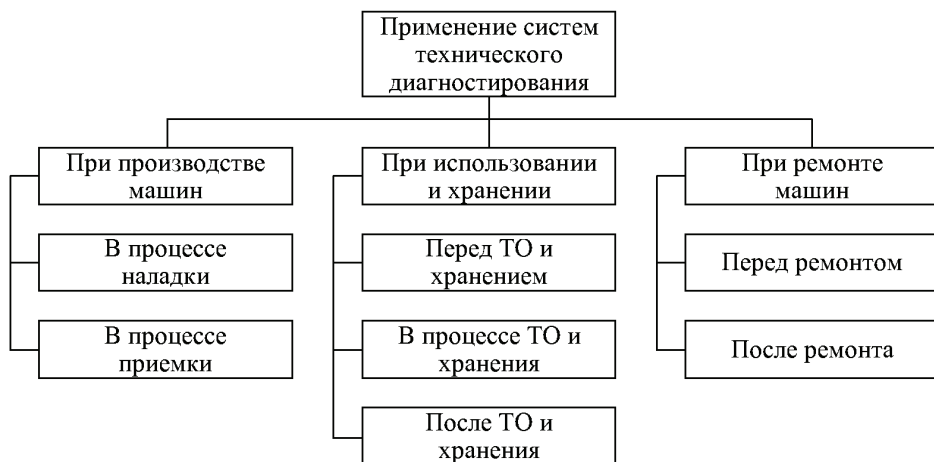


Рис. 1.1. Области применения систем технического диагностирования



Рис. 1.2. Результаты технического диагностирования машин

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

При диагностике используют различные методы и 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.

Объектом 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 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 зависит от уровня знаний (квалификации) диагноста.

При типовом техническом обслуживании субъект диагностической деятельности, реализующий указания инструкции и электронных средств диагностирования, часто может не знать, какова причина неисправности объекта диагностирования. Он восстанавливает объект, приводит его в соответствие с требованиями. Если речь идет о сложных электронных системах управления автомобилем, энергетических системах и других сложных объектах диагностирования, то иного и быть не может: подобные системы слишком сложны для того, чтобы их мог достаточно подробно знать техник, который занят обслуживанием. Инструкция составляется группой квалифицированных специалистов с учетом опыта эксплуатации таких же или по-

добных систем.

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.

1.2 Задачи технического диагностирования

В общем случае диагностическая задача – это задача по установлению степени соответствия технического объекта предъявляемым к нему требованиям.

Задачами технического диагностирования согласно ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення» является (рис. 1.3):

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



Рис. 1.3. Задачи технического диагностирования

Термин «Техническое диагностирование» применяют в наименовании 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.

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 диагностических задач.

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 происшествий (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Три типа задач технической диагностики

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.

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.

В целом технические службы диагностики на всех этапах эксплуатации автомобилей решают большой комплекс задач (рис. 1.5):

- определение вида технического состояния (ТС) изделия;
- 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.



Рис. 1.5. Эксплуатационные задачи технической диагностики

Перечисленные задачи решаются на всех этапах эксплуатации автомобильной техники. Однако для каждого этапа эксплуатации (поездка, ТО, ремонт) задачи, решаемые с помощью систем контроля и диагностики, имеют свою специфику.

Задачи диагностирования на заключительном этапе 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.

1.3 Понятия «диагностирование», «контроль», «самоконтроль» и «самодиагностика»

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.

Вопросу диагностирования машин посвящен ряд стандартов, например [1...4], в которых ряд терминов и понятий несколько отличаются.

Нормативно-техническая документация определяет, что автоматизированная система контроля – это совокупность объекта контроля (диагностирования), средств для определения его технического состояния и опера-

тора (водителя, диагноста). Такая система функционирует с частичным участием оператора, в отличие от автоматической системы, которая выполняет те же функции без участия оператора. Считается, что понятия «автоматизированная» является более широким, то есть автоматическая система есть частным случаем автоматизированной, если действия человека приобретают нулевое значение.

Целью технического диагностирования согласно ГОСТ 27518–87 в процессе производства, эксплуатации и ремонта является поддержание установленного уровня надежности, обеспечение требований безопасности и эффективности использования изделий. Техническое диагностирование изделий должно быть направлено на решение следующих взаимосвязанных задач:

- определение вида технического состояния;
- поиск места отказа или неисправности;
- прогнозирование технического состояния.

Задачи технической диагностики согласно ГОСТ Р 51709–2001 «Авто-тракторные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» являются:

- проверка исправности и работоспособности в целом и (или) ее составных частей с установленной вероятностью правильности диагностирования;
- поиск неисправностей, нарушающих исправность и (или) работоспособность машины;
- сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса или вероятности безотказности работы машины в межконтрольный период.

Показатели точности и достоверности диагностирования в соответствии с ГОСТ 27518–87 приведены в табл. 1.1.

В соответствии с государственным стандартом ДСТУ 2389–94 [1], контроль – это проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации (норме) и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени. Такими видами могут быть: состояние исправности и состояние неисправности, состояние правильного функционирования и состояние неправильного функционирования, работоспособное состояние и неработоспособное (или отказное) состояние и т.п. В соответствии с тем же стандартом, техническое диагностирование – это определение технического состояния объекта с заданной точностью. Далее в стандарте представлены разъяснения этого определения, согласно которого «задачами технического диагностирования» являются:

- контроль технического состояния;
- поиск места и определения причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

Из этого следует, что контроль технического состояния является непременной первой процедурой технического диагностирования. Именно на результатах контроля базируются две последующих задачи технического

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 неисправно (неработоспособно). 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 неисправностей.	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 27.302–86. Доверительная вероятность.

диагностирования – поиск места отказа и прогнозирование технического состояния. Итак, любая система диагностирования должна содержать систему контроля объекта его соответствию техническим требованиям (норме) в качестве основной составляющей, как информационную основу для выполнения двух вышеуказанных заданий. Эта характеристика должна быть выражена в качественной форме – исправное, не исправное и т. д. (ГОСТ 27002–89), а прогнозирование в количественной форме – численным значениям 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.

В соответствии с государственным стандартом ГОСТ 19919–74, различают такие процессы определения технического состояния с помощью средств контроля:

- контроль технического состояния – определение вида технического состояния изделия;
- воспроизведение технического состояния – процесс установления технического состояния изделия по записям значений параметров в эксплуатации;
- поиск места отказа – определение части изделия, отказ которой послужил причиной неработоспособности этого изделия;
- прогнозирование – процесс определения технического состояния изделия на следующий интервал времени.

Следует указать, что 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.

Количество точек контроля на современном транспортном средстве может достигать нескольких десятков и сотен. Все сигналы, которые подлежат контролю, как правило, превращают в электрические.

Итак, контроль (регулирование) с восстановлением работоспособно-

сти играет роль регулятора в управлении эксплуатационной надежностью изделий. Этот контроль может только поддерживать надежность объекта на уровне, заложенном у него во время проектирования и производства. Разработчик и производитель транспортных машин способен поднять заложенный уровень надежности и уровень безопасности за счет конструктивных изменений и модернизации конструкции.

Как в первом, так и во втором случаях обязательным является использование автоматизированной системы контроля (АСК) в качестве источника объективной информации о техническом состоянии транспортного средства.

Оптимальное решение задач оценки технического состояния бортовых систем требует тщательного анализа оснащения этих систем уже в период проектирования. Недооценка такого подхода может обернуться тем, что оснащение окажется неконтролепригодным, то есть таким, которое не поддается эффективному контролю, а это резко снизит технико-экономическую эффективность эксплуатации машины и может быть причиной снижения безопасности ее эксплуатации. Чтобы этого не произошло, на каждую бортовую систему, начиная с этапа ее эскизного проектирования, разрабатывают специальный конструкторский документ, который называется характеристикой контролепригодности. Документ совершенствуют и корректируют во время всего жизненного цикла объекта – от его создания до списания.

Знание модели отказа и ее количественных характеристик позволяет объективно подойти к выбору программы обслуживания, в том числе – к контролю объекта диагностирования.

Общая модель возникновения отказа представляется следующей: окружающая среда влияет на объект как действие случайного процесса. Одна из реализаций этого процесса $x(t)$ показана на рис. 1.6. Сопротивление этому действию $R(t)$ с течением времени уменьшается. Величина сопротивления $R(t)$ также является случайной величиной. Линия $R(t)$ (см. рис. 1.6) – одна из ее реализаций. С течением времени разность между этими случайными величинами уменьшается и вероятность поломки увеличивается, а в момент t_1 она наступает.

Понятия «самоконтроль» встречается в разнообразнейших сферах человеческой деятельности и применяется в сложных системах управления, способных к самопроверке. Не является исключением и сам человек, как сверхсложная высокоорганизованная система. Согласно толковому словарю «самоконтроль» – это способность контролировать свои действия, свои поступки. Человек ежедневно проводит операции самоконтроля, оценивая свое состояние, свои возможности для выполнения разнообразных функций – от простых трудо-

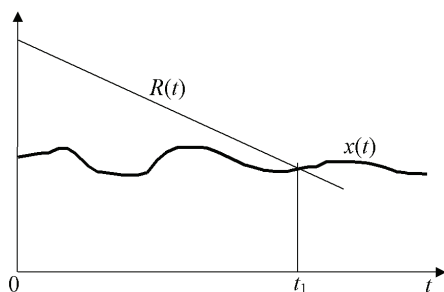


Рис. 1.6. Модель возникновения отказа

вых операций к сложным формам общественной деятельности.

Самоконтроль в технике решает аналогичную, но более узкую задачу – определение технического состояния объекта с помощью средств самого объекта.

Понятие «самоконтроль» в отечественной научно-технической литературе применяют наряду с другими близкими понятиями: самопроверка, самотестирование, самодиагностика. В иностранной литературе встречаются такие соответствия: self-monitoring (самоконтроль), self-verifying (самопроверка), self-diagnosing (самодиагностика), self-testing (самотестирование), built in test (BIT) – тестирование АСК, которая использует ресурсы самой АСК и др.

Вопросам самоконтроля посвящено много работ, например [5...8].

1.4 Термины, понятия, определения и показатели диагностирования

Эксплуатация – совокупность организационно-технических мероприятий, обеспечивающих правильное применение автомобиля, постоянную готовность к применению, поддержание работоспособного состояния и продление ресурса. Включает этапы: транспортировку, хранение, техническое обслуживание (ТО), ремонт, подготовку к применению по назначению, применение по назначению.

Техническая эксплуатация – это подсистема автомобильного транспорта, обеспечивающая фактическую возможность транспортного процесса путем поддержания автомобиля в работоспособном состоянии, экологичность и безопасность автомобиля, снижение расходов на техническое обслуживание и ремонт, снижение потребления топливно-энергетических ресурсов.

Техническая диагностика – отрасль научно-технических знаний, которая занимается разработкой теории, методов и средств определения технического состояния объекта (обнаружения дефектов и неисправностей объектов технической природы), а также принципов построения и организации использования систем диагностирования.

Как любая наука она оперирует соответствующими понятиями, терминами и определениями, которые используются как в литературе, посвященной общим вопросам технической диагностики, так и вопросам диагностики автомобиля.

В технической диагностике используются понятия, термины и определения, значения которых установлены государственными стандартами. Кроме того, имеется ряд терминов и понятий, которые не вошли в стандарты, но используются в научно-технической и учебной литературе. Далее приведены наиболее употребляемые термины и определения.

Диагностика необходима на всех этапах жизненного цикла технического объекта: при проектировании и доводке опытного образца, при производстве серийной продукции, в периоды эксплуатации и ремонта. Методы и средства диагностирования, применяемые на каждом из этапов, могут отли-

чатся друг от друга и порой существенным образом. Это объясняется различием вида дефектов (неисправности, отказа), их природой и требуемой глубиной диагностирования.

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.

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, характеризуемая 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 – 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), пер-

спективный 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.

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

Контроль ТС – 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 предназначены 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 спе-

цифику 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 вышеперечисленных 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.

Система технического диагностирования – совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации.

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 спо-

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, вы-

зывается химическими и (или) физическими процессами, самопроизвольно протекающими в материалах.

Отказоустойчивость – свойство объекта сохранять работоспособность при наличии отказов его составных частей. Отказоустойчивость закладывается при проектировании объекта в целях недопущения критических отказов и обеспечения безопасности.

Изоморфизм – понятие современной математики, уточняющее широко распространенное понятие аналогии, модели. Изоморфизм – соответствие (отношение) между объектами, выражающее тождество их структуры (строения).

1.5 Основные понятия и определения в морфологическом обеспечении диагностики

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности. Под метрологическим обеспечением понимают установление и применение технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Измерение – процесс нахождения значений физической величины (или комбинации физических величин) опытным путем с помощью технических средств и обработки полученных в опыте данных.

Величина – свойство объекта, которое можно выразить числом. Измерения выполняются в общепринятой международной системе единиц СИ, а результат должен содержать значение измеренной величины в общепринятых единицах измерений и оценку его точности и достоверности. В частном случае может измеряться и безразмерная величина, например коэффициент усиления усилительного устройства. Таким образом, измерение – это единство трех составных частей: методика, эксперимент и обработка полученных данных (определение значения величины, ее погрешности, вероятности, с которой она найдена, и др.). При проведении измерений используют средства измерений и разнообразное вспомогательное оборудование.

Контроль – установление соответствия заданному значению параметров объекта установленным требованиям или нормам.

Испытание – воспроизведение в заданной последовательности предельных воздействий (нагрузок), измерение реакции объекта на эти воздействия и регистрация этих воздействий.

Обеспечение единства измерений – деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Единство измерений – состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Работы по обеспечению единства измерений и метрологическому контролю и надзору на межрегиональном и межотраслевом уровнях осуществляет государственная метрологическая служба, в пределах министерства (ведомства) – метрологическая служба государственного органа управления, а на предприятии (организации) – метрологическая служба юридического лица.

Единицы, образующие какую-нибудь систему, называют системными единицами, а единицы, не входящие ни в одну из систем, – внесистемными.

Метрологическое обеспечение измерений при исследовании и диагностировании – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. При испытании надо обеспечить в течении 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.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Размер физической величины – количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины – выражение размера физической

величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное единице, применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

При измерениях используют понятия истинного и действительного значения физической величины.

Истинное значение физической величины – значение величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину. Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Его можно получить только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений.

Действительное значение физической величины – это значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Измерение физических величин. Измерение – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Например, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали); с помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Приведенное определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение при упорядочении системы понятий в метрологии.

В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины). В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерения этой величины), практикуется оценивать такие величины по условным шкалам (например, шкала Мооса для определения твердости минералов, содержащая 10 условных чисел твердости).

Характеристики измерений. Измерение – сложный процесс и важными для него являются следующие характеристики: принцип и метод измерений, результат, погрешность, точность, сходимость, воспроизводимость, правильность и достоверность.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. Примеры: применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения, эффекта Доплера для измерения скорости; использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием.

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Пример: измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями (мерами массы с известным значением).

Результат измерения – значение величины, полученное путем ее измерения.

Погрешность результата измерений – отклонение результата измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Точность результата измерений – одна из характеристик качества измерений, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения. Высокая точность измерения соответствует малым погрешностям. Количественно точность оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности, например, если относительная погрешность составляет 0,01, то точность равна 100.

Сходимость результатов измерений – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей на результат измерения.

Воспроизводимость – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям (температура, давление, влажность и др.).

Правильность – характеристика качества измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

Контрольные вопросы

- 1 Каково основное назначение диагностики при проектировании и доводке автомобилей?
- 2 Каково назначение диагностики при эксплуатации автомобилей?
- 3 Как используются результаты диагностирования в управлении техническим состоянием?
- 4 Что является предметом технической диагностики автомобилей?
- 5 Что является объектом технической диагностики автомобилей?
- 6 Каковы задачи технической диагностики?
- 7 Объясните различия в трех типах диагностических задач: генез, диагностика и прогноз.
- 8 Какие диагностические задачи решают службы диагностики на этапе эксплуатации автомобилей?
- 9 Объясните понятия «контроль», «диагностирование», «самодиагностика» и «самоконтроль».
- 10 Каковы различия в понятиях «самоконтроль» и «самодиагностика»?
- 11 Приведите показатели достоверности и точности диагностирования.
- 12 Каковы различия между понятиями «эксплуатация» и «техническая эксплуатация»?
- 13 Объясните понятия контролепригодность и диагностическое обеспечение.
- 14 Какова важность назначения контрольной точки?
- 15 Объясните понятие «диагностическая модель» и в каком виде ее можно пред-

ставить.

16 В чем заключается различие понятий «диагностирование» и «мониторинг»?

17 От чего зависит точность результатов диагностирования?

18 Приведите основные понятия и определения в метрологическом обеспечении диагностирования.

19 Приведите основные задачи метрологической службы в диагностировании автомобилей.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И ЗНАНИЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1 Технический уровень проектируемых машин

2.1.1 Показатели технического уровня проектируемых машин

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 [9...12].

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.

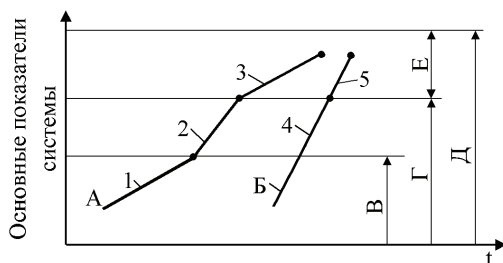


Рис. 2.1. Технические возможности совершенствования проектирования машин: 1...5 – циклы совершенствования и доводки машины; В – недопустимый технический уровень; Г – допустимый технический уровень; Д – необходимый технический уровень; Е – зона необходимого экономически обоснованного технического уровня; Т – периоды (годы) разработки и доводки

На рис. 2.1 обозначено: 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 малых затрат при эксплуатации автомобилей, то есть в прин-

ципе существует оптимальная надежность автомобиля, обеспечивающая минимум суммарных затрат. Практически определение оптимальной надежности затруднено, поскольку само понятие надежности многозначно и не может быть выражено единым показателем. Технический уровень проектирования и технологии производства характеризует рассеиванием сроков изнашивания одних и тех же деталей и надежности даже однотипных автомобилей.

Рассмотренные уровни проектирования машин (зоны В и Г, см. рис.

2.1), дорожные условия, процессы взаимодействия машины с окружающей средой и накопленный опыт [12...19] показывают, что технический уровень проектирования, заданный ресурс и надежность механических, гидрогазоаэродинамических систем определяются заданными вибрационными характеристиками. Общий подход к классификации отдельных узлов, агрегатов, и в целом комплектной машины по уровню вибрации представлен на рис. 2.2 [6].



Рис. 2.2. Классификация надежности проектируемых машин по классам вибрации:

1-4 – классы вибрации 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)

поскольку в агрегатах машин низкого технического уровня проектирования (см. В, рис. 2.1) с уровнями вибрации третьего класса (см. рис. 2.2) протекают преимущественно быстрые процессы изнашивания, то расчет и прогнозирование ресурса надежности таких машин должно проводиться уже по другим расчетным и диагностическим моделям.

2.1.2 Проектирование машин на безопасный ресурс

Под ресурсом машины понимается продолжительность функционирования конструкции, выраженная в часах до наступления предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация машины, прекращается по требованиям безопасности или эффективности эксплуатации в связи с воз-

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 [14]. Соответственно ресурс и расчеты надежности таких машин должны осуществляться по закономерным процессам старения материалов. А

можным недопустимым снижением прочности.

При создании современных машин обеспечение их ресурсов является весьма сложной и многогранной проблемой. Обеспечение заданного ресурса требует создания методов экспериментального исследования сопротивления усталости элементов и натурных конструкций, разработки систем обеспечения безопасности конструкций по условиям усталости (включая и нормативные требования), создание и внедрение методик, включающих расчет усталостной долговечности и проектирования конструкций на заданный ресурс [20].

Появление усталостных трещин и других повреждений в силовых элементах при длительной эксплуатации машины из-за усталостных, коррозионных и случайных повреждений, а также возможность существования начальных (технологических) дефектов требует создания конструкций, обладающих свойствами живучести.

Ресурс следует различать по условиям износа, усталостной прочности и сроку службы конструкции. Срок службы конструкции, выраженный в годах, это – календарная продолжительность до наступления предельного состояния элементов конструкции машин (с учетом продолжительности хранения, нахождения на стоянках и в ангарах). При установлении срока службы учитываются такие факторы как старение, коррозия и т. п. Срок службы также влияет на ресурс по условиям усталостной прочности.

Проектирование машинных конструкций на заданный ресурс осуществляется поэтапно на этапах технического задания, аванпроекта, эскизного проекта, рабочего проекта. До начала эксплуатации и назначения ресурса проводят прямые испытания натурной конструкции машины на ресурс.

Ресурс машины в целом определяется по ресурсу отдельных элементов, разрушение которых или появление повреждений в них может непосредственно привести к катастрофе. Если необходимо, ресурс увеличивает после ремонта или замены элементов.

Под назначенным ресурсом понимается часть полного ресурса, который допускается отработать с учетом всех обосновывающих материалов, имеющихся в данное время. Увеличение назначенного ресурса проводится на основе:

- уточнения характера и условий эксплуатации парка машин;
- уточнения нагруженности конструкции, в частности, по результатам эксплуатационных испытаний;
- анализа результатов дополнительных лабораторных испытаний на выносливость и живучесть, в том числе конструкций с наработкой в эксплуатации;
- анализа технического состояния конструкции в процессе эксплуатации и ремонтов.

Назначение ресурса конструкции, машины на этапах проектирования и эксплуатации производят следующим образом: определяются нагрузки, действующие на конструкцию; определяются характеристики сопротивления усталости (долговечность до образования трещин) и трещиностойкости (скорость роста трещин и остаточная прочность) конструкции при на-

грузении ее нерегулярными нагрузками; назначаются коэффициенты надежности, определяются начало и периодичность осмотров конструкции в эксплуатации; назначается ресурс конструкции [4, 17...20].

Безопасный ресурс применяется тогда, когда появление повреждения можно обнаружить только после окончательного разрушения конструкции. В этом случае невозможно надежно обнаружить наступление предкритического состояния, поэтому эксплуатация прекращается, как только наработка достигает величины безопасного ресурса, назначенного независимо от состояния конструкции.

При применении понятия «**эксплуатационная живучесть**» конструкция должна обладать достаточной прочностью, обеспечивающей безопасность при появлении повреждений, которые могут быть обнаружены при специальных осмотрах и диагностировании. При этом весь парк машин может эксплуатироваться до наработки, при которой появляются повреждения элементов конструкции с наименьшей усталостной долговечностью. Принцип эксплуатационной живучести обеспечивает повышение надежности транспортных машин за счет осмотров конструкции и диагностирования и дает возможность увеличить их ресурс по сравнению с принципом безопасного ресурса.

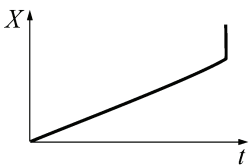
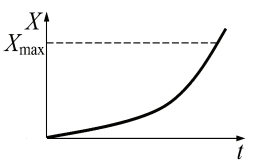
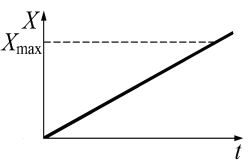
На этапе начала серийного производства выполняется незначительная доработка силовой конструкции для устранения отдельных недостатков, выявленных в результате диагностических испытаний в объеме, указанном в технической документации, экспериментальных и окончательных проверочных расчетов.

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} .

Возможны три основных группы критериев (табл. 2.1):

- 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 U_{\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.

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

2.2 Показатели, определяющие техническое состояние автомобилей, поступающих в эксплуатацию

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*):

$$K = F(P, D, I, B, E) \pm E. \quad (2.1)$$

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 нестабильности действующих процессов и погрешностей их определения (*Е*). 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. 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. 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:

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

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

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), 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 *П, Д, 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

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

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 дета-

лей, 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 Π до \mathcal{E} лежит бесконечное число промежуточных состояний случайного характера. Обозначим X_i^0 значения параметра конструктивного состояния, достигнутого на стадии Π и \mathcal{D} . 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 Π , а на стадиях \mathcal{I} и \mathcal{E} – от достигнутого на стадии \mathcal{D} . Практическое оперирование с системами вида (2.1...2.6) оказывается очень громоздким, а, главное, 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.

Существуют попытки обойти возникающие трудности в недостатке информации об исходном состоянии механизмов на стадиях Π , \mathcal{D} , \mathcal{I} , \mathcal{B} , о внешних условиях эксплуатации, причинах и закономерностях износа путем применения среднестатистических показателей ресурса, полученных в результате обработки данных об отказах и скоростях изнашивания совокупности механизмов, которые и характеризуют выбранную совокупность. Поэтому их применение для оценки технического состояния и ресурса единичного элемента и 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 дефекта и неисправности, стадиям развития до момента отказа и характеру проявления в протекающих процессах, функциональных параметрах и виброакустическом сигнале.

Показатели качества автомобиля не остаются постоянными в процессе эксплуатации, а изменяются в пространстве и с течением времени. Под качеством любого изделия или вида продукции понимается совокупность свойств, которые обуславливают его пригодность обеспечивать соответствующие потребности в связи с его назначением.

Эксплуатационное качество (operating quality) автомобиля – это совокупность определенных свойств и конструктивных особенностей автомобиля, которая характеризуется его стоимостью и мерой потребительского совершенства относительно определенных условий использования: вместимость, грузоподъемность, скорость движения, проходимость, безопасность (тормозные качества, устойчивость, управляемость, обзорность, эффективность сигнализации, загрязнение окружающей среды, бесшумность), топливная экономичность, долговечность, надежность, удобство использования (плавность хода, комфортабельность, простота управления и дорожного обслуживания, маневренность), простота технического обслуживания. Этот комплекс дает общую оценку автомобилю как транспортному средству и является необходимым для оценки его эффективности.

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

ционирования, и относятся к одной или нескольким составным частям объекта или к объекту в целом.

2.3 Технический уровень проектной надежности современных автомобилей

Надежность узлов и компонентов, устанавливаемых на современные автомобили, настолько высока, что при своевременном выполнении замены изношенных и вышедших из строя компонентов в результате старения материалов деталей вероятность внезапного их отказа должна быть крайне мала. Отказы редко происходят спонтанно и обычно являются следствием порой продолжительного развития неисправности. При высокой доводке надежности автомобилей выходу из строя механических компонентов практически всегда предшествует возникновение и эволюция характерных признаков, проявляющихся порой за много тысяч километров пробега до отказа. Те же компоненты, которые могут выйти из строя неожиданно, обычно не являются жизненно важными для функционирования основных узлов и систем автомобиля, либо легко заменяются в дорожных условиях.

Основополагающим шагом при выявлении причин любого отказа являются алгоритмы поиска неисправностей. 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.

Независимо от природы отказа в основу исследования его причины всегда положены одинаковые базовые принципы. Необходимо убедиться в правильности определения признака отказа. Это позволяет с большой достоверностью определять границы объема поисков, что особенно важно в диагностике отказа.

Однако из-за сложности современных систем автомобилей многие неисправности своевременно не устраняются. Поэтому значительное количество автомобилей эксплуатируются с повреждениями, которые в свою очередь ведут к загрязнению окружающей среды и чрезмерным затратам топлива. Эффективное диагностирование возможно только при наличии знаний конструкции, совершенных методов и средств диагностирования. Устаревшие методы и средства, которые еще довольно широко применяются, не в полной мере обеспечивают определение достоверного диагноза технического состояния автомобиля.

В практике диагностирования автомобилей широко применяют методы, как общего, так и узлового диагностирования. На первом этапе на основании анализа небольшого количества диагностических параметров делается вывод об общем техническом состоянии автомобиля. Общее диагностирование автомобилей проводится частично в дорожных условиях, но в основном на стенде с беговыми барабанами.

На втором этапе оценивается работоспособность каждого отдельного агрегата или узла на основе анализа определенных значений диагностических параметров. Для этого широко применяют мотор-тестеры или осциллографы и основанные на этом сравнительные методы, когда оператор визуально сравнивает форму эталонного сигнала или числовые данные с формой сигнала, полученного с помощью мотор-тестера или осциллографа из системы, которая диагностируется. На основании сравнения диагност дает соответствующие заключения о техническом состоянии объекта диагностирования. Процесс сравнения происходит последовательно по разным узлам и многим параметрам. При этом значительное влияние оказывают субъективные факторы, процессы анализа требуют много времени, а результаты диагноза не всегда достоверны. Поэтому важно повысить знания диагноста для выяснения технического состояния автомобиля и степень автоматизации при диагностировании, а значит ускорить этот процесс, улучшить достоверность диагноза и, как следствие, повысить эффективность диагностирования.

Электронные системы улучшают управляемость, устойчивость и комфортабельность автомобиля, выполняя управление подвеской, колесами, тормозами, поддержание заданной скорости движения и т. п. Поэтому нарушение их функционирования является первым признаком появления неисправностей.

2.4 Знания, необходимые диагносту для эффективного диагностирования автомобилей

В системе диагностирования машин человек является основным звеном. В качестве его средств диагностирования выступают органы чувств человека. Оценка технического состояния на основе органолептических методов и логического анализа структурных и входных параметров рабочих процессов является неотъемлемой частью первого этапа любого процесса диагностирования. Биологические 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 диагностов отстает от понимания уровня решаемых задач диагностирования, знаний электрических и гидрогазозеродиагностических процессов, систем автоматизации управления техническими системами автомобиля.

Определение реального состояния технических объектов, изменяющегося во времени из-за различных внешних и внутренних причин, в 50...80

случаях из 100 (в зависимости от сложности объекта) решаются опытным оператором-диагностом автоматически без выделения самого этапа принятия решения [5]. Эти методы диагностирования основаны на знаниях и опыте диагноста, совершенстве его 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 состоянии объекта. Скорость и эффективность классификации образов технического состояния зависит от того, насколько хорошо (точно) подобраны основные признаки неисправностей (дефектов) на первом этапе мысленного диагностирования.

Как в простых, так и сложных реализациях роль анализатора информации и исполнительного механизма выполняет оператор-диагност. Наблюдение за большим числом элементов многомерной системы автомобиля, характеризующих его техническое состояние, диагност в большинстве случаев выполняет быстро и эффективно без привлечения специалистов и специальных средств. Эффективность принимаемого решения 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 [5, 13, 20, 21, 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 [20, 23];
- 2 закономерностей изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации [20, 24];
- 3 дефектов материалов, конструкции, технологии производства отдельных узлов и комплектного автомобиля [21];
- 4 неисправностей механических, газогидроаэродинамических, электрических и электронных систем, протекания рабочих процессов и систем управления автомобилями [21];
- 5 диагностических параметров технических систем автомобилей [13];
- 6 методов диагностирования технических систем автомобиля [5];
- 7 средств диагностирования (приборов и технологического оборудования) технических систем автомобиля [19, 22].

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

2.5 Выбор и характеристика объектов машин, 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 ме-

ханизмов около 40. По мере электронизации автомобиля число диагностических параметров значительно возросло. 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 виде на рис. 2.3.

Первоочередными объектами диагностирования являются: состояние структурных параметров конкретных 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 и структурные параметры машины;
- установить полную совокупность отказов машины и их стоимостные характеристики;
- 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.

Для этого собирают и анализируют отказы всех деталей, сопряжений и механизмов объекта диагностирования. Выделяют структурные параметры, обусловившие 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

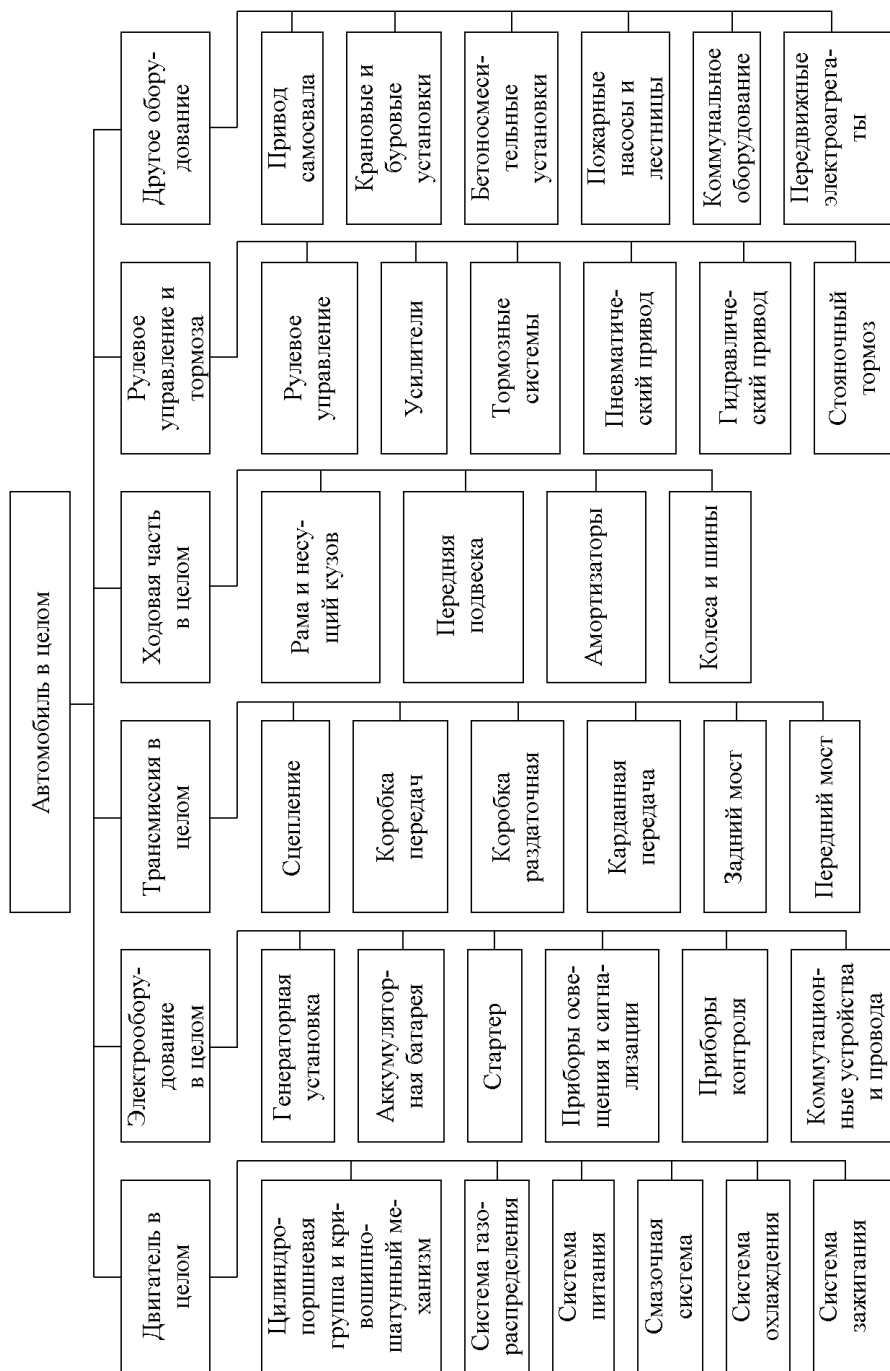


Рис. 2.3. Объекты диагностирования автомобиля

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 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 подносить 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.

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. 2.4).

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.).



Рис. 2.4. Объекты и режимы диагностирования

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.

2.6 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 приводит к необходимости длительных демонтажных работ, а затем, после устранения неисправности, – к длительным сборочным работам. Поэтому механизм размещения 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 целыми

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.

2.7 Режимы 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 говорят отдельно о скоростном, нагрузочном (силовом) и температурном (тепловом) режиме. Выделяют режимы частичные, реальные и полные. **Реальный – характерный рабочий режим** (например, движение по ровной дороге с полной нагрузкой и нормальной скоростью, скажем, 60 км/ч). **Полный режим** – максимально возможный для объекта. **Частичный (сокращенный) режим** – небольшая скорость, неполная или нулевая загрузка, небольшая температура и т.д. В тестовом режиме на вход объекта подают сигнал, достаточный, чтобы вызвать отклик на выходе и по нему судить о техническом состоянии объекта. Например, силовые электрические системы проверяют тестером с батареей на 1,5 вольта.

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

2.8 Виды технического обслуживания и диагностирования

Автомобиль – нестационарная машина, эксплуатируется в различных режимах при выполнении разных работ в разных климатических условиях. Поэтому изменение технического состояния автомобиля по наработке глубоко индивидуальное. Для поддержания автомобилей в работоспособном состоянии требуется проведение регулярного диагностирования, регулировочных и ремонтных работ, то есть технического обслуживания.

Техническое обслуживание – комплекс операций по поддержанию исправности или работоспособности объекта при его использовании по назначению.

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.

Система технического обслуживания направлена на обеспечение эксплуатационной надежности автомобилей. Существует три вида систем технического обслуживания и ремонта: по потребности (1), планово-предупредительная по наработке (2), планово-предупредительная по состоянию (3,4), рис. 2.5.

По первой системе машины и их составные части ремонтируют в основном по потребности после отказа, поломки. Система обеспечивает почти полное использование технического ресурса. Но в связи с отсутствием работ по предотвращению отказов, ремонты будут аварийными и сопровождаться большими материальными издержками.

Планово-предупредительная система обслуживания по периодичности, в основу которой положен плановый, предупреждающий аварии ремонт по мере их наработки сопровождается значительным объемом преждевременных ремонтов с полной, зачастую неоправданной разборкой вне зависимости от состояния сложных агрегатов, обуславливающей резкое сокращение их технического ресурса.

Третья система обеспечивает почти полное использование технического ресурса машин, позволяет предотвратить отказы и этим обеспечивает высокую долговечность и безотказность. Технические воздействия при обслуживании по состоянию проводятся при достижении контролируемым параметром своего критического уровня – предельного состояния. Диагностирование производится без разборки узлов. Эта система позволяет повысить среднюю наработку агрегатов без увеличения количества отказов. Она наиболее экономична.

Система профилактического обслуживания и ремонта машин в АТП по состоянию предполагает, в основном, три вида работ: обязательные (ОР), контрольно-диагностические (Д) и устранение выявленных неисправностей (УН). Если принять суммарную трудоемкость работ на 1000 км за 100 %, то по видам работ она распределяется примерно так: 15...20 % – обязательные работы, 8...12 % – диагностирование с помощью современного оборудования, 65...75 % – устранение неисправностей.

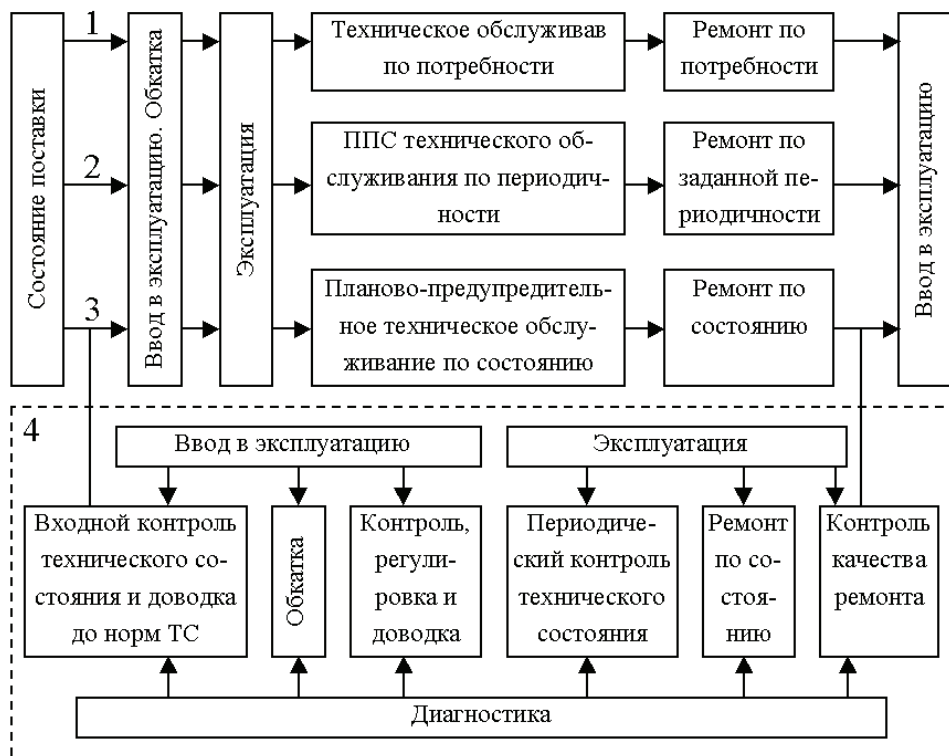


Рис. 2.5. Схемы технического обслуживания и диагностирования

В настоящее время увеличилась необходимость совершенствования методов информационного обеспечения процессов управления производством ТО и ремонтом автомобилей, поскольку низкое качество используемой субъективной информации значительно затрудняет управление и снижает надежность функционирования системы. Эффективность функционирования системы поддержки работоспособности автомобилей при этом определяется уровнем ее самоорганизации, зависящим от квалификации исполнителей, их материальной и моральной заинтересованности, трудовой дисциплины и т. д. Повысить надежность и эффективность работы технической службы позволяет применение диагностирования для уточнения и локализации неисправностей в случае неоднозначной информации и принятия на этой основе персоналом технической службы обоснованных решений, которые обеспечивают их доведение до исполнителей в четкой нормативной форме и предварительную подготовку производства. Это в значительной степени снижает время простоев автомобилей в ремонте и повышает качество его проведения.

Существенное повышение надежности использования и сохранения заданного ресурса машины можно достигнуть путем ввода контроля технического состояния на соответствие заданным нормам на стадии ввода ма-

шин в эксплуатацию до и после обкатки (см. рис. 2.5, схема 4). В этом случае каждая машина вводится в эксплуатацию доведенной до проектных требований качества, исключается ввод в эксплуатацию механизмов пониженного качества. Кроме этого на стадии ввода в эксплуатацию определяются фактические индивидуальные значения диагностических параметров, что позволяет повысить достоверность диагностирования остаточного ресурса за счет повышения точности исходной информации о диагностических параметрах.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите показатели технического уровня проектирования машин.
- 2 Приведите классы надежности машин по вибрационному критерию.
- 3 Объясните суть понятия проектирования машины на безопасный ресурс. Представьте это в графическом виде.
- 4 Приведите показатели технического состояния автомобиля, определяющие уровень его надежности и ресурс.
- 5 Какие основные семь видов знаний необходимы диагносту для эффективного диагностирования автомобилей?
- 6 Приведите первоочередные объекты диагностирования автомобиля.
- 7 Приведите три группы объектов технической диагностики.
- 8 Приведите основные режимы диагностирования объектов автомобиля.
- 9 Какие виды технического обслуживания существуют? Укажите их преимущества и недостатки.

3 НЕИСПРАВНОСТИ И НАДЕЖНОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ

3.1 Понятия дефект и неисправность

Понятие дефект и неисправность. Объективная реальность, отражаемая понятием «дефект», является основным предметом исследования технической диагностики. Это понятие используется в различных областях науки и практики [21, 39].

В самом общем случае под дефектом (от лат. defectus – недостаток, изъян) понимают недопустимое отклонение от нормы. В содержании понятия «дефект» родовый признак – это понятие «отклонение», которое в данном случае является синонимом слову «изменение» и определяет объективную сущность дефекта. Изменение не зависит от фиксирующего его субъекта. Видовая часть содержания понятия «дефект» – «недопустимое» и «норма» определяет субъективную окраску. Кто-то устанавливает норму и кто-то определяет уровень отклонения, который считается недопустимым.

Соотношение субъективного и объективного в понятии «дефект» в различных областях науки и техники различно. Например, в кристаллографии дефект – это нарушение строгой периодичности расположения частиц – в кристаллической решетке. Субъект имеет возможность целенаправленно нарушать периодичность, прикладывая внешние воздействия. С другой стороны, норма – строгая периодичность, существует объективно.

Признак недопустимости определяет определенную негативность явления «дефект». Например, в области контроля качества изделий дефекты снижают потребительскую стоимость изделия. Хотя это необязательное условие. В металловедении дефекты целенаправленно используются для улучшения пластичности металлов.

В общем случае понятие «дефект» отражает внешние и внутренние признаки объективной реальности. В частности в области контроля качества изделий принимают во внимание и внешние, и внутренние дефекты, в дефектологии дефект – это внутренний признак, в надежности неисправность и отказ – это внешнее явление.

В области управления надежностью технических объектов статус понятия «дефект» связан с жизненным циклом объекта и с особенностями задач этапов этого цикла.

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 диагности-

рования.

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 невыявленные 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.

Уровень недопустимого изменения свойства – это характеристика, субъективная и внешняя по отношению к объекту диагностирования.

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, как уже отмечалось ранее, не является его синонимом. Вместе с тем следует признать, что стандартное требование к пониманию термина многими специалистами не выполняется, что вносит серьезную путаницу в сферу профессионального обучения специалистов, в том числе и автомобилистов. Технические термины и их определения формируют смысловое понимание специалистами сущности своей деятельности и сферу их профессионального общения. И вряд ли при неправильном понимании терминов можно рассчитывать на успешное составление инструкции по эксплуатации или решения другой поставленной задачи диагностирования.

Основными причинами разнотолкования термина «дефект» являются:

- незнание многими специалистами требований стандарта ГОСТ 154667–93, относящихся к термину «дефект», или пренебрежение ими. Следствием этой причины является также неразбериха и путаница в источниках учебной информации и в технической документации автомобильной техники (в части определения и использования термина «дефект»);
- отсутствие конкретных требований в государственных стандартах, относящихся к термину «дефектация», и ошибочность требований, содержащихся в ведомственной нормативно-технической документации.

Ключевой смысл понимания сущности дефекта заключается в том, что дефект относится только к продукции, а продукция рассматривается стандартом как материализованный результат процесса трудовой деятельности, полученный в определенном месте за определенный интервал времени, и предназначенный (а не использованный или используемый [2]) для использования потребителем.

Согласно ГОСТ 154667–93, продукция может быть готовой или находиться в незавершенном производстве, а также в процессе ремонта (но не «до ремонта» [2]).

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. Однозначному пониманию этого определения неисправности способствует пример трещины детали, которая является неисправностью этой детали.

Трещины могут быть на различных деталях автомобилей, различно и их влияние на исправность и работоспособность машин. Трещина детали может послужить причиной неисправности сборочной единицы, в которую конструктивно входит деталь.

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

Однако вопреки отмеченным требованиям стандарта, большинство соответствующих учебников и технической документации к автомобилям искажают понимание смысла термина «дефект» и дезинформируют специалистов. В источниках технической информации к числу дефектов отнесли и эксплуатационные неисправности (износы, коррозия, старение и повреждения деталей), что с учетом отмеченных выше требований стандарта следует считать грубой ошибкой.

Примерами дефектов могут быть [21]:

- в процессе изготовления машин: выход размера детали за пределы допуска, неправильный выбор материала детали и (или) нарушение режимов ее термообработки и т.д.;
- как в процессе изготовления, так и в процессе ремонта машин: неправильная сборка или регулировка (настройка) сопряжения, узла или агрегата, недопустимо высокое содержание вредных веществ в отработавших газах, наличие заусенцев на резьбе и т.д.

Понятие «дефект» неразрывно связано с понятием «брак», так как они относятся к одному объекту – к продукции. Понятие «брак» совпадает с понятием «забракованная продукция», если продукция состоит из одной

единицы, оказавшейся дефектной, или из нескольких единиц, в каждой из которых имеется хотя бы один дефект.

По существу, причиной брака продукции является наличие хотя бы одного дефекта.

Термин «дефект» применяют при контроле качества продукции на стадии изготовления, а также при ее ремонте (при дефектации на этапах восстановления и сборки, составлении ведомостей дефектов и контроля качества отремонтированной продукции).

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 и электрических систем.

3.2 Классификация дефектов и неисправностей

По причине возникновения 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. 3.1, 3.2).

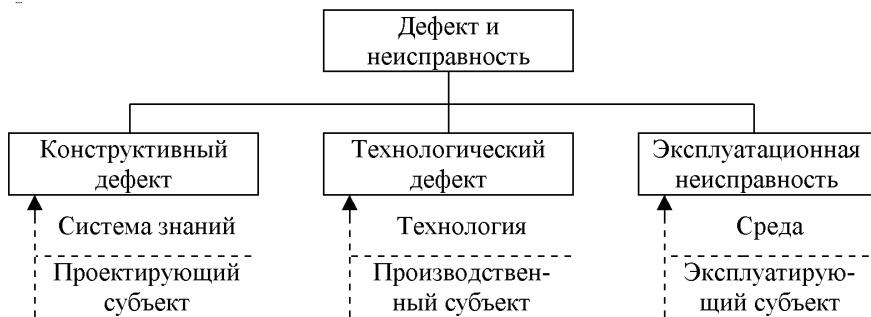


Рис. 3.1. Классификация дефектов и неисправностей по критерию «внешние причины»

Рассмотренные понятия конструктивных, технологических дефектов и эксплуатационных неисправностей образуют классификацию понятия «дефект» и «неисправность» по критерию «внешние причины дефекта», которая приведена на рис. 3.1. Причина каждого дефекта и неисправности машины обусловлена объективными (система знаний, технология, среда) или субъективными факторами.

Недопустимую величину количественного изменения или качественного изменения свойств можно оценивать относительно трех разновидностей нормы [21]:

Источники внутренних и внешних возмущающих воздействий механического происхождения					
1	2	3	4	5	6
Подшипниковые узлы качения	Зубчатые передачи	Валы при соединении	Погрешности сборки и монтажа отдельных узлов агрегатов и комплектной машины	Динамические свойства конструкции	Внешние возмущающие силы
Погрешности изготовления подшипников	Пересопряжение зубьев	Дисбаланс	Дисбаланс	Распределение собственных частот деталей, узлов корпусов, агрегатов трактора в сборе	Нагрузочные режимы
Отклонения формы беговых дорожек колеи подшипника	Отклонение размера и 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
Отклонения формы тел качения	Циклическая 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			Характеристика силового воздействия
Погрешность сепаратора	Боковой зазор между зубьями шестерен	Овальности шеек валов	Перекосы подшипников при монтаже	Демпфирующие свойства конструкции деталей и соединений	Пульсация крутящего момента
Погрешность изготовления посадочных мест подшипника	Отклонение осевого расстояния между валами шестерен	Неодинаковые моменты инерции площади поперечного сечения валов	Смещение наружного кольца подшипника относительно внутреннего	Резонансная чувствительность элементов и конструкций к изменению внутренних и внешних возмущений	Пульсация нагрузки, пуск, торможение, реверс, сброс и набор нагрузки, характер "отбора" мощности
Перекосы колец из-за перекосов или несоосностей посадочных мест, непараллельности буртиков валов, корпусов и крышек	Непараллельность зубьев	Дефекты соединений валов муфтами	Перекосы в сопряжении зубчатых передач	Податливость и сопротивляемость изгибным и крутильным колебаниям, переменной нагрузке	Качество энергоносителей, смазки
Погрешности сборки подшипниковых узлов	Инерционные жесткостные параметры шестерни валов	Характер посадок деталей на вал	Создание местных напряжений в элементах и соединениях		Движение по неровностям дороги

Рис. 3.2. Структурная модель конструктивных и производственных дефектов и эксплуатационных неисправностей

- верхняя граница – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения $\delta > a$, где δ – текущая величина параметра, a – заданная верхняя граница параметра. Становление дефекта происходит в результате возрастания интенсивности, такие дефекты называют **прогрессивными**;
- нижняя граница – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения $\delta < b$, где b – заданная нижняя граница параметра. Становление дефекта происходит в результате убывания интенсивности, такие дефекты называют **регрессивными**;
- коридор – наличие дефекта фиксируется истинностью отношения $\delta > a$ или $\delta < b$. Становление дефекта может происходить и прогрессивно, и регрессивно, такие дефекты называют **реверсивными**.

С помощью введенных понятий прогрессивного и регрессивного дефектов (неисправностей) можно очертить одну из основных проблем технической диагностики – проблему эквивалентности неисправностей; понятие реверсивной неисправности позволяет говорить о проблеме адаптивного управления деградационными процессами.

При диагностировании машин необходимо знать:

- конструкцию и механизмы функционирования машины;
- причины образования дефектов, их классификацию, их влияние на надежность конструкции, пути предотвращения дефектов и способы устранения в каждом технологическом цикле получения материалов, изготовления из него деталей и их сборки;
- механизмы разрушения и их типы, как и почему происходит разрушение;
- иметь информацию о материалах, их свойствах и характеристиках, а также о влиянии условий изготовления, термообработки и эксплуатации на эти свойства.

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 диагносту выявлять и распознавать причины их появления. Изучение неисправностей и отказов машин – обязательный этап обучения диагностике.

Основное назначение технической диагностики заключается в повышении надежности объектов в процессе их эксплуатации, а также в предотвращении производственного брака на этапе изготовления объектов и их составных частей. 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.

3.3 Виды технических состояний автомобилей

Всего в России в год расходуется более одного миллиарда долларов на поддержание автомобилей в работоспособном состоянии, в США эта цифра составляет около 30 млрд. долл., в мире на ТЭА в год расходуется около 100 млрд. долл. По данным Американской автомобильной ассоциации (ААА), среднегодовые затраты в целом на эксплуатацию автомобиля в США составляют 1800...1900 долл. В России эти затраты лишь незначительно меньше, что объясняется более низкой оплатой труда исполнителей [71].

В связи со сложностью автомобиля, разнообразием его свойств и особенностей конструкции, а также их различных сочетаний, разной зависимостью от условий эксплуатации и типа перевозок достаточно трудно оценить автомобиль одним обобщающим показателем, который однозначно выражает его качество.

Теперь качество автомобиля определяют комплексом наиболее показательных эксплуатационных свойств:

- вместимостью, массой, скоростью движения, проходимостью, безопасностью (тормозными свойствами, устойчивостью, управляемостью, обзорностью, эффективностью сигнализации, диагностического обеспечения, загрязнением окружающей среды, бесшумностью);
- топливной экономичностью, надежностью, удобством использования (плавностью хода, комфортабельностью, простотой управления и дорожного обслуживания, маневренностью);
- простотой ТО.

Комплекс этих качеств дает возможность полно и всесторонне дать общую оценку автомобиля как транспортного средства. Технически исправный автомобиль должен иметь определенный уровень эксплуатационных качеств. Однако автомобиль по различным причинам (усталость – fatigue, коррозия – corrosion, изношенность, неквалифицированное вождение) теряет некоторые эксплуатационные качества (скорость движения, безопасность, топливную экономичность и др.). Это снижает его производительность, увеличивает затраты на перевозку, приводит к увеличению трудоемкости и энергоемкости перевозок и, в конечном итоге, к снижению безопасности для окружающей среды, пассажиров и водителя. Автомобиль теряет работоспособность [24, 25].

Работоспособность – состояние подвижного состава, при котором значения всех параметров, которые характеризуют его способность выполнять транспортную работу, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Работоспособность автомобиля связана не только с его способностью выполнять необходимые функции, но и с тем, чтобы при этом эксплуатационные качества были в допустимых пределах. Поскольку автомобиль является системой, которую можно восстановить, определение тактики и стратегии восстановления его работоспособности имеет большое значение. Работоспособный подвижной состав, заплавленный смазочными материалами и жидкостями, должен быть готовым к работе на линии без дополнительного осуществления каких-нибудь подготовительных работ, за

исключением заправки топливом и тепловой подготовки зимой.

Отказ – событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния подвижного состава. Оно может произойти в результате разрушения, деформации или срабатывания деталей, нарушения регуляции 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.

Анализ отказов работоспособности агрегатов и систем автобусов «Богдан»-А091 показал, что 34 % составляют отказы ходовой части подвески; 18 % – неисправности тормозной системы; 10...15 % отказов приходится на коробку передач, электрооборудование, рулевое управление; 1...5 % составляют отказы двигателя, системы охлаждения, редуктора заднего моста (рис. 3.3).

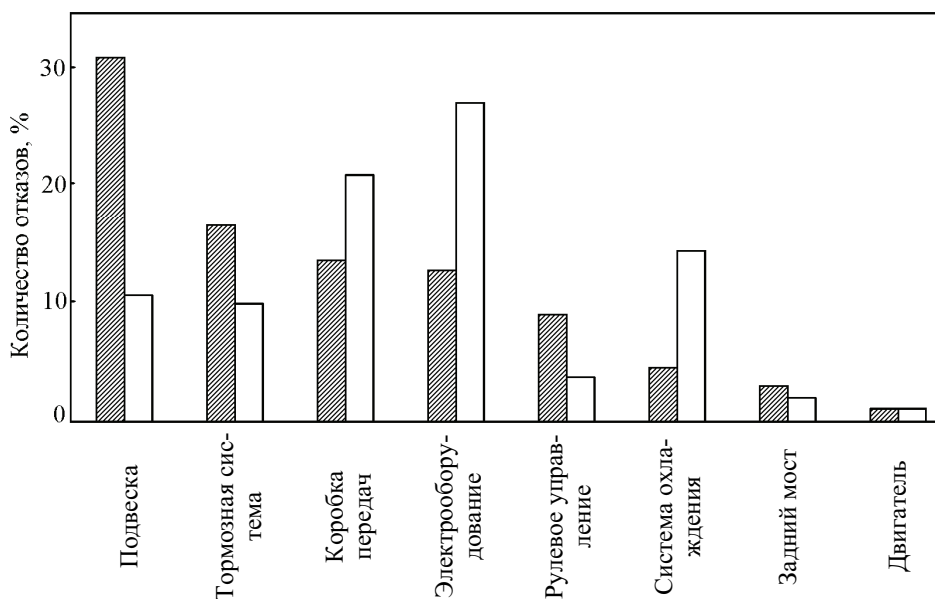


Рис. 3.3. Распределение отказов в автобусах с пробегом до 500 тыс. км:
▨ – «Богдан»-А091 (30 единиц); □ – ПАЗ-4234 (30 единиц)

Что касается автобусов ПАЗ-4234, то отказы ходовой части подвески практически в три раза меньше чем у «Богдан»-А091 и составляют всего 12 %. Самое большое количество неисправностей приходится на коробку передач (23 %) и электрооборудование (30 %).

Количество отказов тормозной системы несколько меньше чем у «Богдан»-А091 и составляет 11 %, в то время как, в системе охлаждения двигателя отказов в три раза больше (16 %). Отказы редуктора заднего моста и двигателя в автобусах ПАЗ-4234 находятся на таком же уровне, как и в автобусах «Богдан»-А091 – в пределах 1...3 % [74].

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

Отказ автомобиля фиксируется в следующих случаях, связанных с техническим состоянием:

- опоздание с выходом на линию;
- прекращение уже начатого транспортного процесса (линейный отказ);
- досрочное возвращение с линии (неполное выполнение задания);
- принудительное обоснованное недопущение к работе или прекращению работы автомобиля на линии контрольными органами (ГАИ, транспортная инспекция, экологическая милиция).

Критерии отказов и предельных состояний устанавливают в нормативно-технических документах с целью достоверного определения технического состояния автомобиля разработчиком, производителем и потребителем. Критерии отказов автомобиля и его элементов определяют по одному характерному признаку или по совокупности признаков неработоспособного состояния.

Критерии предельных состояний автомобиля и его элементов устанавливают по характерным признакам, на основании которых нужно считать невозможным последующее его использование по таким причинам:

- неустранимые нарушения безопасности, выход заданных параметров за допустимые пределы;
- недопустимое снижения эффективности эксплуатации;
- необходимость капитального ремонта.

Признаками отказов и предельных состояний автомобиля являются следующие:

- прекращение (полное или частичное) выполнения автомобилем заданных функций;
- отклонения заданных показателей качества за пределы определенных норм;
- отказы и предельные состояния составных частей автомобиля, приводящие к прекращению (полному или частичному) функционированию автомобиля или выходу его показателей качества за установленные нормы;
- возникновение процессов, препятствующих функционированию автомобиля;
- достижение автомобилем назначенного ресурса или срока службы;
- технико-экономические факторы.

Все отклонения технического состояния от нормы классифицируются как неисправности автомобиля.

Неисправность – состояние подвижного состава, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации. Существуют неисправности, которые не приводят к отказу (разрушение покраски или деформация кузова автомобиля) и которые ведут к отказу (поломка одного из листов рессоры).

Подвижной состав с неисправными составными частями, состояние которых не отвечает требованиям безопасности или влечет повышенное срабатывание деталей, не должен продолжать транспортную работу или выпускаться на линию. Другие неисправности могут быть устранены после завершения транспортной работы в пределах выполняемого или суточного задания.

Работоспособное состояние подвижного состава обеспечивается производственно-технической службой, которая несет ответственность за своевременное и доброкачественное выполнение ТО и ремонт с соблюдением установленных нормативов, эффективную организацию труда ремонтно-обслуживающего персонала, соблюдение нормативно-технической документации для ТО и ремонту.

В процессе эксплуатации автомобиля в результате действия на него целого ряда факторов (нагрузок, вибраций, влаги, воздушных потоков, абразивных частиц, температуры) происходит безвозвратное ухудшение его технического состояния, связанное с изнашиванием и повреждением его деталей, а также изменением ряда их свойств (упругости, пластичности и др.).

Изменение технического состояния автомобиля обусловлено работой его узлов и механизмов, действием внешней среды, факторов, связанных с условиями работы и хранения автомобиля, а также случайных факторов, к которым относятся скрытые дефекты деталей автомобиля, перегрузки и др.

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, характеристик динамических звеньев и другие сведения. Способ функционирования тесно связан со структурной организацией 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 из-

носа и качества изготовления объекта (начальные условия состояния).

К ресурсным структурным параметрам состояния объекта относятся зазоры в подшипниковых узлах, зубчатых передачах, клапанных механизмах, биения валов, прогиб рессор, высота протектора шины, натяг в сопряжении, физико-химические свойства материалов и др. непосредственно обуславливающие техническое состояние механизма и машины в целом.

Параметры процесса функционирования объекта образуют характеристики множества подпроцессов, составляющих основной процесс функционирования структурного блока (элемента), позволяющий выполнять ему свое функциональное назначение.

Представляется важным выполнить правильный выбор должного числа состояний объекта с учетом погрешностей измерений, конечной длины анализируемых реализаций, флуктуации параметра состояния при нормальной работе механизма в различных условиях эксплуатации.

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.

3.4 Надежность механических, газогидроаэродинамических и электронных систем автомобиля

Надежность автомобиля во время эксплуатации изменяется, что обусловлено потерей работоспособности автомобиля и снижением эффективности его использования. А поскольку автомобиль является восстанавливаемой системой, то определение тактики и стратегии восстановления его работоспособности имеет большое значение.

Пример значений показателей надежности городского автобуса большого класса по сезонам в умеренном климатическом районе приведен в табл. 3.1 [71].

Таблица 3.1

Средние значения показателей надежности городских автобусов большого класса по сезонам в умеренном климатическом районе

Показатель	Сезон			
	летний*	осенний	зимний	весенний
1 Нарботка на случай ремонта, %	100	97	81	94
2 Нарботка на линейный отказ, %	100	88	77	88
3 Потери линейного времени по техническим причинам:				
число случаев, %	100	114	128	115
часов, %	100	112	125	112

* Условно принято за 100 %

Перечень неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация тормозных систем и рулевого управления транспортных средств,

приведены в табл. 3.2, 3.3.

Таблица 3.2

Нормы эффективности торможения рабочей тормозной системой

Подвижной состав	Тормозной путь, не более, м	Установившееся замедление, не менее, м/с
Легковые автомобили, в том числе с прицепом	14,7	5,8
Грузовые автомобили и автобусы	18,3	5
Грузовые автомобили с прицепом (полуприцепом)	19,5	5
Двухколесные мотоциклы и мопеды	7,5	5,5
Мотоциклы с боковым прицепом	8,2	5

Таблица 3.3

Нормы максимально допустимого суммарного люфта в рулевом управлении

Подвижной состав	Суммарный люфт не более, град.
Легковые автомобили и созданные на их базе грузовые автомобили и автобусы	10
Автобусы	20
Грузовые автомобили	25

Настоящими данными (см. табл. 3.2, 3.3) и дополнительным перечнем устанавливаются неисправности автомобилей, автобусов, автопоездов, прицепов, мотоциклов, мопедов, тракторов, других самоходных машин и условия, при которых запрещается их эксплуатация. Методы проверки приведенных параметров регламентированы ГОСТ Р 51709–2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки».

Надежность автомобильной техники характеризуется многими показателями: безотказностью, сохраняемостью, ремонтпригодностью и др.

Надежность систем автомобиля необходимо знать для оценки качества и эффективности системы, а также планирования и организации ТО и ремонта. Она определяется надежностью составных элементов и структурой механической, электрической и электронной системы, то есть способами соединения и взаимодействия элементов.

То, как влияет система диагностирования на надежность контролируемых ею объектов автомобильной техники, можно показать на примере одного из важнейших показателей надежности автомобильной техники – ее готовности.

Готовность – это свойство техники находиться в таком техническом состоянии, которое обеспечивает ей успешное применение на протяжении заданного времени после поступления в эксплуатацию.

Показатели надежности систем определяются следующими методами [26].

1 По результатам эксплуатации систем (в процессе которой фиксируются отказы и неисправности) для системы рассчитывают некие показатели надежности и оценивают вклад в ее формирование отдельных подсистем или элементов автомобиля (табл. 3.4). Полученные таким образом данные используются для коррекции технологии и организации ТО и ремонта с учетом надежности элементов системы, а также для предъявления требований, к производителям автомобилей и выбора последних.

Таблица 3.4

Распределение отказов автобуса среднего класса

Элемент (агрегат, система)	Количество отказов, %	Трудоемкость устранения		Расходы на запасные части	Простои на ремонте, %
		средний отказ, чел. час.	отказов, %		
Двигатель	17,7	3,5	37,7	42,1	36,9
Система питания	2,5	1,0	1,5	1,8	2,4
Система выпуска	3,3	0,6	1,3	1,3	1,5
Система охлаждения	8,8	2,1	11,4	12,4	11,2
Сцепление	6,3	1,6	6,4	1,4	4,9
Коробка передач	5,6	2,2	7,5	5,8	6,7
Карданная передача	5,0	1,2	3,8	5,2	3,6
Задний мост	1,4	1,6	1,4	0,1	2,8
Подвеска	4,9	1,3	4,1	7,4	4,4
Передний мост	4,6	1,9	5,5	3,6	3,6
Колеса и ступицы	0,6	2,1	0,8	0,8	0,8
Рулевое управление	2,0	0,5	0,7	0,9	0,8
Тормозная система	5,5	1,7	5,7	4,3	6,0
Электрооборудование и приборы	10,7	0,6	4,4	5,9	5,6
Остальные	21,1	-	7,8	7,0	7,8

Примечание. Нароботка 200 тыс. км.

2 На основании аналитических расчетов надежности ее элементов рассчитывают показатели надежности. Такие расчеты строятся на структурной схеме системы, которая определяет связь между элементами, и данных по законам распределения показателей надежности элементов.

Преимущества аналитических расчетов – возможность количественно оценить влияние элемента на надежность системы. Однако аналитические расчеты возможны для ограниченного перечня законов распределения (экспонентный и меньшей мерой нормальный и логарифмический нормальный) и их сложность существенно растет при росте числа элементов в системе.

3 Если законы распределения показателей надежности элементов неизвестны или для них отсутствует аналитический аппарат, а также для систем с большим количеством различных элементов применяются методы имитационного моделирования. При этом в основе модели – также данные о надежности элементов и структурная схема системы.

Таким образом, два из трех рассмотренных методов основываются на построении структурной схемы системы, основой которой является связь

или соединение между элементами.

Конструктивные соединения могут быть последовательными, параллельными или смешанными, последнее является комбинацией первых двух типов (рис. 3.4).

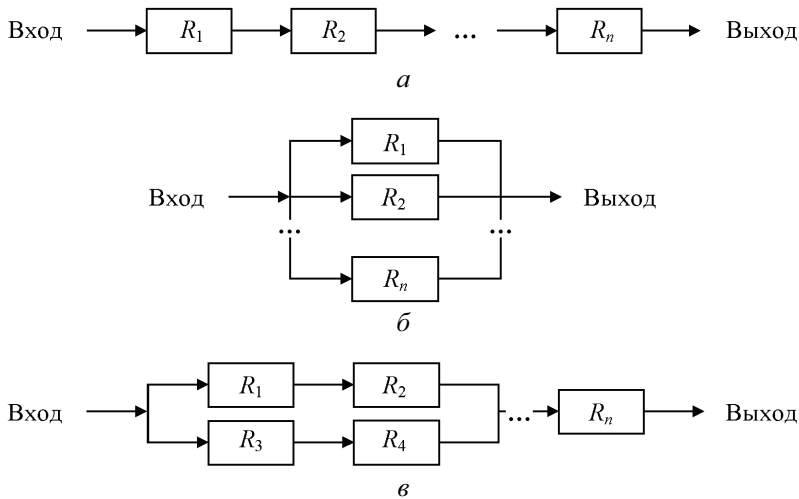


Рис. 3.4. Схемы последовательных (а), параллельных (б) и смешанных (в) соединений системы; R_i – вероятность безотказной работы i -го элемента

При последовательном соединении, наиболее распространенном в конструкции автомобилей и других преимущественно механических системах, отказ любого элемента вызывает отказ самой системы. Если отказы элементов независимы, то вероятность безотказной работы системы при последовательном соединении ее элементов $R_C^{ПЗ}$ за наработку x определяется произведением вероятностей безотказной работы ее элементов $R_i(x)$ за ту же наработку:

$$R_C^{ПЗ}(x) = R_1(x) \times R_2(x) \times \dots \times R_i(x) \times \dots \times R_n(x) = \prod_{i=1}^n R_i(x).$$

В технических системах эта гипотеза может быть принята, если данные по надежности элементов, получены при работе или испытаниях системы в сборе, когда возможное влияние элементов друг на друга «учитывается» в полученных результатах.

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

Вероятность отказа системы как противоположность отсутствия отказа событию определяется по формуле

$$F_C^{ПЗ}(x) = 1 - R_C^{ПЗ}(x).$$

Полную совокупность отказов машин при проектировании и доводке устанавливают на основании результатов стендовых и эксплуатационных испытаний достаточного числа отдельных агрегатов и комплектных машин. Для новых типов машин вид и характер отказов предварительно планируют таким же, как в аналогах.

Для предупреждения отказов и неисправностей, а также обнаружения их источника, предъявления претензий и рекламаций, производителю необходимо знать причины и механизмы возникновения и проявления отказов, а также их влияние на надежность и работоспособность автомобиля в целом, то есть на его способность выполнять транспортный процесс (табл. 3.5, 3.6) [26].

Таблица 3.5

Классификация отказов и неисправностей

Признак	Вид
1 Влияние на работоспособность изделия	1.1 Отказ элемента вызывает отказ автомобиля 1.2 Отказ элемента не вызывает отказ автомобиля (неисправность)
2 Источник возникновения отказа автомобиля	2.1 Конструктивные (недостатки конструкции) 2.2 Производственные (несовершенство или нарушение технологии изготовления) 2.3 Эксплуатационные (нарушение правил перевозок и технической эксплуатации, квалификация персонала)
3 Связь с отказами других элементов	3.1 Зависимые – отказ одного элемента вызван отказом или неисправностью другого элемента 3.2 Независимые – отказ вызван изменением технического состояния или внешними факторами
4 Характер изменения параметра технического состояния	4.1 Постепенные 4.2 Внезапные
5 Частота	5.1 С малой наработкой $x < 1,5 \dots 2$ тыс. км 5.2 Со средней наработкой $2 \dots 3$ тыс. км $< x < 8 \dots 15$ тыс. км 5.3 С большой наработкой $x > 15 \dots 20$ тыс. км
6 Длительность устранения	6.1 Не влияют на рабочее время автомобиля 6.2 Влияют на рабочее время автомобиля
7 Место (время) возникновения	7.1 Линейные – возникают в режиме рабочего времени и нарушают транспортный процесс 7.1.1 Те, которые устраняются на линии 7.1.2 Те, которые не устраняются на линии 7.2 Обнаруженные в нерабочее время автомобиля

В отечественной и международной документации применяется также понятие **исправность**, которое шире понятия **работоспособность** и соответствует такому состоянию изделия, которое отвечает всем требованиям документации.

Деление деталей по влиянию на надежность автомобиля

Но- мер	Группа деталей	Количество	
		тыс. шт.	%
1	Почти не изменяют свойства за срок службы автомобиля	8...9	50...53
2	Изменяют свойства за срок службы автомобиля	7...9	46...50
2.1	Не лимитируют надежность автомобиля: срок службы детали не меньше срока службы автомобиля	4...5	27...28
2.2	Лимитируют надежность автомобиля: срок службы детали меньше сроку службы автомобиля	3...4	20...22
2.2.1	Относительно надежные Лимитируют долговечность – срок службы более года	2,7...3,5	18...19
2.2.2	Критические по надежности. Лимитируют безотказность – срок службы менее года	0,2...0,3	1,3...1,7
2.2.3	Критические по безопасности движения и экологии	0,1...0,2	0,7...1,3

Повышение надежности микропроцессорных систем управления (на примере двигателя). Стратегия надежности МПСУ – это методы автоматического обеспечения работоспособности МПСУ алгоритмическими средствами при отказе ее отдельных элементов без остановки двигателя. Для обеспечения работы МПСУ при отказах ее отдельных элементов, выявленных, в частности, диагностированием, применимы два вида стратегии надежности: дублирование и резервирование элементов, блоков или даже отдельных систем и использование дублирующих (обходных) алгоритмов, обеспечивающих сохранение работоспособности МПСУ [72].

Эффективность стратегии надежности непосредственно связана с общим числом входящих в МПСУ элементов, влияние отказов которых должно быть устранено. Поэтому важнейшим условием повышения надежности МПСУ, является минимизация номенклатуры и количества функционально необходимых элементов – прежде всего датчиков, устанавливаемых непосредственно на двигателе в наиболее неблагоприятных условиях. Минимизация числа датчиков возможна главным образом за счет рационального использования рабочей информации поисковых адаптивных структур.

Минимизация общего числа функционально необходимых элементов позволяет ввести дублирование и резервирование наиболее подверженных внешним воздействиям элементов, образующих главные локальные системы управления. Пример дублирования – установка двух совместно работающих датчиков положения коленчатого вала. При выходе из строя одного из них работоспособность системы сохраняется, а водителю и в запоминающее устройство поступает информация об отказе для проведения замены при первой же возможности.

Резервирование – например, на двигатель ставятся два электронных блока управления. Один работает, а другой поддерживается в состоянии готовности, в частности в прогретом состоянии при непрерывном или регулярном тестировании. Он включается в работу только при отказе первого, также с выдачей информации водителю и в память.

Возможны и другие варианты, так, например, на двигателях фирмы Detroit Diesel используются два электронных блока, выполняющих разные функции. При отказе одного из них другой берет на себя и все функции отказавшего. В таком виде может теряться быстродействие системы управления, но обычно в электронных блоках есть аппаратный и программный запасы, поэтому водитель может и не почувствовать изменений в качестве управления.

В МПСУ автомобильных двигателей часто используется и второй вариант стратегии надежности – использование дублирующих (обходных) алгоритмов. Этому способствуют определенная избыточность имеющейся в системе информации и большие возможности МПСУ. В случае отказа отдельных элементов, например некоторых датчиков, имеется возможность сохранить работоспособность двигателя, построив управление с использованием информации от других датчиков, как правило, при определенном снижении качества управления. Так, при выходе из строя измерителя массового расхода воздуха можно управлять подачей топлива по сигналам датчика давления во впускном трубопроводе, по сигналам лямбда-зонда или по сигналам датчика открытия дроссельной заслонки. Аналогично можно построить обходные алгоритмы управления углом опережения зажигания и рециркуляцией отработанных газов. При отказе датчика детонации или лямбда-зонда можно перейти на программное управление соответственно опережением зажигания или подачей топлива; в крайнем случае ввести упрощенное управление, позволяющее водителю доехать до станции технического обслуживания. Соответствующие алгоритмы предусматриваются в каждой МПСУ.

Стратегия надежности наиболее полно выражается в наличии альтернативных структур МПСУ, организуемых при отказах отдельных ее элементов. В частности, это переход на упрощенные, менее точные алгоритмы управления. Такой метод отказа от выполнения более сложных функций иногда называют «дебилизацией» управления.

Упрощение управления может начаться с отказа от поисковой адаптации и перехода на программную. Затем, если этого окажется недостаточным, осуществляется переход на упрощенные, менее точные программы управления, действующие без учета некоторой второстепенной информации. Следующий шаг – отказ от согласованного комплексного программного управления и переход на раздельное управление локальными МПСУ. При этом задание регулятором второстепенных параметров двигателя остаются неизменным, а по главным параметрам – частоте вращения и мощности – обеспечивается возможность ручного, точнее непосредственно от педали водителя, ввода заданий.

Наиболее сложен переход на программы, использующие косвенные источники информации в локальных МПСУ. Например, в таких алгоритмах управления дизелем выходной сигнал регулятора частоты может использоваться, кроме формирования основного и дополнительных управляющих воздействий, в качестве критерия оптимальности при поисковой адаптации или как вспомогательный (аварийный) при регулировании того или иного

параметра в аварийных ситуациях.

В аварийной ситуации, созданной отказом наиболее уязвимого элемента системы – датчика давления, обратная связь в регуляторе отключается. Регулятор может вызвать чрезмерное повышение давления в аккумуляторе и, следовательно, полный отказ МПСУ, в конечном счете и двигателя. Для предотвращения этого при отказе датчика включается альтернативная резервная структура с дополнительными каналами. Из датчика в блок сравнения поступает информация, накопленная при нормальном функционировании системы, о том, каковы были значения выходных сигналов регулятора частоты вращения, определяющие текущие значения продолжительности впрыскивания на конкретных скоростных и нагрузочных режимах при оптимальном давлении в аккумуляторе. Эти зафиксированные в памяти значения используются в альтернативной структуре в качестве заданных. Если окажется, что на данном режиме работы двигателя (известны частота вращения и нагрузка) выходной сигнал регулятора частоты не равен тому, который должен быть при оптимальном давлении топлива в аккумуляторе, то блок сравнения будет воздействовать на регулятор давления до тех пор, пока в результате изменения производительности топливного насоса, создающего давление топлива в аккумуляторе, и восстановления эффективности сгорания топлива величина $u_{\text{ч}}$ не станет равной $u_{\text{ча}}$. Это будет свидетельствовать о том, что давление топлива в аккумуляторе как раз такое, при котором длительность впрыскивания топлива, устанавливаемая по $u_{\text{ч}}$, соответствует оптимальному по расходу топлива рабочему процессу для данного режима работы двигателя. Таким образом, даже в аварийных ситуациях САРД обеспечивает достаточно близкий к оптимальному рабочий процесс. Точность адаптивной оптимизации давления впрыскивания снижается, но работоспособность двигателя сохраняется.

Надежность работы МПСУ обеспечивается также рядом следующих дополнительных мероприятий [72]:

- высокими требованиями, предъявляемыми к элементной базе МПСУ. Элементы системы должны работать в диапазоне температур от -40 до $+125$ °С и более и выдерживать ударные нагрузки при ускорении свыше 50 g . Специальные меры приняты для защиты системы от агрессивных веществ, содержащихся в продуктах сгорания и окружающей среде;
- использованием микросхем с очень большой степенью интеграции, что сокращает число необходимых разъемов и уменьшает длину коммуникаций;
- наличием 100 %-ного входного контроля элементов системы и контроля на выходе, периодического контроля систем в ходе производства и при необходимости их отладкой;
- возможностью использования элементов автоматической подстройки системы в эксплуатации и внесения исправлений в характеристики датчиков по мере их изменения в процессе эксплуатации.

Общими задачами снижения износа, расхода топлива и повышения надежности двигателя являются [72]:

- снижением минимальной частоты вращения двигателя на холостом ходу;
- исключением необходимости длительной работы на холостом ходу;
- непрерывным диагностированием двигателя и микроконтроллера;
- совершенствованием аварийных защит;
- минимизацией номенклатуры и количества функционально необходимых элементов МПСУ;
- стратегией надежности, реализуемой алгоритмически в микроконтроллере;
- совершенствованием эксплуатации.

Совершенствование конструкции двигателя. Исключение или упрощение конструкции перечисленных выше деталей и узлов двигателя и облегчение условий работы многих других обеспечивают уменьшение вероятности отказов важнейших элементов его систем.

Управление ограничениями подачи топлива. В МПСУ ограничение подачи топлива выполняется преимущественно программно в микроконтроллере в функции любых контролируемых параметров. Высокая точность управления ограничениями подачи топлива в процессах разгона и повышения нагрузки на двигатель исключает выход крутящего момента и других управляемых параметров двигателя за допустимые значения, что снижает вероятность аварий и повышает надежность двигателя.

Замена механических связей информационными. Наиболее заметен эффект от замены механических (и гидравлических) передач в системе управления электрическими при использовании электрических исполнительных механизмов. Основная часть необходимой им энергии имеется непосредственно в управляемых системах двигателя, а по электрическим каналам передается практически только командная информация о необходимых воздействиях на двигатель, представляемая, как правило, сравнительно маломощными сигналами. Этим исключается износ передач. Очевидно, что такая замена при использовании МПСУ сопровождается повышением надежности двигателя.

Уменьшение износов на холостом ходу. Повышение надежности двигателя определяется уменьшением износов при снижении минимальной частоты вращения двигателя на холостом ходу и исключением необходимости длительной работы двигателя на этом режиме. Последнее объясняется быстротой и надежностью пуска двигателя, оснащенного МПСУ.

3.5 Изменение технического состояния объектов машин в жизненном цикле и безопасный ресурс

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 могут быть уровни вибрации объекта исследова-

ний. Контроль уровней вибрации машины в жизненном цикле объекта диагностирования позволяет наблюдать изменения технического состояния.

На рис. 3.5 приведена схема изменения диагностического параметра виброускорений конструктивного элемента машины разного уровня проектирования на всех стадиях жизненного цикла (I...VI) [27], 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 (ППР); 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 [27]; ОР – остаточный ресурс.

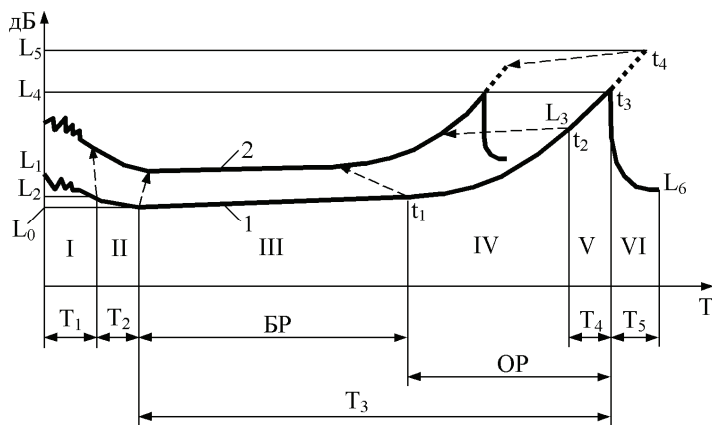


Рис. 3.5. Схема изменения диагностического параметра виброускорений в жизненном цикле (I...VI) машины (элемента)

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 по-

вреждения), 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 проводимого систематического переоценивания 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 $t_3...t_4$ (см. рис. 3.5) 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 кило-

метрах пробега, снижение мощности двигателя, анализ состава ОГ, хотя и эта связь является далеко не однозначной.

Одним из важных направлений уточнения ресурсных характеристик является выбор подходящего процесса эксплуатации, максимально адекватной 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. 3.5) 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 (см. рис. 3.5), поскольку остается недоиспользованная остаточная прочность и ресурс машины (элемента) (участки IV и V, см. рис. 3.5). В большинстве случаев выработка машиной ресурса на участке БР составляет 75 % от общего (полного) ресурса ОР (см. рис. 3.5) [27]. 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 на-

работки 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, см. рис. 3.5.

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 обнаруживаемая 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. 3.5).

В этих условиях необходимо обеспечить требуемое (чрезвычайно вы-

сокое) значения 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 (см. рис. 3.5), 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.

3.6 Основные факторы, определяющие неисправности и отказы

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. 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.

В табл. 3.7 [20] приведена классификация процессов старения в зависимости от характера повреждения, то есть от того внешнего проявления, к которому привел данный процесс. При этом 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.

Классификация процессов старения

Объект		Внешнее проявление процесса (характер повреждения)	Разновидности процесса
Поверхность (поверхностные явления)	Деталь (объемные явления)	1 Разрушение	Хрупкое разрушение, вязкое разрушение
		2 Деформация	Пластическая деформация, ползучесть, коробление
		3 Изменение свойств материала	Изменение структуры материала, механических свойств, химического состава, магнитных свойств, газопроницаемости, загрязнение жидкостей (смазки, топлива)
	Открытая поверхность	4 Разъедание	Коррозия, эрозия, кавитация, прогар, трещинообразование
		5 Нарост	Налипание (адгезия, когезия, адсорбция, диффузия), нагар, облитерация (заращивание)
		6 Изменение свойств поверхностного слоя	Изменение шероховатости, твердости, отражательной способности, напряженного состояния
	Переслаивание поверхности	7 Износ	Изнашивание (истирание), усталость поверхностных слоев, смятие, перенос материала
		8 Изменение условий контакта	Изменение площади контакта, глубины внедрения микровыступов, сплошности смазки

Основными видами дефекта металла деталей, влияющим на ускорение появления эксплуатационных неисправностей, являются [21]:

1 Трещины – надрывы в поверхностном слое металла. Образуются в результате высоких одноразово приложенных напряжений (растяжение, изгиб, кручение), когда нагрузка превышает прочность детали, например, при нарушении технологии правки детали, демонтаже или монтаже детали с хрупким поверхностным слоем или при перегрузке детали в эксплуатации (работа в нерасчетном режиме).

2 Механические повреждения поверхности – забоины, вмятины, надиры, риски, местный наклеп. Причины их возникновения могут быть самыми разнообразными.

3 Износ – это процесс изменения геометрии деталей вследствие трения. Трение и износ не являются до конца изученными явлениями, поэтому для их объяснения используют различные виды классификаций по внешним признакам. Различают трение качения, скольжения, верчения, сухое, граничное, жидкостное, с контактом по плоскости, линии, точке. Для описания износов часто используют следующую классификацию:

- износ первого рода – адгезионный (молекулярно-механический);
- износ второго рода – тепловой, задиры;
- окислительный износ;
- усталостный износ – питтинг;
- абразивный износ;

- фреттинг-коррозия;
- эрозия.

4 Усталостное изнашивание является следствием циклического воздействия на микровыступы трущихся поверхностей. Отделение частиц может также происходить в результате наклепа поверхностного слоя, который становится хрупким и разрушается. Иногда такой процесс называют изнашиванием при хрупком разрушении.

Следует различать усталостный износ и контактную усталость поверхностных слоев, которая возникает при чистом качении и проявляется в развитии местных очагов разрушения (питтинг).

5 Усталостное разрушение деталей: типичная усталость под действием переменных напряжений, малоцикловая усталость (десятки и сотни циклов), контактно-усталостные разрушения (питтинг, шелушение, усталостное выкрашивание контактных пар), коррозионно-усталостные разрушения деталей, подверженных воздействию выходящих газов, термическая усталость.

6 Коррозионные повреждения трущихся деталей, корпусов (кузова и рам), электрических контактов различного вида. Коррозионные процессы классифицируют [21]:

- по механизму реакции взаимодействия металла со средой;
- по типу коррозионной среды;
- по виду коррозионных разрушений на поверхности или в объеме металла;
- по характеру дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

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. 3.2) в машинах действуют сложные деградационные процессы (рис. 3.6 [14]), трудно учитываемые расчетными методами.

К технологическим факторам следует отнести: качество материала, термообработку валов, используемое упрочнение, чистоту рабочих поверхностей, точность изготовления посадочных шеек, качество сборки.

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.

При прогнозирующих расчетах надежности можно ограничиться рассмотрением случайных величин процессов нагружения и характеристик ма-

териала деталей. Но эти методы неточны, не учитывают конкретные (индивидуальные) исходные мощности и условия эксплуатации.

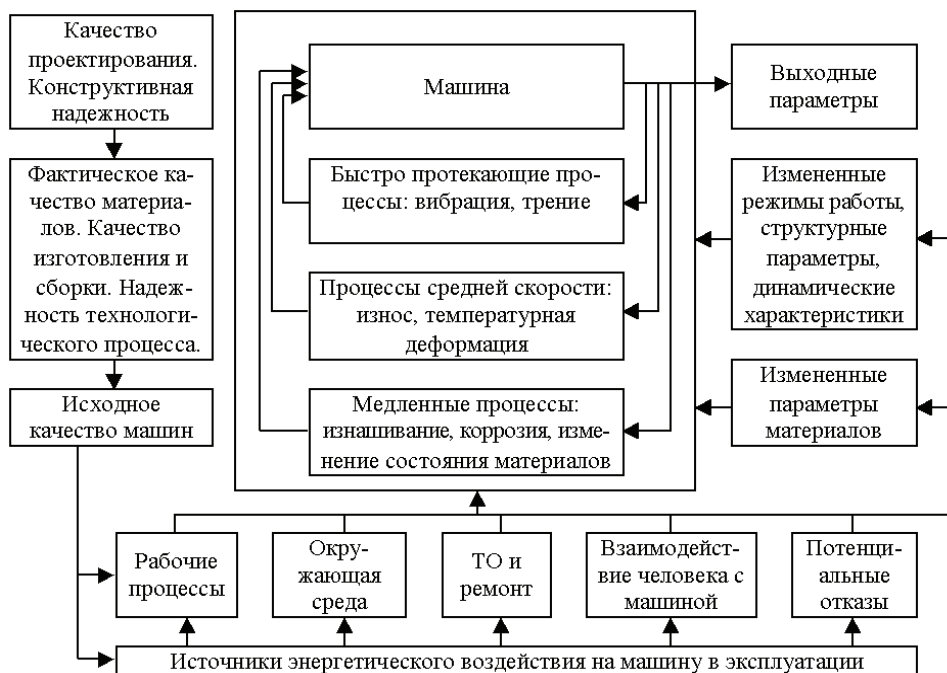


Рис. 3.6. Физико-вероятностная модель энергетических воздействий на машину в процессе эксплуатации

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.

К дефектам восстановления относятся 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.

К дефектам сборки относятся результаты нарушения требований технических условий на сборку (см. рис. 3.2), например, нарушение плоскостности 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 установочной 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.

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. Пример: небольшое изменение параметров фланкирования зубьев колес планетарного 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, а также разбухание деталей из резины агрегатов (приборов), 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.

В процессе эксплуатации транспортные машины взаимодействуют с окружающей среды, а его элементы взаимодействуют между собой. Эти взаимодействия 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: состояние поверхностей трения, размеров деталей и их взаимное расположение, 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.

3.7 Причины, источники и виды отказов

Конструктивный отказ – это отказ, возникающий по причине наличия дефекта, обусловленного несовершенством или нарушением установ-

ленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Например, причиной дорожно-транспортного происшествия может быть отказ рулевого управления, произошедший из-за облома (поломки) сошки или рулевой тяги. Причинами облома (поломки) 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. 3.2, 3.7). 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. 3.5, 3.6, 3.7) [16, 17].

Причины отказов, закладываемые при проектировании машины, могут быть следующими: неудачный выбор формы деталей, например с концентраторами напряжений и резким изменением сечений; неудачный выбор материалов и их сочетаний; недооценка нагрузок и действующих сил; учет их возможных изменений в процессе эксплуатации машины и т.д.

Производственный отказ – это отказ, возникающий по причине наличия дефекта, связанного с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии (см. рис. 3.2, 3.5).

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

Причинами отказов, закладываемыми при изготовлении 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. 3.8.

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

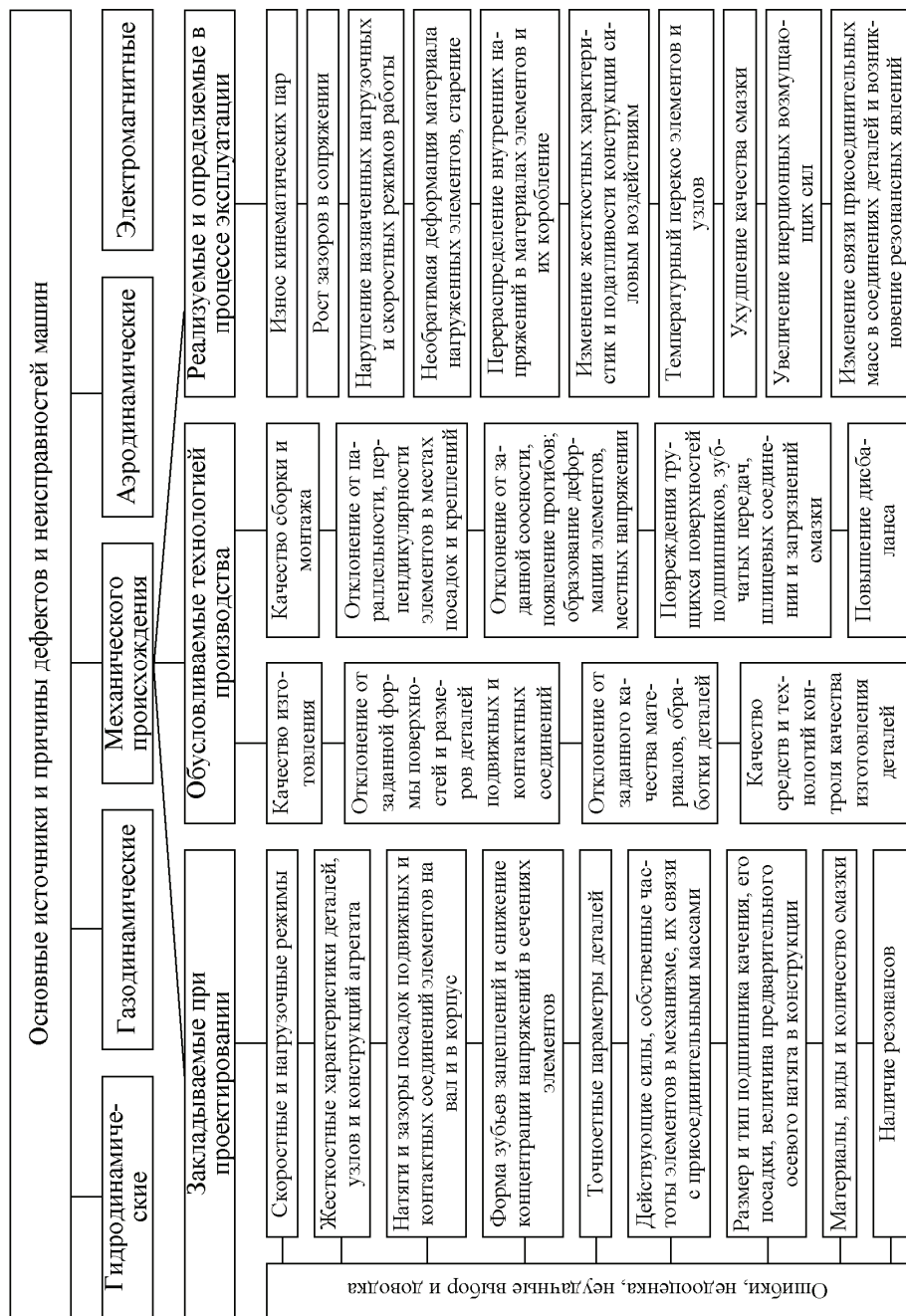


Рис. 3.7. Основные факторы механического происхождения, определяющие дефекты и неисправности



Рис. 3.8. Схема классификации дефектов ремонтного производства

Потенциальными источниками отказов сложной технической системы могут являться:

- природные (наводнения, землетрясения, ураганы и т.п.);
- технологические (промышленные, строительные, транспортные системы и т.п.);
- социальные (войны, саботаж, нарушение коммуникаций).

Критериями предельного состояния являются признаки или совокупности признаков предельного состояния объекта. Такими критериями могут быть:

- деформация или внезапное разрушение основных компонентов системы вследствие катастрофического отказа;
- предельные износы нескольких основных компонентов или их базовых деталей;
- усталостное разрушение основных компонентов или их базовых деталей.

Ввиду значительного числа составляющих компонентов сложной технической системы машин, а также разнообразия видов отказов отдельных элементов, так, например, стандарты по повреждениям зубчатых колес насчитывают 49 видов, отказы сложных технических систем также характеризуются большим разнообразием по физической природе и критичности. Характеристика видов отказов и их критичности содержится в стандартах.

Критичность отказов оценивается с использованием показателей, учитывающих:

- вероятность возникновения отказа за время эксплуатации;
- условные вероятности наступления всех возможных неблагоприятных последствий отказа;
- размер возможного ущерба в результате наступления каждого из ожидаемых последствий отказов.

В ГОСТ 27.002-89 приводятся определения восьми видов отказов: независимый, зависимый, внезапный, постепенный, перемежающийся, конструкционный, производственный и эксплуатационный отказы. В литературе по надежности употребляются и другие виды отказов. Отказы принято классифицировать по различным признакам (рис. 3.9).

Независимый отказ – это отказ объекта, не обусловленный отказом другого объекта. **Зависимый отказ** – это отказ объекта, обусловленный от-

казом другого объекта. При **полном отказе** объект прекращает выполнение всех возложенных на него функций, а при **частичном** – некоторые функции объектом еще выполняются.

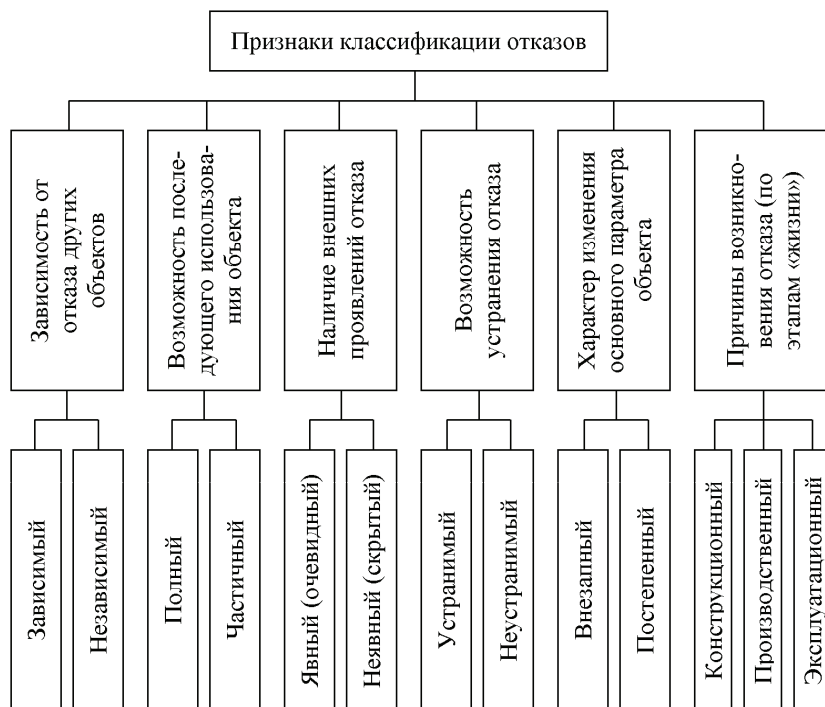


Рис. 3.9. Классификация отказов

Перебегающий отказ (сбой) – это многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта одного и того же характера. Весьма важным в теории надежности является разделение отказов на внезапные и постепенные.

Внезапный отказ – это отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта.

Постепенный отказ характеризуется медленным изменением значений параметра объекта (рис. 3.10).

Деление отказов на внезапные и постепенные весьма условно. Поскольку физико-химические процессы, приводящие к отказам, во времени непрерывны, то, в принципе, внезапных отказов, как таковых, быть не может. Просто мгновенность быстротекающих процессов приводит к внезапному проявлению отказов. Но при наличии совершенной контрольно-измерительной аппаратуры и правильно выбранной частоте контроля объектов можно прогнозировать появление отказа, то есть относить его к классу постепенных отказов.



Рис. 3.10. Характер появления внезапного и постепенного отказов

По частоте возникновения (наработке) для современных автомобилей различают отказы с малой наработкой — 3...4 тыс. км в зависимости от типа, марки и модели автомобиля, средний — до 16 тыс. км и большой — свыше 16 тыс. км.

По трудоемкости устранения отказы можно разделить на требующие малую (до 2 чел. · ч), среднюю (2...4 чел. · ч) и большую (свыше 4 чел. · ч) трудоемкость восстановления автомобиля.

Стадии развития дефектов. Характерные стадии развития дефектов, неисправностей и отказы, представленные на рис. 3.11, имеют свой комплекс диагностических параметров.

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.

Дефекты и отказы классифицируют по признакам, приведенным на рис. 3.12, 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.

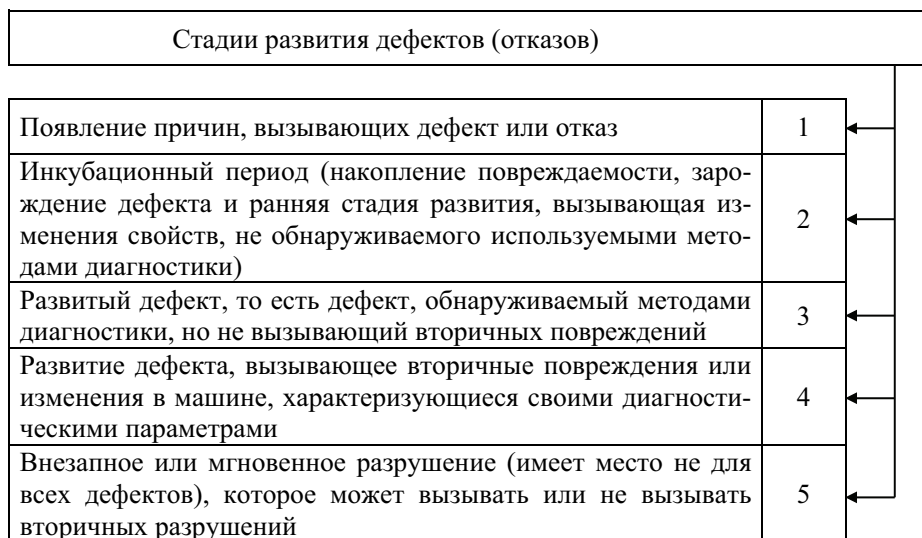


Рис. 3.11. Стадии развития дефектов, неисправностей и отказов

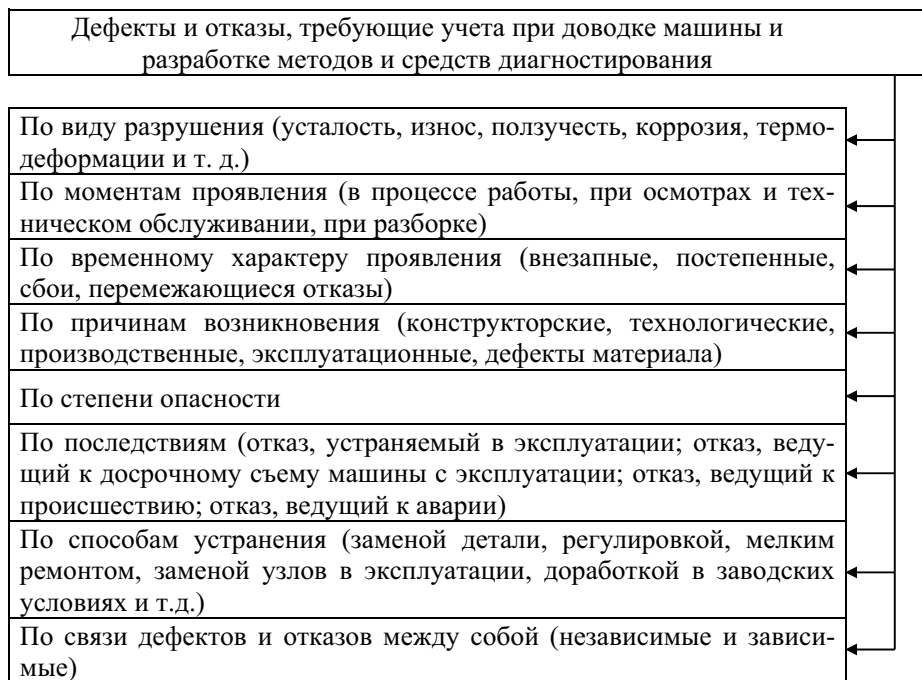


Рис. 3.12. Классификация дефектов и отказов

3.8 Неисправности электрооборудования и компонентов электронных систем управления автомобилем

3.8.1 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, содержащей 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 сопротивлений 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 сбоя. **Сбой** – это самоустраняющийся 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 являются 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.

3.8.2 Дефекты и неисправности компонентов электрической системы

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 могут быть использованы для различных технологий диагностирования. Следует отметить, что тесты, построенные для неисправностей (логического уровня), могут быть использованы при анализе таких физических дефектов,

чей эффект 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 характеристическими свойствами (например, константные неисправности, которые эквивалентны 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 соединений компонент. Функциональные неисправности определяются на функциональной модели системы. Например, эффект функциональной неисправности может проявляться в изменении функции, реализуемой компонентой 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.

3.8.3 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), нечистота поверхности, наколы или вкрапления ок-

- 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. 3.8 представлены типичные физические дефекты, возникающие при изготовлении печатных плат и частота их возникновения.

Таблица 3.8

Типичные физические дефекты, возникающие при изготовлении плат

Тип дефекта	Частота
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

3.8.4 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 ис-

пользуемые 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. 3.9 представлены наиболее распространенные типовые модели неисправности.

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 типы 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. 3.13. 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 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 обнаружены на высоких тестовых рабочих частотах. Для этих целей используются две основные модели: задержки вентиля, задержки пути.

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 линии 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 постоянно в замкнутом (проводящем) состоянии
Неисправности транзистор «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.
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 (untestable faults)	Неисправности, для которых не может быть построен тест. Среди них: <ul style="list-style-type: none"> – избыточные неисправности, чье присутствие не изменяет поведения 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

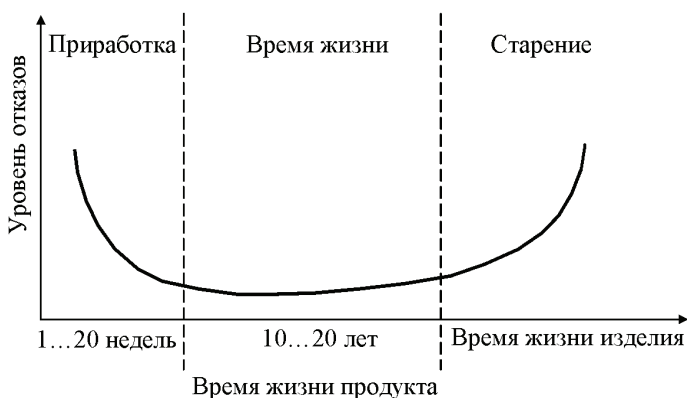


Рис. 3.13. Зависимость интенсивности отказов от времени

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.

Неисправности текста программ Hardware Description Languages (HDL). Простая неисправность 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 неисправности текста программы для тестирования программного обеспечения [22]. 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 генерации «мутанта». Типичным примером оператора мутации является замена одной арифметической операции на другую.

Функциональные неисправности микропроцессоров. В соответст-

вии 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. 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 недостаточному 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.

Разомкнутая цепь – цепь, в которой имеется обрыв, плохой электрический контакт, преднамеренно сделанный (переключателем) или непреднамеренно (плохое соединение или оборванный провод).

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 предо-

хранителя 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».

3.9 Разработка таблиц-матриц неисправностей объектов

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 зависит от элементной базы объекта диагностирования, а также от типа модели объекта диагностирования. Например, для объекта диагностирования, которое содержит электрические элементы (электромашины, 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. [25].

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. Табли-

ца функций неисправностей содержит сведения о поведении исправного объекта диагностирования, а также об объекте диагностирования с каждой из возможных неисправностей (табл. 3.10) [25]. 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 3.10

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. 3.11. Она отличается от таблицы функций неисправностей, во-первых, отсутствием мат-

рицы, 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. 3.11) [25].

Таблица 3.11

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}

Варианты кодировки результатов сравнения для аналогового объекта диагностирования более разнообразны (табл. 3.12). Например, можно использовать 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} .

Таблица 3.12

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

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 других – 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.

Контрольные вопросы

- 1 Объясните понятия дефект и неисправность и области применения этих понятий.
- 2 Приведите классификации дефектов и неисправностей автомобиля.
- 3 Какие виды технического состояния автомобиля существуют ?
- 4 Объясните понятия отказ и неисправность.
- 5 Приведите структурные параметры механизмов автомобиля.
- 6 Приведите показатели надежности автомобиля.
- 7 Приведите графическую модель изменения технического состояния объектов машин в жизненном цикле автомобиля. Представьте на модели зоны безопасности и остаточного ресурса.
- 8 От чего зависят разные скорости изменения технического состояния и исчерпа-

ния ресурса механизмов автомобиля?

9 Приведите 6 групп основных факторов, определяющих появление неисправностей.

10 Какие дефекты и неисправности относятся к конструктивным, технологическим и эксплуатационным факторам?

11 Приведите примеры дефектов восстановления деталей и комплектующих.

12 Приведите примеры дефектов сборки узлов и агрегатов автомобиля.

13 Приведите возможные дефекты испытаний в жизненном цикле автомобиля.

14 Какие основные внешние источники являются причинами неисправностей в процессе эксплуатации?

15 Приведите классификацию дефектов ремонтного производства.

16 Какие существуют критерии предельного состояния механических систем?

17 Какие бывают виды отказов?

18 Какие бывают виды дефектов в электрических и электронных системах автомобиля?

19 Какие бывают виды неисправностей в электрических и электронных системах автомобиля?

20 Какие основные причины сбоев и отказов в электрических и электронных системах электрооборудования автомобиля?

21 Объясните понятие физический дефект электронной системы.

22 Какой кривой можно представить графически интенсивность отказов в жизненном цикле электронных систем?

23 Приведите типовые модели неисправности в электрических и электронных системах.

24 Объясните неисправности типа «задержка». Как она может влиять на исполнительные устройства и режимы работы технических систем?

25 Объясните неисправности типа временных и функциональных.

26 Приведите примеры неисправностей текста программы.

27 Приведите примеры неисправностей микропроцессоров.

28 Как может влиять контактная неисправность и высокое электрическое сопротивление?

29 Объясните неисправности типа разомкнутая и короткозамкнутая электрическая цепь.

4 КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ И ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Существует необходимость значительного снижения объема и стоимости контрольно-диагностических работ не только за счет совершенствования самого диагностирования, но и путем повышения контролепригодности автомобиля.

Под термином контролепригодность понимают приспособленность автомобиля к диагностическим работам, обеспечивающим в заданных условиях необходимую достоверность при минимальных затратах труда, времени и средств.

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

Диагностическое обеспечение – комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

4.1 Системы распознавания образов

Техническую диагностику можно условно представить в виде двух направлений: теории распознавания и теории контролепригодности (рис. 4.1).

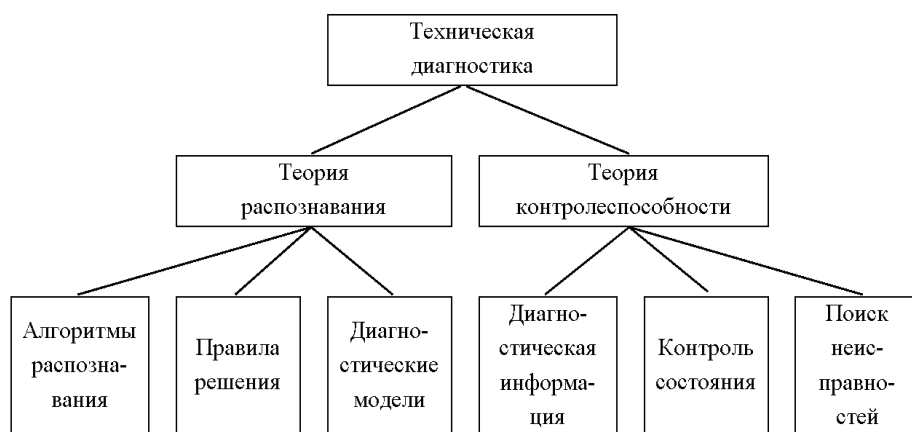


Рис. 4.1. Структура технической диагностики

Теория распознавания образов (идентификация) является фундаментом в технической диагностике и включает построение алгоритмов распознавания, правил решения и диагностические модели. Порядок последовательности действий при распознавании называется алгоритмом распознава-

ния.

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), характеризующих 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. Она должна удовлетворять следующим условиям:

- $f(\bar{X}) \geq 0$ – если объект принадлежит к одному классу;
- $f(\bar{X}) < 0$ – если объект принадлежит к другому классу.

На рис. 4.2 приведена структурная схема системы распознавания образов. Детектор признаков (ДП) воспринимает физическое воздействие от n датчиков ДП, характеризующее объекты, и выдает на выходе совокупность сигналов, несущих признаки (параметры) распознаваемого объекта. В случае необходимости в ДП производится освобождение (фильтрация) от шумов (помех), нормализация по геометрическим или другим размерам и форме, масштабирование (по положению), координатные преобразования и т.п.

Детектор признаков во многих случаях выполняется как часть микроЭВМ. В блоке памяти хранятся программы исходных, промежуточных и конечных данных, а также программы функционирования. Блок памяти может содержать значения оптимизирующих параметров классификатора, пороговые значения, параметры вычислительного устройства, маски сигналов, процессов и другие критерии распознавания (сравнения).

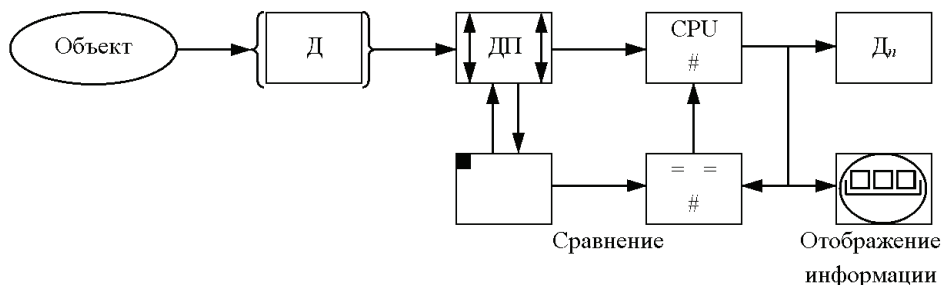


Рис. 4.2. Структурная схема системы распознавания образов

Решение о принадлежности совокупности объектов (образа) к одному из заранее определенных классов принимает классификатор CPU. Это осуществляется в соответствии с принятым критерием распознавания или правилом решения в его устройстве на основе сигналов, выдаваемых детектором признаков.

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 под-

множеств 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 [27, 28]:

- 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 лин-

гвистике 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; запоминания информации, которая изменяется; укрепления 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;

- 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 [30].

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.

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 раздела объектов на классы технического состояния, причины неисправностей и т.п.

В этих системах задается алфавит классов индивидуально выбранной задачи (например распознавания технического состояния или прогнозирование 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 разделимости классов. Задачи распознавания образов решаются в основном с использова-

нием микропроцессорных устройств.

Теория контролепригодности включает диагностическую информацию, контроль состояния и поиск неисправностей.

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.

Важным разделом технической диагностики является теория контролеспособности, под которой понимают свойство изделия обеспечивать достоверную оценку технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Контролеспособность создается конструкцией изделия и принятой системой диагностики.

Уровень контролепригодности объектов определяет степень эффективности решения задачи тестового диагностирования их технического состояния, влияет на производительность процесса их производства и качество выпускаемых изделий, а при эксплуатации уровень контролепригодности объектов определяет их коэффициенты готовности и затраты, связанные с ремонтом. Но 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 диагностироваться. Это все – плата за контролепригодность. Необходимы различные подходы, методы и средства повышения контролепригодности объектов разного уровня, чтобы избрать приемлемый вариант для каждого конкретного случая.

Контролепригодность обеспечивается в результате преобразования структуры проверяемого объекта, к виду, удобному для диагностирования. Для этого в объект еще на этапе его проектирования вводят 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. Из-за отсутствия регулярных и экономных методов повышения контролепригодности объектов на практике широко используются неформальные рекомендации, которые облегчают диагностирование объектов.

Системы диагностирования определяют достоверность диагноза и глубину поиска дефекта с учетом надежности изделия и его составных частей, особенно тех, отказ которых связан с опасностью для человека; контролепригодность и способность восстанавливать; стоимость и трудоемкость

диагностирования.

Результаты рассмотрения вопросов диагностического обеспечения должны быть определены на стадии проектирования и при модернизации объектов:

- этапы и характерные периоды «жизненного» цикла разрабатываемого объекта;
- понятие исправности, работоспособности, правильности функционирования, относительно конкретных функций и условий применения объекта. Типы или перечни неисправностей, которые подлежат обнаружению и поиску при диагностировании;
- виды возможных неисправностей и способы их устранения;
- распределение задач проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования, а также задач поиска дефектов, которые нарушают исправность, работоспособность, правильность функционирования во всех периодах жизненного цикла объекта;
- диагностические параметры и их параллельные значения;
- контрольные точки контролируемых параметров;
- целесообразные виды диагностирования (тестовое, функциональное) и соотношения между ними, а также 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 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 для организации и проведения диагностирования.

Выбор или разработка средств тестового диагностирования должны осуществляться с учетом многих факторов: наличия серийного выпуска необходимых средств, наличия соответствующих средств на заводе-производителе объекта, массовости выпуска объекта и его сложности, необходимой производительности средств и т. п.

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

«Традиционные» подходы относительно организации диагностического обеспечения не могут быть успешно применены для объектов высокой сложности, в частности для объектов вычислительной техники, построенных на элементах высокого уровня интеграции. Для таких объектов наиболее важными становятся проблемы повышения их контролепригодности.

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.

4.2 Контрольные точки

Обеспечение возможности эффективного автоматизированного контроля зависит не только от средств контроля, но и от того, насколько четко и продуманно разработана конструкция объекта контроля. Необходимы выводы от контрольных точек оборудования, 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 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 деталями.

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, выявив точки, которые можно исключить, 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 та-

ким, 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 электросоединений, 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.

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.

4.3 Оценка контролепригодности объектов диагностирования

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

Требования контролепригодности устанавливают в нормативных документах, например, в государственных и отраслевых стандартах, в технических 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 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 [64].

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 контролепригодности 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/($10^3 \cdot \text{км}$).

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:

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

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. 4.3).

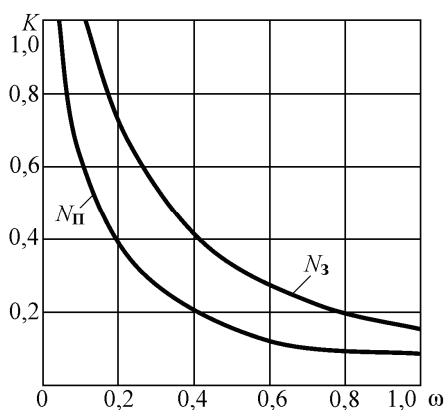


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента контролепригодности K от относительной периодичности контроля ω .

Нормативные кривые K : N_{Π} – нижний предел; $N_{З}$ – заданный предел

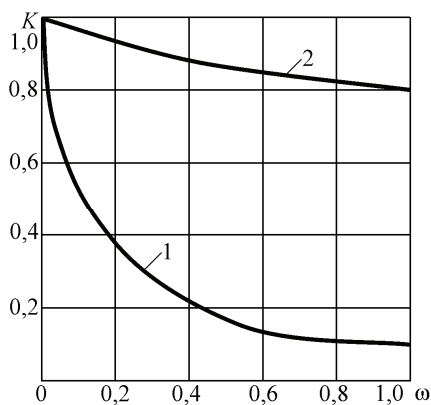


Рис. 4.4. – Зависимость коэффициента K от относительной периодичности диагностирования ω :

1 – расчетная, 2 – при автоматизации процесса диагностирования

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

но. Качественно – по связи с факторами, характеризующими трудоемкость диагностирования, количественно – по их влиянию (весомости) на основные показатели контролепригодности.

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 [64] дополнительные показатели контролепригодности автомобиля по четырехбалльной 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. 4.4 приведена зависимость коэффициента контролепригодности от относительной периодичности контроля, которая определяется как

$$\omega = L/L_d;$$

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

Указанная зависимость построена расчетным путем для грузовых отечественных автомобилей (см. рис. 4.4). 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.

Современную систему автоматизированного управления техническим состоянием сложного транспортного средства можно представить схемой на рис. 4.5. 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 необходима контролепригодность (диагностическое обеспечение), позволяющая измерять диагностические параметры, управлять рабочими процессами и техническим состоянием транспортного средства (см. рис. 4.5).

Диагностическое обеспечение можно получить в результате анализа одной или нескольких диагностических моделей ОД. Диагностическая модель является формальным представлением объекта, учитывающим возможные изменения его состояний.

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.

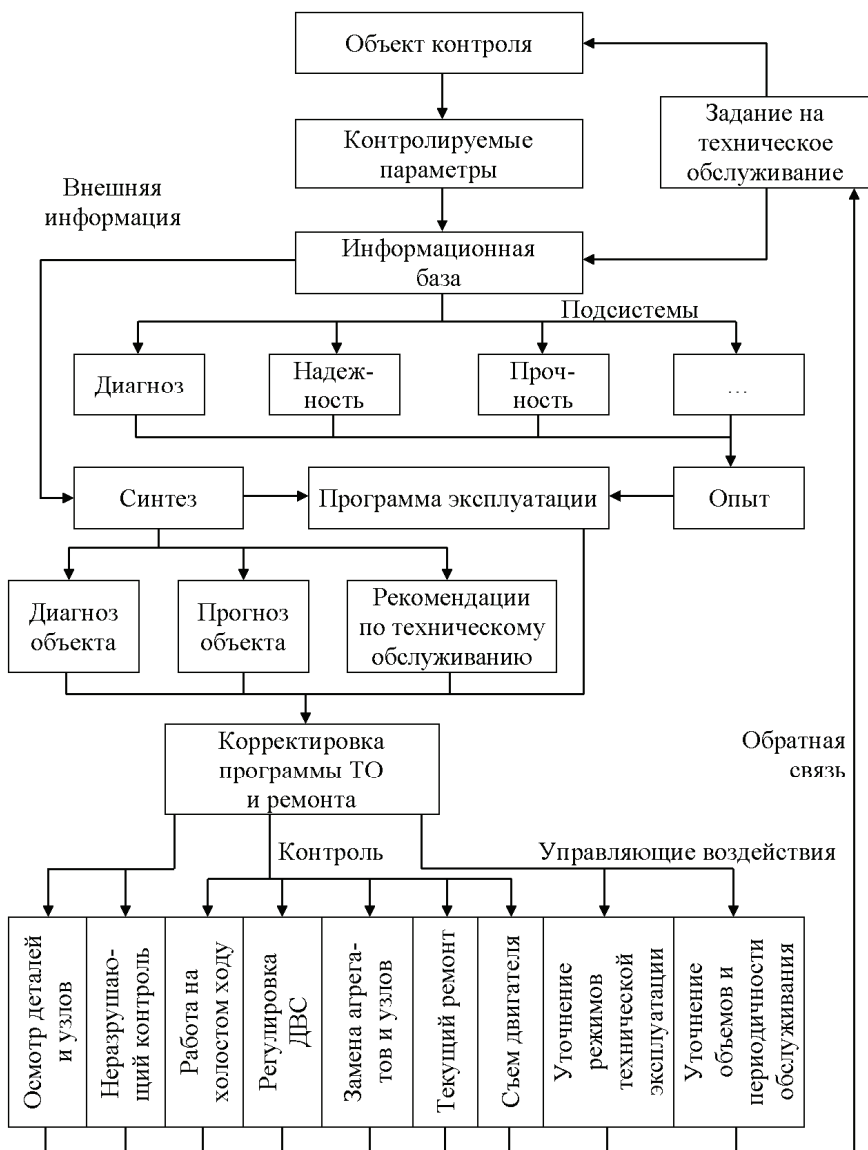


Рис. 4.5. Структурная схема автоматизированного управления техническим состоянием транспортного средства в эксплуатации

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 оп-

ределяющие 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 ТСД. После того, как выбрана диагностическая модель, используют принципы теории идентификации – наблюдаемость, управляемость и различимость.

Система называется полностью наблюдаемой на интервале $t_0 \dots t_1$, 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 $t_0 \dots t_1$, 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 подмножества 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 ($i = 1, n$) параметром объекта или за совокупностью их, а через C_i – стоимость такого наблюдения, то отношение $\Delta W_i / C_i$ можно использовать в качестве оценки значимости и реализуемости наблюдения за первым параметром или за группой параметров.

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

Контрольные вопросы

- 1 Объясните разницу в понятиях контролепригодность и диагностическое обеспечение.
- 2 Объясните понятие теория распознавания образов.
- 3 Приведите семь основных систем распознавания образов.
- 4 Объясните понятие нормализация образа.
- 5 На каких стадиях жизненного цикла объектов диагностирования создается диагностическое обеспечение?
- 6 Какие задачи решаются при создании диагностического обеспечения?
- 7 Как определяются точки контроля диагностических параметров и насколько они важны для обеспечения достоверности диагностирования?

5 ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

5.1 Виды диагностических параметров

При диагностировании о значениях конструктивных показателей судят по прямым и косвенным признакам проявления технического состояния без разборки, качественной мерой которых являются диагностические параметры. Поэтому основной задачей технической диагностики является выбор диагностических параметров, обеспечивающих максимальную информацию о техническом состоянии объекта диагностирования.

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.

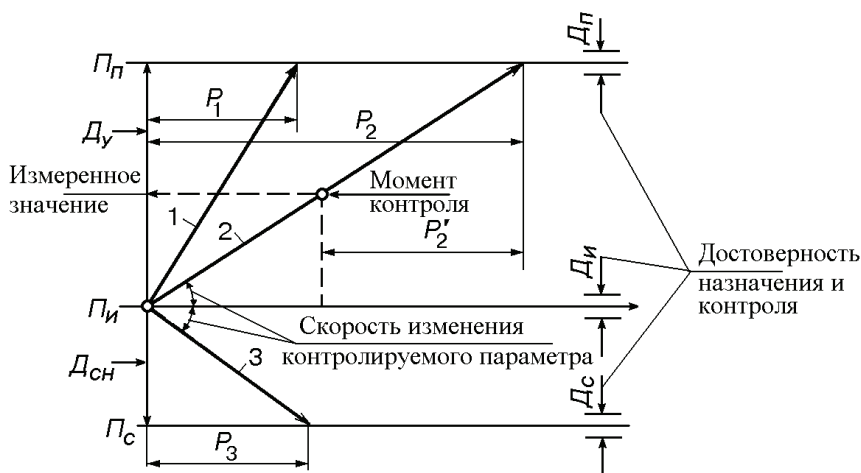


Рис. 5.1. Схематическое представление параметров технического состояния: 1, 2, 3 – линейные тренды диагностического параметра; P_1, P_2, P_3 – ресурсы отдельных элементов; Π_{Π} – предельное увеличение диагностического параметра; Π_{Σ} – предельное снижение диагностического параметра; D_{Σ} – допустимое увеличение; $D_{\Sigma\text{H}}$ – допустимое снижение; $\Pi_{\text{И}}$ – исходное значение диагностического параметра; P'_2 – остаточный ресурс

Назначение диагностического параметра агрегата или автомобиля может определяться следующими задачами контроля технического состояния (рис. 5.1).

1 Значение параметра, при достижении которого следует проводить профилактические работы по восстановлению состояния объекта.

Эти значения диагностических параметров могут находиться в широких пределах на участке от $\Pi_{\text{И}}$ до Π_{Π} . Оптимальные значения параметра определяются стратегией технического обслуживания. Допускаемые значения

параметра P_d технического состояния элемента (узла или агрегата) ближе к номинальному значению P_n снижает риск отказа. Значения параметра P_d используется для определения целесообразности ремонта.

2 Значение параметра, при достижении которого деталь или сопряжение (при текущем или капитальном ремонте) не может быть повторно использованы для восстановления ремонтируемого элемента, узла, агрегата.

Эти значения допустимых параметров, как правило, не должны превышать отклонения от P_n больше, чем на 25 %.

3 Значения предельного P_n , при достижении которого эксплуатация объекта по технологическим причинам запрещается или не рекомендуется по экономическому и (или) экологическому критериям и технике безопасности.

Этот вид значений параметра принимается как предельные значения диагностического параметра.

Задача выбора диагностического параметра состоит в определении из множества принципиально возможных физических параметров некоторого ограниченного их числа, содержащих достаточно полную информацию о состоянии конкретного элемента или узла объекта и позволяющего определить неисправность в объекте. На множество диагностических параметров накладываются дополнительные ограничения: эти параметры должны быть наиболее информативными и удобно измеряемыми или наблюдаемыми (рис. 5.2 [31]). Множество диагностических параметров, определенное на множестве вероятных состояний и дефектов, описывающих эти состояния, должны быть оптимизированы по какому-либо критерию информативности, обеспечивать оптимальную различимость неисправностей, обладать хорошей алгоритмичностью.

Множество диагностических параметров считается эффективным, если оно удовлетворяет следующим требованиям:

- полного описания всех классов неисправностей;
- наибольшей чувствительностью к изменению значений структурных параметров;
- минимальности состава;
- доступности для контроля и измерения;
- минимума стоимости и времени контроля всех параметров;
- достаточной степени делимости при распознавании отдельных неисправностей.

Основные диагностические параметры автомобиля с бензиновым двигателем представлены в табл. 5.1.

Назначение «эксплуатационных» диагностических параметров должно (вместе с методами и средствами) обеспечивать:

- контроль технического состояния объекта с целью установления соответствия объекта требованиям технической документации и определения работоспособности (годен или нет на текущий момент);
- поиск мест дефектов и повреждений, определение причин неисправности и отказов с рекомендацией методов и средств восстановления работоспособности объекта;

- прогнозирование технического состояния объекта на предстоящий период эксплуатации с заданной вероятностью безотказной работы или определение с заданной вероятностью интервала времени, в течение которого сохраняется работоспособное состояние объекта.

Измеряемые диагностические параметры (тип и название)		
→	Кинематические и механические	Время, скорость, ускорение, частота и фаза периодических процессов, объемный расход, путь, угол, уровень, наклон, частота оборотов, расход жидкости или газа, колебания, вибрация и др.
→	Геометрические	Длина, зазор, площадь, кривизна линий и поверхностей и др.
→	Статические и динамические	Масса, сила, количество движения, работа, энергия, коэффициент упругости, моменты силы и инерции, массовый расход и др.
→	Механические и молекулярные	Путь, угол, уровень, наклон, скорость, частота вращения, ускорение, вибрация, расход жидкости или газа, сила, давление, частота, плотность, удельный вес, молярная масса, коэффициент продольного растяжения, кинематическая вязкость
→	Тепловые	Температура, тепловой поток, теплоемкость, теплота сгорания, теплопроводность, коэффициент теплоотдачи и др.
→	Акустические	Звуковое давление, объемная скорость, звуковая энергия, интенсивность звука, удельное акустическое сопротивление, коэффициент отражения, коэффициент поглощения и др.
→	Электрические и магнитные	Электрический заряд, напряжение электрического поля, потенциал, емкость, диэлектрическая проницаемость, сила электрического тока, электрическое сопротивление, индуктивность, магнитный поток, магнитная проницаемость и т.п.
→	Параметры излучений	Лучистый поток, сила света, освещенность, яркость, коэффициент преломления, спектральная плотность и т.п.
→	Параметры атомной физики	Радиоактивность, доза поглощенного излучения, момент диполя и т.д.
→	Химические	РН-значения, влажность, содержание пара, молекулы газа, молекулы жидкости, молекулы твердого тела, цвет и т.д.

Рис. 5.2. Измеряемые физические характеристики объектов диагностирования

После выбора диагностических параметров необходимо решить два важных вопроса: назначить периодичность диагностирования и выбрать допустимое значение диагностического параметра, при достижении которого следует проводить профилактические работы по восстановлению состояния объекта. Периодическое диагностирование целесообразно совмещать с плановыми ТО автомобиля. При встроенной автоматической диагностике периодичность диагностирования может быть связана с пробегом автомобиля, например, проводится после какого-то числа запусков двигателя, в реальном времени по результатам накопленных реализаций в заданном режиме диагностирования и т.п.

Таблица 5.1

Основные диагностические параметры автомобилей с бензиновым двигателем

Наименование	Единица измерения
1	2
Автомобиль в целом	
Время разгона в задаваемом интервале скорости	с
Время (или путь) выбега в задаваемом интервале скоростей	с (или м)
Контрольный расхода топлива	л/100 км
Мощность (или тяговая сила) на ведущих колесах	кВт
Общий уровень шума в кабине	дБ
Двигатель и система электрооборудования	
Эффективность, мощность на коленчатом валу	кВт
Мощность, затрачиваемая на прокручивание двигателя	кВт
Удельный расход топлива	кг/с (или л/с)
Ускорение вращения коленчатого вала в режиме свободного разгона (выбега)	c^{-2}
Давление в конце такта сжатия в цилиндрах двигателя	кПа
Разность давления в конце такта сжатия между отдельными цилиндрами	кПа
Расход или падение давления сжатого воздуха, подаваемого в цилиндры	m^3/c (или кПа)
Давление масла в главной масляной магистрали	кПа
Расход масла на угар	кг/ч
Уровень масла в картере двигателя	мм
Содержание продуктов изнашивания в масле (качественный и количественный состав)	по ГОСТ 20759-75
Содержание СО в отработавших газах	%
Содержание СН в отработавших газах	% (РРТ)
Минимально устойчивая частота вращения	$мин^{-1}$
Изменение частоты вращения коленчатого вала при последовательном отключении каждого из цилиндров	(или %)
Разрежение во впускном трубопроводе	кПа
Давление, создаваемое топливным насосом	кПа
Количество газов, прорывающихся в картер двигателя	л/мин
Уровень вибрации	m/c^2 (м/с, дБ)
Свободный ход поршня относительно оси коленчатого вала	мм
Скорость изменения температуры охлаждающей жидкости	$^{\circ}C/c$
Установившаяся температура охлаждающей жидкости	$^{\circ}C$
Скорость падения давления сжатого воздуха в системе охлаждения (при контроле герметичности)	кПа/с
Утечка охлаждающей жидкости	кг/ч
Перепад температур на входе и выходе теплообменника	$^{\circ}C$
Давление (разрежение) срабатывания воздушного или парового клапана теплообменника	кПа
Начальный угол опережения зажигания	град
Угол опережения зажигания, создаваемый центробежным или вакуумным регулятором	град
Зазор между контактами прерывателя	мм
Угол замкнутого состояния контактов	град

1	2
Падение напряжения на контактах прерывателя	В
Напряжение аккумуляторной батареи	В
Напряжение, ограничиваемое реле-регулятором	В
Напряжение в сети электрооборудования	В
Напряжение в первичной цепи	В
Напряжение во вторичной цепи	кВ
Пробивное напряжение на свечах зажигания	кВ
Максимальное вторичное напряжение катушки зажигания	кВ
Сопротивление в цепи электрооборудования	Ом
Сила тока в цепи электрооборудования	А
Электрическая емкость конденсатора	мкФ
Мощность генератора (стартера)	Вт
Частота вращения коленчатого вала при запуске двигателя	мин ⁻¹
Сила тока, потребляемого стартером	А
Прогиб ремня вентилятора при задаваемом усилии	мм
Сцепление:	
Свободный и рабочий ход педали сцепления	мм
Уровень жидкости в расширительном бачке	мм
Трансмиссия:	
Мощность, затрачиваемая на прокручивание трансмиссии и ведущих колес автомобиля	кВт
Угловой зазор в карданной передаче	град
Биение карданного вала	мм
Уровень вибрации	м/с ² (м/с, дБ)
Суммарный люфт главной передачи	град
Суммарный люфт коробки передач на различных передачах	град
Усилие включения скорости	Н
Угловое ускорение в динамическом (знакопеременном) режиме	с ⁻²
Установившаяся температура в агрегатах трансмиссии	°С
Уровень масла в агрегатах трансмиссии	мм
Содержание продуктов изнашивания в масле агрегатов трансмиссии	по ГОСТ 20759-75
Ходовая часть и рулевое управление:	
Суммарный люфт в рулевом управлении	град
Усилие прокручивания рулевого колеса при выборе люфта в рулевом управлении	Н
Усилие прокручивания рулевого колеса при рабочем повороте управляемых колес	Н
Люфт в шарнирах рулевых тяг	мм
Продольный и поперечный люфт в шкворневом соединении (в шаровых опорах)	мм
Боковая сила на передних колесах	Н
Увод управления колес на 1 км пробега	м
Уровень масла в редукторе рулевого механизма	мм
Содержание продуктов изнашивания в редукторе рулевого механизма	по ГОСТ 20759-75
Схождение (угол схождения) колес	мм (град)
Угол развала колес	град
Угол продольного наклона оси поворота колес	град
Соотношение углов поворота управляемых колес	град

1	2
Параллельность осей передних и задних колес	град
Параллельное смещение осей	мм
Амплитуда колебания виброизоляторов колес	мм
Осевой и радиальный люфты в подшипниках	мм
Биение (дисбаланс) колес	мм (10^{-3} кг)
Давление воздуха в шинах	кПа
Глубина протектора на шинах	мм
Тормозной путь	м
Замедление (установившееся замедление)	м/с ²
Тормозная сила на колесах	Н
Суммарная тормозная сила на колесах	Н
Общая удельная тормозная сила	—
Коэффициент неравномерности тормозных сил	—
Коэффициент распределения осевой тормозной силы	с
Время срабатывания тормозного привода	с
Время растормаживания тормозов	с
Рабочий (свободный) ход педали тормоза	мм
Тормозная сила, развиваемая стояночным тормозом	Н
Коэффициент неравномерности срабатывания колес одной оси	—
Производительность источника энергии	м ³ /с
Давление в системе тормозного привода	кПа
Давление включения (и выключения) регулятора давления	кПа
Скорость изменения давления в контуре тормозного привода	кПа/с
Ход подвижного элемента аппарата тормозного привода	мм
Зазор во фрикционной паре тормозного механизма	мм
Уровень тормозной жидкости в резервуаре	мм
Сила сопротивления вращению незаторможенного колеса	Н
Путь свободного выбега колеса	м
Овальность тормозного барабана	мм
Биение тормозного диска	мм
Толщина диска (стенки тормозного барабана)	мм
Внутренний диаметр тормозного барабана	мм
Толщина тормозной накладки	мм
Давление в приводе, при котором тормозные накладки касаются барабана (диска)	кПа
Усилие на тормозной педали	Н
Светоосветительная аппаратура. Направление максимальной силы света фар	град
Суммарная сила света, измеренная в направлении оси отсчета	кд
Сила света светосигнальных огней (фар, габаритных фонарей)	кд

Диагностические нормативы можно поделить на две группы:

- параметры, которые определяются стандартами;
- параметры, устанавливаемые нормативно-технической документацией заводов-изготовителей.

К первой группе относятся, в основном, диагностические параметры, которые характеризуют техническое состояние механизмов, узлов и систем. Они обеспечивают движение, но оказывают вредное воздействие на окружающую среду, технику безопасности. Это – тормозной путь, длительность

срабатывания тормозного привода, величина тормозной силы на колесах, содержание вредных веществ в отработавших газах, уровни вибрации, шума, магнитных полей и т.д. Корректировка нормативных показателей в эксплуатации возможна только в сторону ужесточения требований к ним.

Ко второй группе относятся диагностические нормативы, которые связаны с техническими допусками структурных параметров или оптимальными показателями надежности и экономической работы автомобиля.

Нормативы структурных параметров устанавливают на стадии проектирования и корректируют в период доводки автомобиля. Это касается, например, зазоров в клапанах, в контактах прерывателя, кривошипно-шатунном механизме, шворневом соединении, углов установления колес автомобиля и т.п. Диагностические нормативы параметров определяют на основе их причинно-следственных связей с диагностическими параметрами по результатам лабораторно-стендовых исследований. Чтобы проконтролировать техническое состояние, используют также структурные параметры.

Номинальные и предельные значения структурных параметров составных частей агрегатов машин в соответствии с ГОСТ 21571–76 должны устанавливаться изготовителями машин и отраслевой НТД на основе технико-экономического или вероятностного критерия.

Среди нормативных показателей первой и второй групп выделяют промежуточные. Параметры этой группы связаны с повышением расхода топлива, снижением мощности двигателя, долговечности деталей и узлов, и т.п. Особенность нормативов промежуточной группы – большая зависимость от условий эксплуатации и возраста автомобилей. Поэтому размер норматива нужен корректировать в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Нормативные показатели определяют или корректировать на основании статистического метода, суть которого заключается в следующем. Разовая выборка значений диагностического параметра, измеренного в представительской совокупности объектов, будет отвечать исправному и неисправному состояниям. При этом предусматривается, что значения, которые отвечают неисправному состоянию, будут подлежать другой закономерности распределения, чем те, которые отвечают исправному состоянию. Закономерность рассеивания параметров исправных объектов может быть аппроксимирована вероятностным теоретическим законом. На основании теоретического распределения значений параметра для исправного объекта участок допустимого в эксплуатации рассеивания диагностического параметра можно ограничить нужным уровнем вероятности исправной работы. Определенные таким способом границы и будут нормативными диагностическими параметрами.

Параметрами состояния могут быть режимы работы, внешние условия, качество изготовления, сборки, монтажа. Необходимо выбрать высокоинформативные точки измерений контролируемого параметра (сигнал) иначе цель диагностирования будет неосуществима или недостаточна для оценки реального технического состояния.

5.2 Взаимосвязь структурных и диагностических параметров

Качественное техническое состояние машины можно определить совокупностью диагностических параметров. Различают следующие параметры: выходных рабочих процессов, сопутствующих процессов и структурные (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Взаимосвязь структурных и диагностических параметров топливной аппаратуры дизеля

Название диагностического параметра	Что характеризует
Остаточное давление перед началом подачи топлива	Состояние нагнетательного клапана и форсунки
Момент начала нагнетания топлива	Состояние кулачков вала топливной помпы, плунжера и распределительных шестерен
Давление начала впрыскивания	Упругость пружины форсунки и износ торцевых поверхностей, на которые опирается пружина
Момент начала впрыскивания	Состояние привода топливной помпы, топливопроводов высокого давления
Интервал времени нарастания давления	Износ пары плунжера насоса
Максимальное давление	Регуляция пружины форсунки
Длительность впрыскивания	Ход иглы, пропускная способность распылителя
Интервал времени спада давления	Состояние пары плунжера и пропускная способность распылителя форсунки

Большинство измеряемых диагностических параметров косвенно характеризуют структурные параметры элементов машины (табл. 5.3, 5.4).

Таблица 5.3

Характеристика диагностических признаков и параметров

Структурные параметры	Диагностические параметры
Зазоры в сопряжениях цилиндро-поршневой группы	Количество газов, прорывающихся в картер; угар картерного масла
Зазоры в подшипниках коленчатого вала	Давление в масляной магистрали
Плотность электролита	Степень разряженности аккумуляторной батареи

Параметры выходных рабочих процессов определяют основные функциональные свойства автомобиля, например, мощность, расход топлива, тормозные свойства и т. д. По значениям этих параметров можно судить о состоянии машины в целом.

Параметры сопутствующих процессов сопровождают работу двигателя, агрегата, 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 цилиндро-поршневой группы. Эти параметры дают более конкретную информацию о состоянии тех или иных узлов и механизмов машины.

Таблица 5.4

Примеры структурных параметров и соответствующих им диагностических признаков

Структурный параметр	Диагностический признак
Ранний угол опережения подачи топлива в цилиндры	Жесткая работа дизеля; 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

Диагностический параметр – это качественная мера проявления технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов, по непрямым признакам, определение количественного значения которого возможно без их разборки. Между структурными (S) и диагностическими (Π) параметрами в зависимости от сложности объекта могут существовать разные взаимосвязи.

К диагностическим параметрам как функциям конструктивных параметров и носителям информации о техническом состоянии объекта предъявляются определенные требования: однозначности, чувствительности, стабильности, информативности, а также скорости и стоимости диагностирования [13] (рис. 5.3).

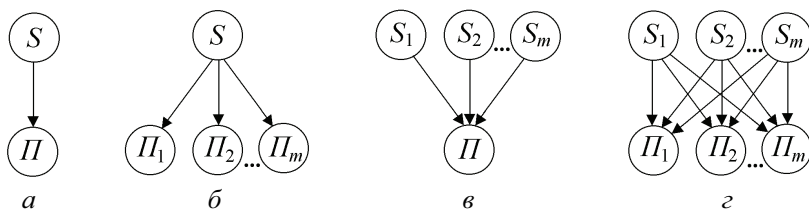


Рис. 5.3. Взаимосвязь диагностических параметров со структурными

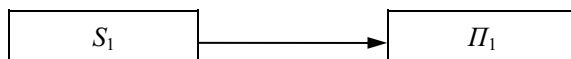
На рис. 5.3 показано:

- единичную связь (рис. 5.3, а), когда с изменением конкретного структурного параметра (S) изменяется один диагностический (Π_i);
- множественную связь (рис. 5.3, б), когда изменение одного струк-

- турного параметра ведет к изменению n диагностических;
- неопределенные связи (рис. 5.3, в), когда один диагностический параметр изменяется при изменении m структурных;
- комбинированные связи (рис. 5.3, з), когда возможны комбинации вышеназванных связей.

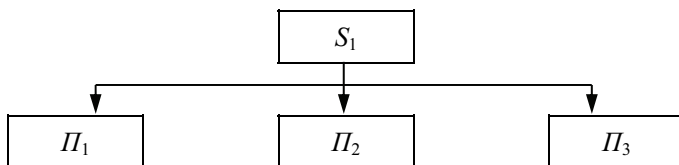
Например изменение осевого или радиального зазора в подшипниках главной передачи может изменять ряд вибрационных диагностических параметров в зубозацеплении.

1 Единичная связь, при которой изменение одного структурного параметра S влечет за собой изменение только одного диагностического параметра Π и ее графическая интерпретация выглядит следующим образом:



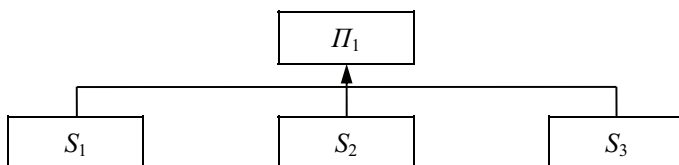
Например, изменение зазора между тормозными колодками и барабаном S_1 , приводит к увеличению тормозного пути Π_1 . По уменьшению зазора между выжимным подшипником и выжимной шайбой сцепления можно точно определить величину износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления (по изменению свободного хода выжимного подшипника). Такие связи позволяют практически безошибочно оценить техническое состояние объекта.

2 Множественная связь, при которой изменение одного S влечет за собой изменение сразу нескольких диагностических параметров Π , то есть



Например, изменение зазора в подшипниках коленчатого вала в сторону увеличения S_1 приводит к снижению давления масла Π_1 , стукам Π_2 и повышенной концентрации продуктов износа в картерном масле Π_3 . При этом каждая из этих связей может составить самостоятельный метод диагностирования или дополнять друг друга, повышая тем самым достоверность диагноза объекта.

3 Неопределенная связь (интегральная), при которой изменение одного Π является следствием изменения нескольких конструктивных параметров S :



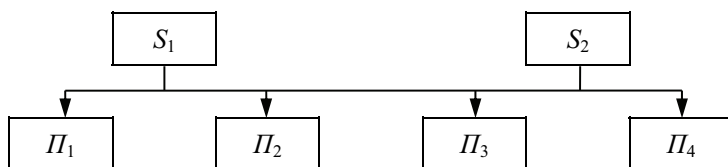
Например, падение мощности двигателя P_1 связано с износом деталей цилиндро-поршневой группы S_1 , ГРМ S_2 и изменением зазора в свечах зажигания S_3 . Такие связи являются интегральными и дают возможность резко сократить продолжительность диагностирования объектов.

При неопределенной связи изменение нескольких конструктивных параметров приводит к изменению одного диагностического. Например, нарушение момента впрыска топлива, увеличение зазоров в деталях цилиндро-поршневой группы, изменение давления впрыска и другие отклонения в двигателе приводят к увеличению дымности выпускных газов. Такой диагностический параметр, имеющий неопределенные связи с конструктивными параметрами, является очень ценным, так как позволяет своевременно обнаружить отклонения любого из них от нормы. С данным диагностическим параметром связано может быть несколько неисправностей.

4 Комбинированные связи (смешанные) характеризуются наличием любого сочетания вышеуказанных связей, при котором изменение нескольких S влечет за собой изменение нескольких P .

При определении конкретной причины отказа объекта используют параметры первого и второго вида, а для общей оценки состояния объекта с минимальными затратами времени – параметры третьего вида. Параметры четвертого вида из-за их неоднозначности для диагностирования используются редко.

Например, износ поршневых колец S_1 и зеркала цилиндра S_2 приводит к падению мощности P_1 , увеличению прорыва отработавших газов в картер P_2 , падению компрессии P_3 и повышенному угару масла двигателя P_4 . Комбинированные связи позволяют оценить комплексное влияние структурных и диагностических параметров друг на друга и построить логические алгоритмы контроля объектов.



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

5.3 Зависимости изменения диагностического параметра от наработки

К диагностическим параметрам как функциям конструктивных параметров и носителям информации о техническом состоянии объекта предъявляются следующие требования [13].

1 Диагностические параметры должны обладать однозначностью (рис. 5.4), то есть только одно значение структурного параметра S должно

соответствовать только одному значению диагностического параметра Π или наоборот.

Однозначность диагностического параметра означает отсутствие экстремума, то есть отсутствие его перехода от возрастания к убыванию или наоборот, в диапазоне от начального до предельного значения конструктивного параметра.

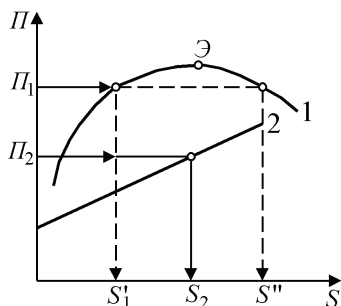


Рис. 5.4. Оценка однозначности параметра:
1 — неоднозначная зависимость,
2 — однозначная зависимость

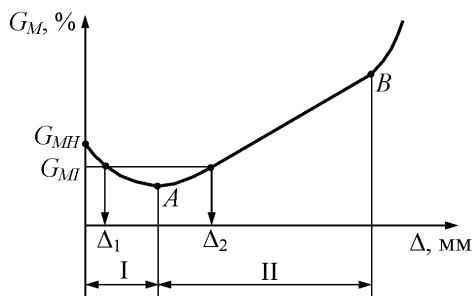


Рис. 5.5. Зависимость расхода масла на угар двигателей ЯМЗ от торцевого зазора «первое компрессионное кольцо-канавка поршня»:
I — зона приработки, II — зона установившегося износа

Например, износ деталей цилиндро-поршневой группы S фиксировался двумя диагностическими параметрами Π_1 и Π_2 . Первый из них, Π_1 , изменялся в виде функции, которая имеет экстремум, то есть точку перегиба от возрастания к убыванию, и при этом одному текущему значению Π_i соответствуют две величины износа цилиндро-поршневой группы — S'_1 и S''_1 , что противоречит логике вещей. Параметр Π_2 изменяется плавно и прямолинейно, не имеет экстремума и его текущее значение O соответствует только одной величине S_2 , что вполне естественно. Таким образом, диагностический параметр Π_1 не является однозначным и для целей диагностирования объекта может быть применен только параметр Π_2 .

Если изменение диагностического параметра имеет сложную зависимость, то для диагностирования необходимо использовать участок однозначного изменения.

Например, по мере приработки деталей цилиндро-поршневой группы двигателя однозначность расхода масла (G_M) не соблюдается. Однако эти закономерности исследованы и определены границы однозначного изменения диагностического параметра (A...B), что наглядно приведено на рис. 5.5.

2 Диагностический параметр должен быть стабильным. Его стабильность определяется отклонением его значения от среднего значения при неизменных условиях измерения, то есть этот показатель обуславливает случайную погрешность измерения параметра.

Стабильность диагностического параметра означает, что его измеренное значение Π_i отвечает конструктивному в пределах заданной точности,

то есть фактическое значение конструктивного параметра Z_i , лежит внутри интервала шириной ΔY_i .

Заданная точность определения конструктивного параметра может быть достигнута многократным измерением диагностического параметра. Стабильность диагностического параметра определяется дисперсией (вариацией, разбросом) его величины при многократных замерах в неизменных условиях и при одном и том же значении структурного параметра. Эта дисперсия оценивается средне-квадратичным отклонением величины диагностического параметра σ_D по следующей зависимости:

$$\sigma_D = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}{n-1}, \quad (5.1)$$

где P_i и \bar{P} – соответственно текущее и среднее значения диагностических параметров при многократных замерах n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$).

Чем меньше величина σ_D , тем стабильнее диагностический параметр. Разброс значений параметра может быть выражен средним квадратическим отклонением, которое следует рассчитывать для заведомо исправного и неисправного состояния диагностируемого объекта. Для оценки стабильности и информативности диагностического параметра можно использовать коэффициент K_i :

$$K_i = \frac{|\bar{P}_1 + \bar{P}_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}, \quad (5.2)$$

где \bar{P}_1 и \bar{P}_2 – средние значения диагностических параметров для заведомо исправного и неисправного состояния объекта; σ_1 и σ_2 – средние квадратические отклонения параметров заведомо исправных и неисправных диагностируемых объектов.

3 Диагностические параметры должны быть чувствительными, то есть скорость изменения диагностического параметра в сторону увеличения или уменьшения при постоянной величине структурного параметра должна быть максимальной (рис. 5.6).

Например, контроль состояния деталей цилиндро-поршневой группы двигателя выполняется по двум диагностическим параметрам: P_1 – по пропуску отработавших газов в картер и P_2 – по угару моторного масла. При интервале износа деталей цилиндро-поршневой группы от S_1 до S_2 , равному ΔS , параметр P_1 изменяется на величину ΔP_1 , а параметр P_2 – на ΔP_2 . Тогда отношение

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta S} \gg \frac{\Delta P_1}{\Delta S},$$

означает, что скорость изменения P_2 значительно выше, чем у P_1 при $\Delta S = \text{const}$. Следовательно, параметр P_2 более чувствителен, чем P_1 , и диагностирование состояния деталей цилиндропоршневой группы следует про-

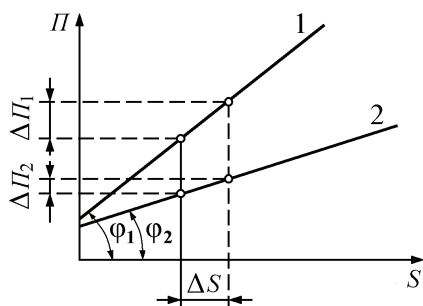


Рис. 5.6. Чувствительность диагностического параметра:

1 – более чувствительный, 2 – менее чувствительный ($\Delta P_1 > \Delta P_2$);
 P – диагностический параметр;
 P_1 – прорыв газов в картер двигателя;
 P_2 – угар масла; S – износ цилиндропоршневой группы

4 Диагностический параметр должен быть информативным. Информативность является комплексным свойством, объединяющим все предыдущие, и характеризует снятие неопределенности при освидетельствовании технического состояния объекта диагностирования и сведение к минимуму возможности, используя принятый диагностический параметр, принять фактически неисправный по техническому параметру объект диагностирования за исправный (ошибки первого рода), и наоборот (ошибки второго рода). Информативность характеризуется достоверностью диагноза, получаемого в результате измерения значений параметра.

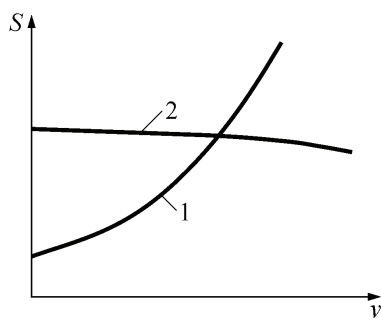


Рис. 5.7. Характеристики высокочувствительного (1) и малочувствительного (2) диагностических параметров

водить по угару моторного масла.

Из рис. 5.6 очевидно, что из нескольких диагностических параметров по этому признаку выбираются те, у которых при прочих равных условиях коэффициент чувствительности выше.

Очевидно, что существенное отличие признаков исправного и неисправного состояния диагностируемого объекта может дать чувствительный диагностический параметр. Если при этом разброс показаний относительно невелик, то данный диагностический параметр можно считать информативным и стабильным. Таким образом, при разработке системы диагностирования по величине $J(y_i)$ можно выбрать признаки, которые наилучшим образом подходят в качестве диагностических параметров.

Чувствительность диагностического параметра определяется скоростью его прироста при изменении величины структурного параметра и математически описывается зависимостью dP/dS (рис. 5.7). Требование чувствительности является важным для оценки качества диагностического параметра и служит удобным критерием при выборе наиболее эффективного метода диагностирования в конкретных условиях. Например, на рис. 5.7 подано графическое изображение диагностического параметра высокой чувствительности 1 и недостаточной чувствительности 2.

При общем диагностировании, когда выявляется неисправность агрегата автомобиля в целом, информативность

определяют из совместного анализа плотностей распределения значений параметра и соответствующих исправному и неисправному состояниям объекта. Например, диагностируется состояние деталей цилиндро-поршневой группы заведомо нового – I и изношенного двигателя – II по различным параметрам: спектральному анализу картерного масла Π_1 , по угару масла Π_2 , по прорыву газов в картер двигателя Π_3 . Плотность значений этих параметров подчиняется нормальному закону распределения (рис. 5.8).

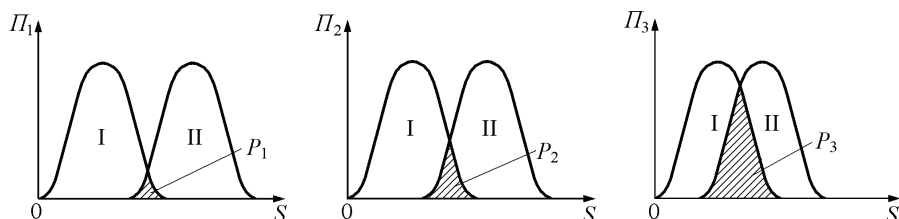


Рис. 5.8. Графическая интерпретация информативности диагностических параметров: Π_1 – параметр более информативный; Π_2 – менее информативный; Π_3 – плохо информативный

Очевидно, что чем меньше степень перекрытия распределений, тем меньше ошибок будет при использовании для постановки диагноза, то есть тем более информативен диагностический показатель. Вполне очевидно, что по распределению параметров на рис. 5.8 можно сказать, что параметр Π_1 достаточно информативен, Π_3 – неинформативен и Π_2 занимает промежуточное положение.

Для количественного определения информативности необходимо подсчитать величину «площади перекрытия», то есть вероятность ошибки диагноза. Эта величина будет тем меньше, чем сильнее отличается математическое ожидание параметров $\bar{\Pi}_1$ и $\bar{\Pi}_2$ для исправного и неисправного состояния объекта и чем меньше разброс значений параметра в распределении, который характеризуется величиной среднего квадратического отклонения. Поэтому для оценки информативности используют коэффициент K_i (5.2).

Зависимость диагностического параметра Π от пробега автомобиля l коэффициент информативности можно определить как

$$K_i = \frac{\Pi_{np} - \Pi_n}{\Pi_{np}}, \quad (5.3)$$

где Π_{np} – предельное значение диагностического параметра автомобиля (значение при достижении пробега, равного его ресурсу l_p); Π_n – начальное значение диагностического параметра (перед началом эксплуатации автомобиля).

По указанным выше требованиям производится отбор тех или иных диагностических параметров, которые в дальнейшем определяют методы и

процессы диагностирования, а также состав необходимого диагностического оборудования для оценки технического состояния машин.

Чем меньше площадь перекрытия значений диагностических параметров P при оценке технического состояния двигателей I и II, тем информативнее диагностический параметр, и наоборот.

Из рис. 5.8 следует, что наиболее информативным параметром при диагностировании цилинд्रो-поршневой группы является спектральный анализ картерного масла P_1 , затем – угар масла P_2 и плохо информативный – прорыв отработавших газов в картер двигателя P_3 , так как $P_1 < P_2 < P_3$.

5 Диагностические параметры должны иметь доступную стоимость и небольшое время замера, что предполагает их широкое внедрение в практику инструментального контроля автомобильной техники.

При наличии зависимости диагностического параметра P от пробега автомобиля L коэффициент информативности можно определить по формуле (5.3).

Скорость диагностирования характеризует быстроту определения диагноза и определяется как

$$V_{li} = K_i / t_i, \quad (5.4)$$

где K_i – коэффициент информативности i -го диагностического параметра; t_i – время определения состояния объекта по i -му диагностическому параметру.

Удельная стоимость диагностирования оценивается затратами в гривнах (C_3) на единицу полученной информации, то есть:

$$J = C_3 / K_i. \quad (5.5)$$

Для того чтобы определить техническое состояние автомобиля, необходимо текущие значения диагностических параметров, измеренных при помощи внешних и встроенных средств диагностирования, сопоставить с нормативными значениями.

Выбор и обоснование диагностических параметров базируется на частоте проявления неисправностей и отказов, анализе признаков и экономических факторах (удельные затраты на устранение неисправностей и невыявленных отказов).

При выборе диагностических параметров предусматривается определение предварительного перечня параметров и его минимизация. Это вызвано противоречивостью требований, предъявляемых к системе диагностирования: для получения большей информативности о техническом состоянии объекта желательно увеличение количества диагностических параметров, но увеличение их количества ведет к увеличению затрат на диагностирование.

Количество диагностических параметров минимизируется с учетом их информативности, однозначности, стабильности, доступности измерения, стоимости реализации.

Номенклатура и значения диагностических параметров должны соот-

ветствовать требованиям ГОСТ 25478–82, ГОСТ 23435–79, ГОСТ 26048–83, ГОСТ 21393–75, ГОСТ 17.2.2.03–87.

Технологичность измерения параметра определяется удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки полученных результатов.

Определение диагностических параметров ставит своей целью проверку технического состояния системы и является неотъемлемой процедурой в процессе выполнения диагностирования или обслуживания автомобиля. Поочередное определение диагностических параметров приводит к необоснованному увеличению количества элементарных операций, которые являются причиной увеличения трудоемкости и времени диагностирования. Следовательно необходимо выбирать только такие параметры, которые имеют наибольшую диагностическую ценность. Оценка диагностической ценности параметра выполняется по таким критериям: максимальная информативность и достоверность, простота реализации, удобство для диагноста (автослесаря) и малая трудоемкость.

5.4 Характеристика диагностических параметров

Номенклатура диагностических параметров определяется на стадии проектирования.

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. 5.5.

Во многих случаях диагностические параметры более правильно характеризуют техническое состояние объекта диагностирования чем структурный параметр, например состояние цилиндро-поршневой группы лучше определить по вибрационному параметру, количеству газов, прорывающихся в картер, – по угару картерного масла, по компрессии, а не по зазорам в сопряжениях и другим структурным параметрам, часто требующим разборки системы.

Между структурными и соответствующими им диагностическими параметрами существует определенная качественная и количественная связь, основанная на известной закономерности.

В тех случаях, когда структурный параметр определяется в процессе диагностирования прямым измерением, он одновременно выступает как диагностический параметр.

Структурные параметры (геометрические) определяют состояние сопряженных деталей и механизмов по величине зазоров, люфтов, биений, свободных ходов (например, свободный ход педали тормоза, тепловой зазор в клапанах двигателя и т. д.).

Изменение структурных параметров составных частей по мере работы в постоянных эксплуатационных условиях обычно имеет плавный монотонный характер (см. рис. 5.9, а), отличающихся друг от друга скоро-

стью изменения параметра. В этом случае оптимальное допустимое значение структурного параметра (например, зазоры в сопряжениях ЦПГ, КШМ, ГРМ и др.) рассчитывается по технико-экономическим и вероятностным критериям. Кроме качественных показателей проектирования, на характер изменения диагностического или структурного параметров влияет большое количество эксплуатационных (переменных нагрузочных, температурных и др.) факторов. При переходе от структурных параметров к диагностическим и от уровня технического состояния группы элементов и сопряжений к оценке технического состояния агрегатов в целом характер изменения диагностических параметров перестает быть монотонным. Но отклонение функциональных параметров обычно происходит по монотонно возрастающей кривой.

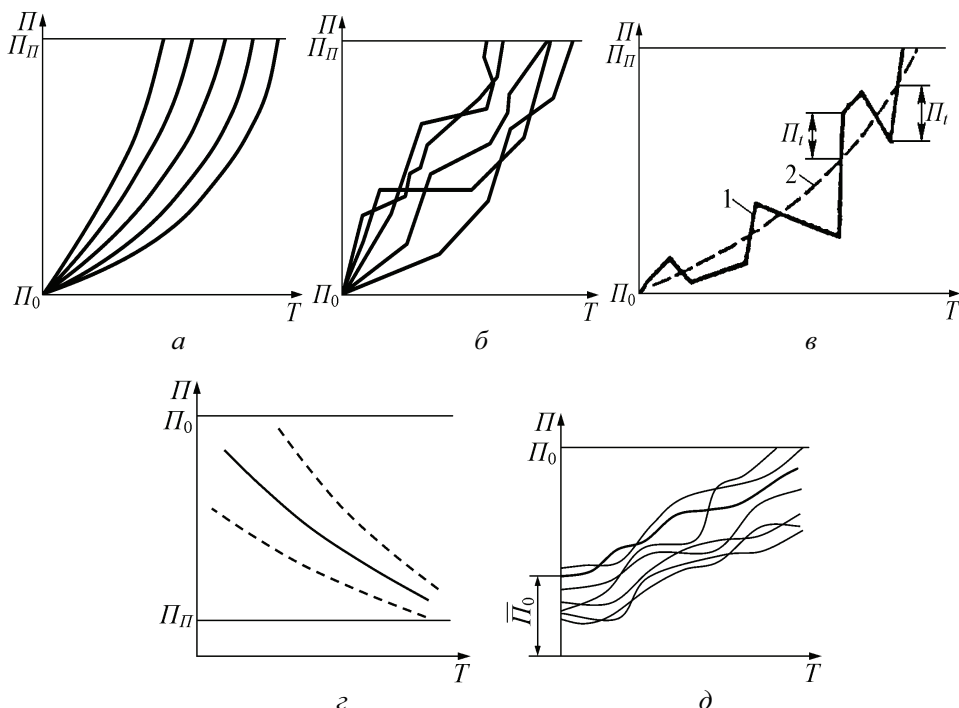


Рис. 5.9. Характер кривых отклонений параметров состояния элементов автомобиля: *а* – плавные монотонно возрастающие кривые; *б* – ломаные немонотонно-возрастающие кривые; 1 – фактическое отклонение параметра, 2 – усредненное отклонение; *в* – снижение функциональных характеристик машин; *г* – вариации процесса старения как случайные функции; Π_{Π} – предельное значение диагностических параметров, Π_0 – исходное состояние, T – наработка, Π_i – стационарная случайная функция отклонения параметра, $\bar{\Pi}_0$ – случайная величина исходного параметра прогнозирования процесса

В диагностике целесообразно различать следующие группы параметров состояния:

- параметры эффективности транспортной машины, производительность, удельные энергетические затраты и т.п.;
- параметры надежности объекта;
- параметры диагностических сигналов.

Таблица 5.5

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, системы охлаждения
4 Нарушение правильности циклических процессов	Изменение силы тока и напряжения в электроцепях, изменение амплитуды колебания поддрессоренных масс, изменение установки зажигания и угла опережения впрыска топлива	Система зажигания, система впрыска топлива, генератор, стартер, подвеска двигателя и автомобиля
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 выпускных газах сажи, окиси углерода, окиси азота и углеводородов	Двигатель, система зажигания, система фильтрации воздуха, система подачи топлива двигателей
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 поверхностностей агрегатов	Визуально наблюдаемые деформации, изменение окраски, следы подтекания жидкостей, топлива и масел, износ	Кузов, двигатель, агрегаты трансмиссии, системы автомобиля, шины

Параметры диагностического сигнала включают в себя числовые характеристики различных процессов, сопутствующих работе объекта, дос-

тупных для непосредственного измерения и служащих информацией о состоянии объекта. Выходные процессы объекта и изменение их параметров являются единственными видимыми извне проявлениями его состояния.

С точки зрения состояния машин и механизмов выделяют ресурсные и функциональные параметры (рис. 5.10). На реальный процесс изменения структурных параметров оказывают влияние ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

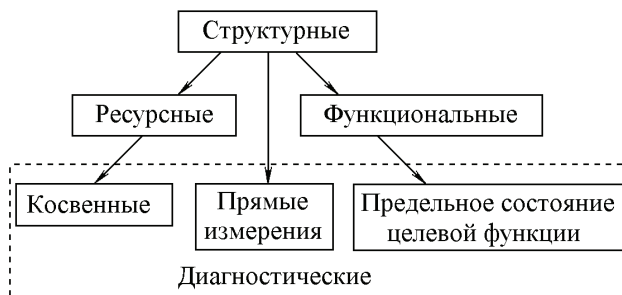


Рис. 5.10. Параметры состояния машин

Ресурсный параметр – параметр, изменение которого выше предельного значения обуславливает утрату работоспособности составной части (элемента) машин в силу исчерпания ресурса, восстанавливаемый посредством ремонта или замены элемента.

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; износ подшипников, шестерен, шлицев, валов и др. (см. рис. 5.1, графики 1, 2).

Диагностические параметры исходных рабочих процессов характеризуют функциональные свойства автомобиля, агрегата, системы (мощность двигателя, скорость автомобиля, затраты топлива, тормозной путь).

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 техническими и рабочими характеристиками, интегрально отражающими состояние структурных параметров: снижение эффективной мощности двигателя, КПД или частоты вращения вала, давления рабочих жидкостей и газов, производительности масляного насоса, давления открытия перепускного и предохранительного клапанов, давление воздуха в шинах, углы установки управляемых колес, ход рычагов и педалей механизма управления поворотом, муфт сцепления и тормозов, повышение уровня вибрации, шума и расхода топлива и других энергоносителей, напряжение на элементах аккумуляторной батареи (см. рис. 5.1, график 3), тепловой зазор в клапанном механизме, зазор в масля-

ном насосе, в сопряжении гильза-поршень (см. рис. 5.1, графики 1, 2), выбросы вредных веществ, температуры, уровни создаваемых магнитных и электрических цепей, снижение производительности. Функциональные параметры характеризуют связи между элементами систем машин.

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

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

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

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 (см. рис. 5.1, ресурсы P_1, P_2, P_3).

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 (см. рис. 5.1, ресурс P'_2).

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 длины 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 произво-

длительности и минимум затрат. Поэтому в большинстве случаев необходимо сохранять оптимальные показатели надежности и эффективности при минимальных удельных издержках.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, то есть утрата объектом способности выполнять требуемую функцию. «Отказ» является событием в отличие от «неисправности», которая является состоянием и причиной отказа.

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.

5.5 Виды и методы определения нормативных диагностических параметров

Диагностические нормативы – это количественная мера диагностического параметра.

Параметры технического состояния узла, агрегата, детали (элемента) подразделяют по важности на две группы. К первой группе относятся параметры, связанные с безопасностью эксплуатации автомобиля, а также параметры, от которых зависят экологические и эргономические показатели – шум, вибрация, токсичность отработавших газов, электромагнитные поля. Как правило диагностические параметры этих механизмов хорошо отражают выходные (рабочие) показатели (тормозной путь, время срабатывания тормозов, содержание вредных веществ в отработавших газах и т. д.) и могут быть измерены непосредственно. Ко второй группе относятся параметры, связанные с технико-экономическими показателями, – это расход топлива, углы схождения колес и т. д.

Важнейший этап разработки системы технической диагностики – определение нормативных значений структурных и диагностических параметров технического состояния элементов автомобиля, обеспечивающих постановку диагноза технического состояния.

К нормативным значениям параметров оценки технического состояния автомобиля, отдельных узлов и систем относятся номинальные P_n , предельные $P_{\text{п}}$ и допускаемые $P_{\text{д}}$ значения. Значения диагностических нормативов устанавливают:

- а) ГОСТ – такие значения, которые определяют безопасную эксплуатацию автомобиля (рулевой механизм, тормозная система, уровни вибрации, светотехнические приборы и т. д.);
- б) другими руководящими техническими материалами (инструкциями, техническими условиями и т. д.) – все остальные значения диагностических нормативов (например, плотность электролита, тепловой зазор в клапанах двигателя и т. д.).

Критерием нормирования параметров автомобиля вредно воздейст-

вующих на человека является степень санитарно-гигиенических и (или) психофизической допустимости воздействия (шума, вибрации, магнитных полей и отработавших газов) на человека. Критерием нормирования параметров автомобиля, воздействующих на окружающую среду является экологические последствия их воздействия.

Когда понятие неисправности задается эксплуатационной технической документацией (например, в виде ограничений на выходные показатели), условное предельное значение диагностического параметра может быть определено путем пересчета на основе аналитической или регрессионной модели. Однако в большинстве случаев понятие неисправности количественно не задается, а определяется из опыта эксплуатации. Поэтому ниже приведены три метода определения нормативных значений диагностических параметров:

- 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 диагностического параметра и о характере его 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 двигателей.

Во втором методе оптимизация проводится по критерию суммарных затрат на ремонт и регулировку (полное и частичное восстановление двигателя) 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 (ЦПГ, КШМ, ГРМ). В результате этого совокупность реализации уже не может быть удовлетворительно описана в виде веера плавных кривых (см. рис. 5.9, а).

Отклонение структурного или ресурсного параметра элемента под влиянием группы эксплуатационных факторов происходит уже не по гладкой, а по ломаной возрастающей кривой с изломами (см. рис. 5.9, б, в). Резкое увеличение скорости изменения параметра Π_i в отдельные моменты обусловлено случайными неблагоприятными эксплуатационными условиями (большие нагрузки, скорости, запыленность воздуха, нарушение регулировок, недостаточная смазка и т.п.).

Анализ двух схем поведения диагностических параметров (см. рис.

5.9, а, б) показывает, что по физической сущности они отличаются степенью влияния «предыстории», то есть ретроспекции данного агрегата на последующее изменение его технического состояния.

В первом случае (см. рис. 5.9, а) скорость изменения параметра для каждого элемента и агрегата двигателя в основном зависит от его «начального» (проектного и производственного) качества, случайные же эксплуатационные факторы оказывают второстепенное влияние. Наблюдение такого параметра на некотором интервале наработки в прошлом дает возможность достаточно хорошо экстраполировать его поведение в будущее. Приращение параметров на соседних межконтрольных циклах характеризуются при этом тесной корреляционной связью. Наличие кроме этого фиксированного предельного значения параметра (или, по крайней мере, достаточно узкого диапазона предельных значений) позволяет в результате прогнозирования для каждого отдельного агрегата процесс приближения его к отказу.

Во втором случае (см. рис. 5.9, б, в) картина иная – на процессы изменения технического состояния деталей двигателя оказывает влияние не исходное качество, а в основном резко переменные эксплуатационные факторы. Корреляционная функция быстро убывает, в результате чего приращение параметра на отдельных циклах межконтрольной наработки оказываются слабо зависящими друг от друга. Иначе говоря, наблюдение параметра в прошлом дает недостаточно информации о его поведении в будущем. Единственное, что можно прогнозировать в таких условиях, – это вероятности тех или иных приращений параметра за цикл межконтрольной наработки. Поскольку во втором случае диагностический параметр имеет только стохастическую связь с работоспособностью агрегата (либо соответствующий структурный параметр является не прямой, а лишь косвенной причиной отказа), то приходится ограничиться вероятностями отказа агрегатов на предстоящей межконтрольной наработке при различных значениях параметра.

В качестве простого критерия для приближения реального процесса изменения диагностического параметра к марковскому можно использовать средний коэффициент корреляции между приращениями параметра на соседних циклах контроля:

$$r = \frac{D_1}{D_1 + D_2}, \quad (5.6)$$

где D_1 – дисперсия средних скоростей изменения параметра по отдельным агрегатам, обусловленная различным «начальным качеством»; D_2 – дисперсия скоростей изменения параметра по циклам контроля относительно средней скорости для конкретного агрегата, обусловленная влиянием переменных условий эксплуатации.

Если $D_2 > D_1$ (соответственно $r < 0,5$), то данный процесс считается марковским.

Третий метод предполагает определение допустимого значения диагностического параметра по известной связи его со структурным при минимизации удельных издержек на эксплуатацию, ТО и ремонт с учетом

точности измерения параметра.

5.6 Диагностические параметры зазоров в сопряжениях деталей машин

Зазоры в сопряжениях деталей машин являются основным диагностическим параметром динамических и статических систем машин. Большинство исходных и предельных параметров зазоров можно (без учета фактических динамических характеристик конкретного узла машины) получить расчетным путем или на базе статических данных, полученных при эксплуатации аналога.

Классическая закономерность нарастания износа двух сопряженных деталей представлена графически на рис. 5.11, где показан процесс изнашивания деталей подвижного сопряжения от момента его сборки до наступления предельной величины износа, который в данном случае определяется величиной зазора между деталями.

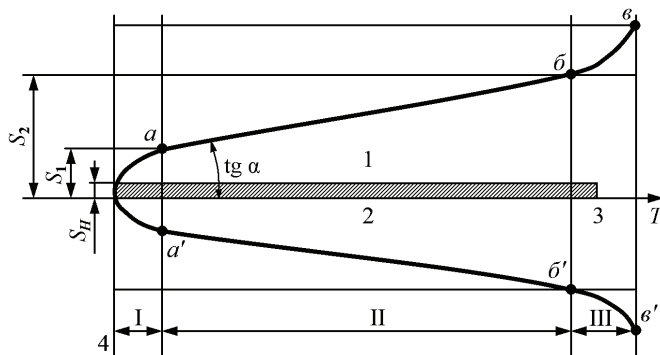


Рис. 5.11. Типовая кривая износа сопряжения: 1 – вал; 2 – втулка, 3 – пробег автомобиля; 4 – величина износа (зазора); I – приработка; II – установившееся нормальное изнашивание; III – интенсивное изнашивание; S_1 – зазор в конце приработки; S_2 – предельно допустимый зазор; S_H – начальный (номинальный) зазор; $\text{tg } \alpha$ – скорость (интенсивность) изнашивания

На рис. 5.11 сборочный зазор (S_H), необходимый для нормальной работы сопряжения, заштрихован. Процесс изменения величины износа при эксплуатации можно разбить на три периода. Каждый из периодов изнашивания (I, II, III) отражает качественное состояние пары. Переход из одного качества в другое определяется количественным накоплением элементарных повреждений.

Первый период связан с приработкой сопряжения, которая происходит при незначительном пробеге автомобиля. Этот период характеризуется довольно быстрым нарастанием износа, так как происходит сглаживание микрощероховатостей на рабочих поверхностях деталей, оставленных после обработки деталей на станках. Окончание приработки характеризуется увеличением величины износа деталей (зазора между ними), который обозна-

чен точкой a ; этот зазор называется номинальным.

Второй период – период нормальной эксплуатации сопряжения – длительный по времени (по пробегу), с малой скоростью нарастания износа деталей, называют периодом естественного изнашивания.

Темп нарастания износов ($tg \alpha$) зависит от многих факторов (см. рис. 5.9) и в действительности не возрастает так плавно, как изображено на рисунке. Каждое ухудшение условий эксплуатации увеличивает темп изнашивания, тогда как проведение регулировочных работ, улучшение условий эксплуатации (свежее масло, меньшие скорости, нагрузки) снижает темп нарастания износов в данный период. Но общая закономерность изнашивания не изменится – износы будут нарастать и достигнут величины, обозначенной точкой b . Эта величина износа (зазора) является допустимой. Дальнейшая работа сопряжения проходит при увеличенном зазоре, с увеличением динамических нагрузок, худшей смазкой и, как следствие, с повышенной вибрацией и скоростью изнашивания деталей. Моменты достижения состояния δ (ресурса) у различных изделий будут различны, то есть наработка на отказ будет случайной величиной и обнаруживает вариацию случайной величины. Характеристиками случайной величины является среднее значение, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, коэффициент вариации [5].

В ТЭА различают случайные величины с малой ($v \leq 0,1$), средней ($0,1 < v \leq 0,33$) и большой вариацией ($v > 0,33$). Помимо приведенных, важнейшей характеристикой случайной величины служит вероятность – численная мера степени объективно существующей возможности появления изучаемого события. Статистически вероятность события A представляет собой отношение числа случаев $n(A)$, благоприятствующих этому событию, к общему числу случаев n . Вероятность может принимать значения в интервале от 0 до 1. События, вероятность наступления которых равна единице, называются достоверными, а события, для которых вероятность наступления менее 0,5 – маловероятными.

Третий период работы сопряжения называют периодом аварийного изнашивания. Работа сопряжения в этом периоде может привести к отказу и требует тщательного наблюдения. Износ не должен превышать предельную величину, обозначенную точкой b .

Численные значения номинального зазора (износа) задаются конструктором, а допустимого и предельного – определяют теоретически из условий прочности деталей, условий смазки и надежности сопряжения, проверяют экспериментально и вносят в технические условия.

Изнашивание деталей автомобиля зависит в первую очередь от условий их эксплуатации. Изнашивание деталей, образующих подвижные сопряжения, зависит от характера перемещения трущихся поверхностей – скольжения поверхностей относительно друг друга (трение скольжения), перекатывания (трение качения) или перекатывания со сдвигом. При трении скольжения характерно истирание деталей, а при трении качения – смятие и выкрашивание. Для деталей, работающих в условиях сложного трения, при котором происходит перекатывание со сдвигом, характерно выкрашивание.

Наименьшая скорость выкрашивания деталей наблюдается в условиях, когда между деталями всегда имеется слой смазки – масляный клин, разделяющий детали. Масляный клин между деталями подвижного сопряжения может быть при строго определенных условиях, связанных со скоростью перемещения деталей, вязкостью и давлением масла, подаваемого в сопряжение, удельными нагрузками и с величиной зазора между деталями. При этом чем больше зазор, тем больше должны быть давление и вязкость масла, большие скорости перемещения деталей и меньшие удельные нагрузки на детали. Эти зависимости используются при эксплуатации автомобилей.

Для изношенных двигателей применяют более вязкие масла, снижают нагрузку на детали, увеличивают скорость вращения коленчатого вала.

Изнашивание деталей делят на четыре вида:

- механическое, при котором вследствие механического воздействия изменяются формы и объем трущихся частей без существенных физических и химических изменений;
- физико-механическое, при котором механическое изнашивание сопровождается существенными физическими изменениями;
- химико-механическое, при котором механическое изнашивание сопровождается существенными химическими изменениями (коррозия и др.);
- комплексное, при котором механическое изнашивание сопровождается существенными химическими и физическими изменениями деталей.

На рис. 5.12 показано нарастание износа в сопряженных деталях и изменение коэффициента работоспособности.

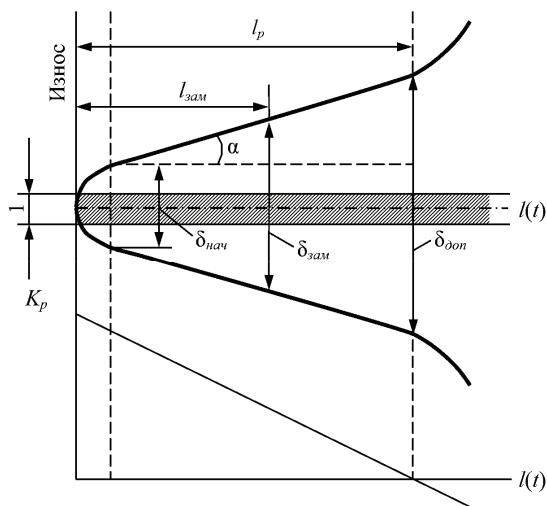


Рис. 5.12. График нарастания износа в сопряженных деталях

предусмотренного конструкцией допуска d . Тогда можно записать

Выразим коэффициент работоспособности K_p через отношение

$$\frac{\delta_{доп} - \delta_{зам}}{\delta_{доп}} = 1 - \frac{\delta_{зам}}{\delta_{доп}},$$

где $\delta_{зам}$ – измеряемый зазор; $\delta_{доп}$ – допустимый зазор.

Если $\delta_{зам} = \delta_{доп}$, то $K_p = 0$. Если $\delta_{зам} = 0$, $K_p = 1$ и если $\delta_{зам} > \delta_{доп}$, то $K_p < 0$.

Отрицательная величина коэффициента свидетельствует об аварийном характере износа проверяемых деталей. С достаточной точностью принимаем, что зазор в конце приработки $\delta_{исх}$ примерно в два раза больше

$$\delta_{зам} \approx 2(d + l_{зам} \cdot \operatorname{tg} \alpha), \quad (5.7)$$

где $l_{зам}$ – пробег, соответствующий зазору $\delta_{зам}$; $\operatorname{tg} \alpha$ – интенсивность износа.

Таким образом, коэффициент работоспособности K_p уменьшается с увеличением пробега и будет равен

$$K_p \approx 1 - \frac{2(d + l_{зам} \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{\delta_{дон}} \approx 1 - B \cdot l_{зам}, \quad (5.8)$$

здесь B – постоянная для данных сопряженных деталей величина.

В большинстве случаев конструктор и обслуживающий персонал знает сроки службы отдельных деталей как для целей совершенствования машины, так и для разработки основных требований к технической эксплуатации. В эксплуатации эти сведения необходимы для планирования технического обслуживания и ремонта машин.

Степень износа подвижных сопряжений характеризуется величиной возникшего в них зазора. Величина зазора принята в качестве критерия технического состояния при большинстве операций разборной и безразборной диагностики. По величине зазоров судят о возможности дальнейшей эксплуатации сопряжений или необходимости ремонта.

Величины предельных зазоров служат основой определения размеров, используемых для дефектации деталей при ремонте, причем размеры делят на «предельные» и «допустимые». Такой подход положен в основу разработанной технической документации на ремонт, диагностирование и прогнозирование технического состояния большинства транспортных машин. Основным условием назначения предельных зазоров в сопряжениях ресурсных элементов является максимальное использование ресурса сопряжения в системе узла или машины.

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. При этом предельное значение параметра $\delta_{пр}$ увязывают с номинальным значением $\delta_{исх}$, фиксируемом при исправном состоянии машины посредством так называемого «запаса износа» или «запаса работоспособности», равного их отношению

$$П_K = \delta_{пр} / \delta_{исх}. \quad (5.9)$$

Величина коэффициента запаса на износ зависит от эксплуатационного назначения изделия и допустимого снижения его начального значения, от прогнозируемого срока службы, характера изменения функциональных параметров и эксплуатационных показателей в процессе работы изделия и других факторов. Например, для поршневых двигателей, компрессоров необходим запас точности зазора в сопряжении поршень-цилиндр, так как

этот зазор влияет на их производительность, удельную мощность двигателя и расход энергоносителей.

От решения задачи по определению оптимальных и на их основе допустимых при ремонте размеров зависят: величины доремонтного и межремонтного ресурса деталей и, соответственно, стоимость ремонта, расход запасных частей, стоимость восстановления изношенных деталей, продолжительность и эффективность приработки пересопряженных деталей после ремонта и, в большей мере, его эффективность. Предельные и допустимые при ремонте размеры необходимы также для нормирования износостойкости деталей.

В случае чрезмерного увеличения зазоров динамические нагрузки возрастают настолько, что в подвижных сочленениях возникают удары и вибрации, вызывающие дополнительные деформации деталей. Удары и вибрации ухудшают процесс трения и резко повышают скорость износа.

Критерием определения предельных размеров зазоров в сопряжениях деталей являются их назначение – ресурсные и функциональные параметры.

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.

Для большинства функциональных параметров, которыми обычно являются технические и рабочие характеристики машин, интегрально определяющие совокупность структурных параметров, критерием определения предельной величины является технико-экономическая целесообразность использования детали, 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 механизмов и систем или другими воздействиями, например, очисткой фильтров, заменой детали.

Структурный параметр в этих случаях определяется как допустимый по критерию технико-экономической эффективности использования механизма, а не наработки до предельного износа. Вопрос определения оптимальных значений начальных и установочных регулировок сводится к двум основаниям: 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.

В практике технического обслуживания на основе многочисленных статистических данных выработался определенный подход по определению граничных условий для проведения регулировочных работ, как переход диагностического параметра в другой класс технического состояния, который является изменением исходного параметра в 2,0...3,5 раза. Это вытекает из анализа граничных величин регулируемых параметров, установленных технической документацией и существующими методами прогнозирования технического состояния машин (табл. 5.6) [27].

Таблица 5.6

**Номинальные, допустимые и предельные значения зазоров
в сопряжениях деталей**

Вид и параметр сопряжения	Нормируемые значения зазоров, мкм			Превыше- ние значе- ния над началь- ным зазо- ром	
	начальный, максималь- ный	допустимый	предельный	допус- тимого	предельного
1	2	3	4	5	6
1 Зазоры в радиальном шариковом под- шипнике, диаметр, мм					
от 24 до 30	0,010...0,024	0,070	0,250	2,9	10,4
30...40	0,012...0,026	0,070	0,270	2,7	10,3
40...50	0,012...0,029	0,080	0,300	2,7	10,3
50...65	0,013...0,033	0,100	0,340	3,3	10,3
2 Зазоры в роликовых подшипниках каче- ния, диаметр, мм					
от 14 до 30	0,015...0,045	0,100	0,290	2,1	6,4
30...40	0,020...0,055	0,120	0,330	2,1	6,0
40...50	0,020...0,055	0,130	0,360	2,3	6,5
50...65	0,025...0,065	0,150	0,400	2,1	6,1
3 Зазоры в игольчатых подшипниках кар- данных передач, мм	0,010...0,020		0,200		10,0
4 Зазоры между зубьями зубчатой переда- чи, мм					
боковой зазор между зубьями шестерен					
главной передачи трактора					
Т-150К	0,50		4,0		8,0
МТЗ-52	0,45		4,0		8,9
Т-40А	0,40		3,0		7,5
К-700	0,55		4,0		7,2
суммарный зазор в механизмах силовой передачи тракторов в градусах поворота ведущего колеса:					
Т-4, Т-4А	0,25...0,37		3,8		10,2
ДТ-75	0,33...0,67		7,5		10,1
МТЗ	0,5...1,0		7,5		7,5
5 Зазоры в шлицевых соединениях, мм					
карданных валов трактора	0,060		0,60		10,0
фланца моста трактора Т-150К	0,010	0,35	0,90	3,5	9,0
шестерни на валу редуктора свеклоубо- рочного комбайна	0,015		0,150		10,0

1	2	3	4	5	6
6 Зазоры в соединениях кривошипно-шатунного механизма, мм					
– суммарный зазор в коренных и шатунных подшипниках двигателей (МД-60, СМД-14, ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-238НБ, А-01М, А-41, Д160);	0,11...0,20		1,0		5,0
– для двигателей Д-50, Д65Н, Д-37М, Д-21, Д-240	0,085...0,15		0,85		5,6
– в шатунном подшипнике	0,08...0,15		0,50		3,3
– в верхней головке шатуна	0,02...0,05		0,45		9,0
– суммарный зазор в коренных и шатунных подшипниках	0,10...0,18		1,00		5,5
– зазор «поршень-гильза»	0,18...0,22		0,65		2,9
– зазор «гильза цилиндра-поршень»	0,20		6,60		3
7 Зазоры в деталях подшипников скольжения и типа «вал-втулка», мм:					
– зазор «гильза цилиндра-поршень»	0,20		0,60		3
– зазор «втулка шатуна-поршневой палец двигателя»	0,0395		0,30		8
– зазор «втулка клапана-впускной клапан двигателя»	0,050		0,40		7
– направляющая головка «цилиндр-клапан»	0,065...0,080	0,250	0,430	3,1	5,3
– зазор в подшипнике скольжения – втулке подвески комбайна СК-4	0,06		0,7		10,1
– зазор в подшипнике скольжения втулки пальцев комбайна СК-4	0,06		0,8		10,3
– зазор в подшипниках скольжения ведомого шкива вариатора оборотов комбайна СК-4	0,06		0,7		10,1

Заранее заданная вероятность ненужного ремонта A зависит от вероятности дефектного состояния P_D и для многих машин определяется как

$$A = K P_D = K(1 - P_H), \quad (5.10)$$

где K – коэффициент запаса или надежности, $K = 1...3$ – для общих дефектов и $K = 3...10$ – для неисправностей с опасными последствиями, P_H – вероятность нормального состояния.

Выполненный анализ номинальных допустимых и предельных зазоров, установленных технической документацией ГОСНИТИ на капитальный ремонт машин и используемых при диагностировании и прогнозировании технического состояния техники, показывают, что величина допустимого износа сопряжений деталей при дефектации и прогнозировании технического состояния зависит от типа структурного параметра и предъявляемых требований к точности и надежности работы механизмов, но не превышает увеличения начального зазора в 2,1...3,5 раза. Такое превышение величины зазора над начальным значением определяет переход ресурс-

ного параметра в другой класс технического состояния механизма [27].

Такой набор допустимых износов – в 2,5...3,5 раза выше номинальных зазоров – при капитальном ремонте объясняется необходимостью восстановления работоспособности ремонтируемой техники не менее, чем на 80...70 % от уровня новых изделий. На основании этих данных нетрудно представить, что указанный допустимый износ составляет 20...30 % запаса на износ сопряжения. Следовательно, за предельный технический ресурсный износ ($П_C$) принимается увеличение зазора r над начальным q , в 8...10 раз. Последнее подтверждается анализом действующих норм на допустимые и предельные зазоры на капитальный ремонт техники, разработанных ГОСНИТИ, а также на ремонт машинного оборудования в других отраслях техники, например, опор на шариковых подшипниках и подшипниках скольжения в судостроении. Такой подход объясняется тем, что за пределами увеличения зазора в 10 раз резко возрастают ударные нагрузки и вибрации, которые возбуждают резонансные процессы. Работа механизма с предельными зазорами приводит к увеличению амплитуд вибрации и быстрому разрушению как данной детали, так и сопрягаемых с ней.

Таблица 5.7

Значения коэффициентов a

Параметр технического состояния	Значение a
Расход газов, прорывающихся в картер:	
– до замены колец	1,2
– после замены колец	1,5
Угар масла	2,0
Мощность двигателя	0,8
Зазоры в кривошипно-шатунном механизме	1,2...1,6
Давление топлива до фильтра в системе питания двигателя	0,5
Производительность секции топливного насоса	0,5
Износ плунжерных пар топливного насоса	1,1
Зазор между клапаном и коромыслом механизма газораспределения	1,1
Утопание клапанов	1,6
Износ кулачков распределительного вала по высоте	1,1
Радиальный зазор в подшипниках качения и скольжения	1,5
Износ посадочных мест корпусных деталей	1,0
Износ зубьев шестерен по толщине	1,5
Износ шлицев валов	1,0
Износ валиков, пальцев и осей	1,4
Износ накладок тормозов и дисков сцепления	1,0

Полученные статистические данные можно выразить простой математической зависимостью. Для целей диагностирования необходимо перейти от величин структурных параметров к величинам диагностических параметров. Изменение диагностического параметра $П$ при изменении ряда типовых структурных параметров x машины можно аппроксимировать степенной зависимостью

$$П = x^a. \quad (5.11)$$

Показатель степени a в типовых случаях изменяется в пределах от 1 до 2 (табл. 5.7).

С учетом выражения (5.11) значение диагностического параметра при номинальном (исправном) $П_H$ и предельном $П_П$ состояниях машины можно определить следующим образом

$$П_H = \delta_{исх}^a, \quad (5.12)$$

$$П_П = \delta_{пр}^a. \quad (5.13)$$

Разделив величину $П_П$ на величину $П_H$ с учетом указанных формул, получим выражение для определения степени изменения диагностического параметра $П_Д$ при переходе машины из исправного в аварийное состояние

$$П_П = П_С^a. \quad (5.14)$$

Подставляя в (5.14) приведенные выше статистические данные по изменению $П_С$ и a , можно оценить пределы изменения диагностического параметра $П_Д$, показывающие, что он изменяется в диапазоне от 1,5 до 10.

5.7 Критерии оценки предельного технического состояния пар трения

Оценка технического состояния шлицевых и шпоночных соединений. Контроль за шлицевыми и шпоночными соединениями осуществляется путем оценки сработанности пазов и шлицев. Допустимые зазоры в шлицевых соединениях должны не превышать 0,4 мм для реверсивных и 0,5 мм – для остальных передач.

Допустимые зазоры в соединениях шпонок равняются 0,3 мм для валов диаметром 25...90 мм, 0,4 мм, – для валов диаметром 91...170 мм и 0,5 мм – для валов диаметром свыше 170 мм. В случае замены шпонки на большую расширять паз шпонки больше чем на 15 % не допускается.

Пары трения являются элементами сложных механических систем – машин, агрегатов механизмов. Поэтому влияние характеристик изношенного сопряжения на работоспособность всей машины и, соответственно на значение предельно допустимого износа для каждой пары, является очень важным. Предельный износ сопряжения определяется на основании следующих положений:

- износ сопряжения может привести к потере работоспособности самой кинематической пары;
- износ сопряжения лимитируется влиянием последствий изнашивания на работоспособность других систем и механизмов;
- износ сопряжения влияет на изменение выходных параметров машины.

Эти три условия являются критериями для выбора предельно допустимого износа сопряжения.

Снижение и потеря работоспособности узлов, агрегатов и машины в

целом может быть вызвано многими неисправностями, изменениями регулировочных размеров и предельными величинами износов.

На практике для определения предельных величин износов многих деталей и узлов машин руководствуются следующими критериями: техническим, функциональным, технико-экономическим и технологическим.

Технические критерии характеризуют предельное состояние составных частей, когда они не могут больше выполнять свои функции по техническим причинам (например, предельное увеличение шага цепи приводит к ее проскальзыванию на звездочках и спаданию) или когда дальнейшая эксплуатация объекта диагностирования с составными частями, достигшими предельного состояния, приводит к аварийному отказу (например, работа при предельном давлении масла в магистрали приводит к выходу дизеля из строя).

К техническим критериям относятся: срок службы элемента до предельного состояния, уровень безотказной работы, коэффициент технической готовности, информативность, точность, контролепригодность.

Согласно техническому критерию, предельным значением измерителя износа является то значение, которому соответствует:

- начало резкого возрастания интенсивности износа и вибрации;
- предельно допустимое снижение прочности изнашивающейся детали вследствие изменения ее размеров;
- выходящее за пределы допустимого влияние износа рабочего органа или детали соединения на работоспособность других деталей;
- самовыключение механизма из работы.

Изнашивание сопряженных деталей автомобиля зависит от продолжительности его работы, то есть от пробега.

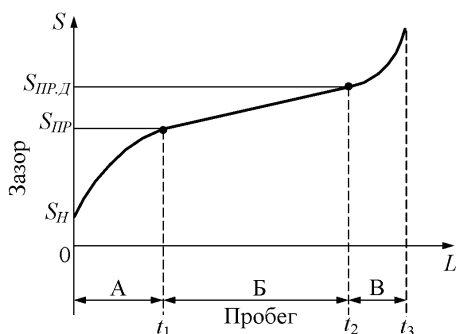


Рис. 5.13. Зависимость изменения зазора между шатунной шейкой коленчатого вала и вкладышами подшипника от пробега автомобиля: А – зона приработки; Б – зона нормальной работы; В – зона прогрессирующего износа и аварийных поломок; S_H – нормальный исходный зазор, необходимый для образования масляного клина; $S_{пр}$ – зазор в конце приработки; $S_{пр.д}$ – предельно допустимый зазор

На рис. 5.13 показана зависимость изменения зазора сопряженных деталей, в данном случае между шатунной шейкой коленчатого вала и вкладышами подшипника, от пробега автомобиля. На кривой зависимости имеются три области резкого изменения процесса изнашивания (от 0 до t_1 ; от t_1 до t_2 ; от t_2 до t_3). Это связано с тем, что в начальный период эксплуатации автомобиля происходит приработка деталей. В это время большое число микронеровностей поверхностей деталей как бы сошлифовывается. При этом продукты изнашивания попадают в смазочный материал. Именно

поэтому в период приработки предусмотрена замена масла через 3000...4000 км пробега автомобиля.

Затем наблюдается период от t_1 до t_2 нормальной работы (установившееся постоянное значение скорости изнашивания). В это время величина зазора находится в пределах допустимого. Износ увеличивается, но очень медленно. Причем износ сопряженных деталей может быть неодинаков из-за использования различных материалов и других конструктивных особенностей. Например, вкладыши коренных и шатунных подшипников изготавливаются из более мягкого пористого материала и изнашиваются гораздо быстрее, чем шейки коленчатых валов. Поэтому вкладыши рекомендуется заменять через 70...80 тыс. км пробега автомобиля, что позволяет значительно продлить срок службы коленчатого вала.

Эксплуатация механизма за пределами t_2 связана с постоянным ухудшением технического состояния и может привести к разрушению как отдельной детали, так и сопряженных с ней.

Увеличение коэффициента динамичности (вибрации) с ростом зазоров в шатунных подшипниках, появление ударов в реверсивной зубчатой передаче вследствие увеличения бокового зазора между зубьями, возникновение прогрессирующей концентрации нагрузки на зубья по их ширине из-за перекоса валов, вызванного износом подшипников, – таковы единичные примеры влияния износа одного соединения на прочность и износостойкость деталей.

В отдельных случаях значительный износ может привести к нарушению кинематического взаимодействия деталей, а в результате этого – к полному прекращению работы механизма.

Технический признак может привлекаться также для оценки допустимого изменения характера неподвижного соединения (прессовая посадка, шлицевое или шпоночное соединение) вследствие контактной коррозии, релаксации напряжений и макропластической деформации деталей. Здесь возникают трудности установления числовых характеристик показателей износа.

По техническому критерию, форсированный износ элемента или соединения в конце его службы не всегда является единственным основанием для заключения о его непригодности к дальнейшей работе; выбраковка может быть произведена по другим соображениям, когда аварийной ситуации в данном элементе или соединении еще нет. Это еще более проявляется при подходе к величине износа по функциональному критерию.

По функциональному критерию предельный износ соответствует предельному допустимому отклонению качества работы от нормы.

Основанием для функционального критерия служит изменение вследствие неисправностей и износа деталей качества функций, выполняемых узлом или машиной. Увеличение зазоров в рабочем сопряжении подвижного трения деталей, насоса, компрессора, цилиндро-поршневой группы, двигателя и топливной аппаратуры приводит не только к снижению производительности, но и к не нормальной работе системы смазки, количества подачи топлива, воздуха и т.п. Например, плунжерная пара выбраковывается при

установившемся износе даже невысокой интенсивности, когда величина утечек превышает установленный предел или нарушается четкость отсечек жидкости.

По функциональным параметрам определяют мощность и крутящий момент двигателя, производительность топливного насоса, производительность насоса объемного гидропривода, частоту вращения коленчатого вала, скорость вращения поворотной платформы экскаватора, скорость подъема груза грузоподъемными машинами и т.п.

Технико-экономические критерии, характеризующие предельное состояние, указывают на снижение эффективности использования объекта диагностирования вследствие изменения технического состояния. Например, с ухудшением состояния топливной аппаратуры снижается мощность дизеля и увеличивается удельный расход топлива, количество вредных веществ в отработавших газах и др.

По технико-экономическому критерию оценивается заданная вероятность работы узла, агрегата для минимума затрат на техническое обслуживания при обязательном сохранении в пределах допуска качественных и экономических показателей.

По экономическому критерию оптимальный срок службы машины определяется наименьшими затратами на единицу выработки продукции при сохранении качества в заданных пределах, минимизацией суммарных приведенных затрат или суммарных удельных затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт машины, межремонтный период рабочего органа или узла машины, наибольшей эксплуатационной производительностью машины при сохранении качества выработки в заданных пределах.

Определение предельного износа рабочего органа или узла (машины) по экономическому критерию состоит в следующем. Так как с увеличением срока службы амортизационные расходы на единицу продукции уменьшаются, а эксплуатационные затраты возрастают, то существует минимум суммарных затрат. Если построить в координатах «выработка – затраты в гривнях» графики амортизационных расходов на единицу продукции в зависимости от текущей выработки, эксплуатационных расходов и суммарных затрат, то значение минимальной ординаты последнего графика определяет предельный срок службы по экономическому критерию.

Если изношенные детали повторно используют после ремонта, то при экономическом анализе учитывают и расходы на ремонт, возрастающие при большой степени износа.

Экономический анализ является наиболее общим, но им можно руководствоваться лишь тогда, когда изменение того или иного измерителя износа или их совокупности заметно влияет на экономичность работы машины. В противном случае точность экономического анализа делается весьма проблематичной и два других критерия в достаточно полной мере удовлетворяют требованиям экономичности. Технические и функциональные признаки являются основными в тех случаях, когда не нужно считаться с рентабельностью работы машины.

Для одних машин, критерий качества является основным, для многих

других это – признак, решающий только для рабочих органов и деталей механизмов управления. Он же служит основой для оценки износа с точки зрения техники безопасности. Технический критерий характерен для ресурсных деталей передач, механизмов преобразователей движения и многих других устройств.

Срок службы детали или узла определяется не только предельными износами в соответствии с тем или иным критерием, но и другими факторами, такими как усталость, контактная усталость, коррозия, отложения на деталях, прогар и др. Ресурс коленчатого вала с центробежной очисткой масла в полостях лимитируется отложениями в кривошипных шейках и износом. Ресурс переборки узла форсунки подачи топлива редукционного клапана масляного насоса ограничивается накоплением отложений. Коррозия является основной причиной выбраковки подшипников качения, расположенных в труднодоступных и плохо защищенных местах.

Для ряда гидравлических систем машин, например дорожных, строительных или сельскохозяйственных, при оценке предельных величин износов и диагностических параметров используется технологический критерий.

Технологические критерии характеризуют резкое ухудшение качества выполнения работ по причине предельного состояния рабочих органов машин, обуславливающих снижение производительности и качества работ, например ухудшение работы подвески автомобиля приводит к снижению комфортабельности или потере качества перевозимого груза, затупление рабочих органов экскаватора и дорожных машин ухудшает качество работ, износ дисков сошников приводит к некачественной заделке семян, затупление лемехов плуга приводит к некачественной пахоте, затупление лап культиватора – к плохому подрезанию сорняков и др.

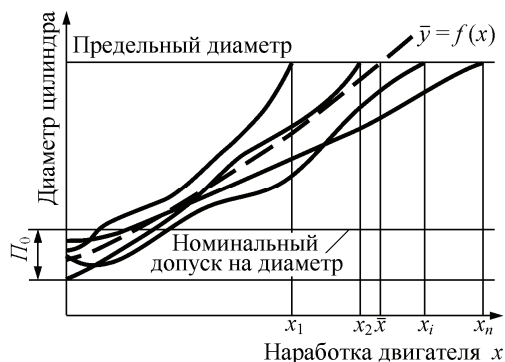
5.8 Нормирование диагностических параметров механических и газогидроаэродинамических систем

5.8.1 Характеристики скоростей изменения диагностических параметров

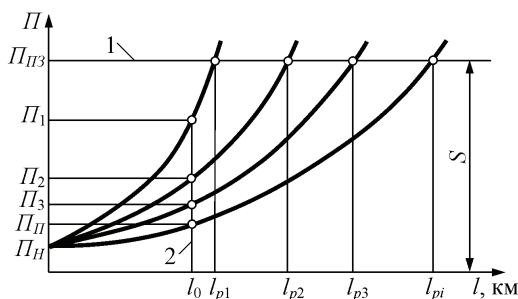
Разработка метода распознавания образов технического состояния требует детального изучения состояния объекта диагностирования. Для этого выбирают наиболее характерные особенности состояния (изображения) образов технического состояния; производят их классификацию; рассматривают особенности преобразования диагностических параметров или признаков образа в коды и классы технического состояния; принимается система распознавания образов, которая оперирует признаками образа технического состояния или неисправностей. Указанные параметры системы могут задаваться жестко при проектировании или с возможностями адаптации (в пределах допустимого изменения образа) в интеллектуальных системах.

В связи с различной скоростью изменения ресурсных (см. рис. 5.9, *а*, *б*) и функциональных параметров (см. рис. 5.9, *з*) их динамика у одноименной совокупности элементов автомобиля характеризуется пучком кривых. При этом кривые, расположенные слева (см. рис. 5.9, *а* и рис. 5.14) отража-

ют изменение параметров с относительно небольшим ресурсом, а расположенные справа отражают изменение параметров элементов с гораздо большим ресурсом. В случае реализации изменений параметров конкретного элемента в виде ломаной кривой пучок будет состоять из переплетающихся в большей или меньшей степени линий (см. рис. 5.9, а, рис. 5.14).



а



б

Рис. 5.14. Возможные изменения диаметра цилиндров двигателя (а) и вариации ресурса (б) различных элементов (изделий) автомобиля при эксплуатации:

1 — срез случайного процесса по диагностическому параметру P предельного зазора S ; 2 — сечение случайного процесса по пробегу l ; l_0 — момент контроля (ТО); P_n — номинальный параметр; $P_{п}$ — параметр после приработки; $P_{пз}$ — предельное значение диагностического параметра (в случае превышения зазора)

В практике ТЭА в большинстве случаев приходится иметь дело с вероятностными процессами. Например, диаметр цилиндров двигателя вследствие износа увеличивается неодинаково по мере наработки, тем более для разных двигателей той же модели (рис. 5.14) [32].

Во многих случаях достаточно знать не функцию (регрессию) $\bar{y} = f(x)$, а числовые характеристики совокупности случайных величин x_1, x_2, x_3 и т. д.

Связь между предельным изменением и отказом имеет вероятностный характер. Тем не менее, в целях упрощения принимают, что потеря работоспособности элементов двигателя — это момент пересечения кривой параметра состояния элемента линии $P_{п}$, которая соответствует предельной величине параметра, установленной нормативно-технической документацией. Методы нормирования номинальных (P_0) и предельных значений ($P_{п}$) параметров приведены в работах [13, 24, 33].

Исходный (начальный) норматив P_0 соответствует значению диагностического параметра нового, технически исправного объекта. В эксплуатации P_0 используется как величина,

до которой необходимо довести измеренное значение параметра путем регулировочных операций и текущего ремонта. Например, угол опережения впрыска топлива на двигателях ЯМЗ регулируется заводом-изготовителем в пределах от 18 до 22° поворота коленчатого вала. В процессе эксплуатации двигателей вследствие износа деталей происходит уменьшение этого угла,

поэтому основной целью диагностирования и регулировочных работ является установка угла опережения впрыска в пределы, регламентируемые заводом-изготовителем. Другой пример: при чрезмерном расходе масла вследствие износа деталей цилиндропоршневой группы проводится текущий ремонт двигателя с заменой этих деталей с целью снижения расхода масла до начального норматива $G_{м0} = 0,5 \%$ от расхода топлива.

При разработке электронных систем распознавания указываются требования к форме осциллограммы сигнала, временным, амплитудным, частотным и другим характеристикам, к их нормализации и квантованию диагностических параметров (сигналов).

Нормализация – это приведение образа (диагностического сигнала) к нормальным условиям с целью сравнения с эталоном. При квантовании признака, который изменяется, непрерывный признак разбивается на поддиапазоны. Например эталонное напряжение 220 В имеет поддиапазоны «нормальное напряжение $200 \text{ В} < U < 233 \text{ В}$ », «Пониженное напряжение $U < 200 \text{ В}$ », «Повышенное напряжение $U > 233 \text{ В}$ ». Сигнал текущих значений диагностического сигнала (параметра) получают при переходе границы поддиапазонов и микропроцессор обрабатывает сигнал.

Нормирование параметров рабочих процессов (электрическое напряжение, ток, давление, затраты ресурсов, температура и т. п.) традиционно проводится для оценки технического состояния любой системы. Как уже указывалось, диагностические нормативы разделяют на две группы: установленные стандартами и обусловленные нормативно технической документацией заводов-производителей.

Первая группа – диагностические нормативы, которые характеризуют техническое состояние механизмов и узлов, которые обеспечивают безопасность движения и негативно влияют на окружающую среду: тормозной путь, время срабатывания привода торможения, тормозные силы на колесах, наличие вредных компонентов отработавших газов, уровень шума и т. п.

Вторая группа – диагностические нормативы, связанные с техническими допусками структурных параметров или с оптимальными показателями надежности и экономичной работы автомобиля. Нормативы структурных параметров устанавливаются на стадии проектирования и конструирования автомобиля, например, зазоры в клапанном механизме, контактах прерывателя, кривошипно-шатунном механизме, шкворневом соединении, углы установления колес и т. п.

Среди нормативных параметров первой и второй групп выделяется промежуточная группа, которая характеризуется невозможностью использования единого норматива для различных условий эксплуатации. Эти параметры связаны с повышенным расходом топлива, снижением мощности двигателя, износом шин, снижением надежности деталей и узлов и т. д. Особенностью нормативов данной группы их является значительная зависимость от условий эксплуатации, «старости» автомобиля. В силу этого следует корректировать нормативы в соответствии с конкретными условиями эксплуатации.

5.8.2 Нормирование номинальных значений диагностического параметра

Достоверность определения номинальных значений диагностических параметров существенно зависят 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. 5.15) механизмов машин на стадии изготовления является показателем статистического рассеивания их ресурса, который достигает для машин класса качества 3 (см. рис. 2.2) до 30...50 % [24]. 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.

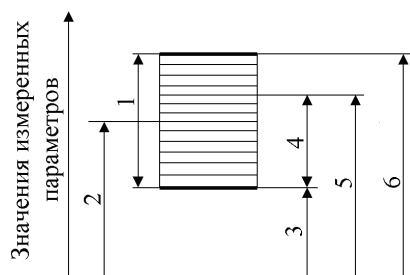


Рис. 5.15. Схема иллюстрации разброса исходных параметров

На рис. 5.15 показано: 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.

Нормирование исходных и предельных диагностических параметров транспортных машин производится в основном статистическими методами.

Сложные математические модели дале-

ко 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 желанием полного описания и технико-экономическими возможностями это осуществить в реальных условиях при известных экспериментально-теоретических ограничениях, тре-

бованиях 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.

Доводка машин (агрегатов) на стадии изготовления до заданной нормы H_H позволяет значительно снизить разброс параметров качества изготовления до нижних значений 3 (см. рис. 5.15). Однако и после такой доводки в эксплуатацию поступают машины с разными исходными значениями параметров технического состояния, с верхним предельным нормативным значением 6 и нижним значением лучшего качества 3 (см. рис. 5.15).

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. Уточненное число автомобилей n , испытанием которых определяется номинальное значение параметра, можно найти по формуле

$$n \geq [t(p)/\varepsilon]^2 \sigma^2, \quad (5.15)$$

где $t(p)$ – требуемая надежность определения номинального значения параметра; ε – требуемая точность определения номинального значения параметра; σ – средняя квадратичная ошибка определения номинального значения параметра.

Разброс значений параметров требует фиксации номинального значения Π_H или интервала номинальных значений:

$$\Pi_H = \bar{\Pi} + KS, \quad (5.16)$$

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 $P \geq 0,95$.

Главная трудность при теоретическом распределении заключается в выделении из совокупности параметров той части данных, которая отвечает исправному состоянию. Для этого проводят несколько последовательных расчетов, при которых изменяются границы выборки $S_{\min} \dots S_{\max}$. Границы $S_{\min} \dots S_{\max}$ должны иметь номинальное значение S_i . Параметры теоретического закона рассчитываются вероятностными методами по гистограмме распределения. Закон считается подобранным, если вероятность согласования его с гистограммой, которая определяется по критерию « χ^2 -квадрат» Пирсона в пределах $S_{\min} \dots S_{\max}$, будет большей, но не ниже 0,3.

Значения интервала ΔS для построения гистограммы определяют по формуле Стьеджфса:

$$\Delta S = (S_{\min} - S_{\max}) / (1 + 3,3 \lg N_S), \quad (5.17)$$

где N_S – количество опытных данных, которые находятся внутри интервала $S_{\min} \dots S_{\max}$.

Порядок определения нормативов для этой группы следующий:

- 1 провести разовое измерение диагностического параметра у 40...60 автомобилей, которые находятся в эксплуатации;
- 2 полученные значения параметров расставить в порядке их увеличения. Выбрать сначала группы выборки $S_{\min} \dots S_{\max}$, которые имеют номинальное S_H ;
- 3 определить для выборки $S_{\min} \dots S_{\max}$ интервал ΔS по формуле Стьеджера, построить гистограмму, определить среднее значение S_{cp} и дисперсию D_S ;
- 4 по значениям S_{cp} и D_S определить теоретический закон распределения $f(S)$ и найти по критерию Пирсона вероятность его согласования с гистограммой в диапазоне $S_{\min} \dots S_{\max}$;
- 5 последовательно изменять границы выборки так, чтобы вероятность согласования заново рассчитанных теоретических законов увеличилась;
- 6 используя подобранный теоретический закон $f(S)$ и принятый уровень вероятности ($P \leq 0,85$ или $P \geq 0,95$), определить диапазон рассеивания диагностического параметра, границы которого и будут нормативами для данных условий. Для нормального закона распределения они составляют:

$$A_{0,85} = S_{cp} \pm 1,5\sqrt{D_S}; \quad (5.18)$$

$$A_{0,95} = S_{cp} \pm 2,0\sqrt{D_S}; \quad (5.19)$$

Определение или коррекция нормативных показателей промежуточной группы проводится на основе статистического метода, предложенного Л. В. Мирошниковым. Суть метода заключается в том, что разовая выборка значений диагностического параметра, который измеряется на достаточной совокупности объектов, будет отвечать как исправному, так и неисправно-

му, состоянию. При этом допускается, что параметры неисправного состояния будут подчиняться другой закономерности распределения, чем соответствующие исправному состоянию. Закономерность рассеивания параметров исправных объектов может быть аппроксимированная вероятным теоретическим законом $f(S)$. На основе теоретического распределения значений параметра для исправного объекта область допустимого в эксплуатации рассеивания диагностического параметра можно ограничить границами с нужным уровнем вероятности исправной работы. Получены таким образом границы и будут нормативными значениями диагностических параметров.

5.8.3 Методы нормирования предельных значений диагностических параметров

Если понятие неисправности задано отраслевой технической документацией (например, в виде ограничений на выходные показатели), условное предельное значение диагностического параметра можно определить путем пересчета на основе аналитической или регрессионной модели. Однако в большинстве случаев понятие неисправности количественно не задано, тогда его определяют субъективно на основе опыта эксплуатации.

Ввиду большого разнообразия условий эксплуатации транспортных машин, режимов работы, исходного технического состояния (см. рис. 2.1, 2.2), 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. А в целом изменение технического состояния машин класса вибрации 1 (см. рис. 2.2), то есть технического уровня разработки Д (см. 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 (см. рис. 2.2) могут значительно отличается 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 [34]:

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 его 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.

5.8.3.1 Нормирование предельных значений диагностического параметра методом толерантных границ

При этом методе в качестве предельных значений принимаются так называемые толерантные границы функции распределения величин параметра, внутри которых с вероятностью γ содержится доля P генеральной совокупности значений параметров.

При обработке статистического материала вначале из исходной выборки удаляются значения, не характерные для естественного процесса изменения технического состояния (согласно ГОСТ 11.002–73). Затем согласно ГОСТ 11.006–74 проверяется гипотеза о нормальности распределения по одному из критериев (например, по критерию χ^2 -Пирсона).

Определение предельного значения Π параметра проводится на основе выделения толерантных границ нормального распределения по формулам

$$\begin{aligned}\Pi_{\Pi 1} &= \bar{\Pi} + K(P, \gamma, n) \sqrt{\bar{D}_d}; \\ \Pi_{\Pi 2} &= \bar{\Pi} - K(P, \gamma, n) \sqrt{\bar{D}_d},\end{aligned}\tag{5.20}$$

где $\bar{\Pi}$ и \bar{D}_d – выборочное среднее значение и дисперсия параметра (определяются по ГОСТ 11.006–74); K – коэффициент, зависящий от выбранных значений P и γ , а также размера выборки.

В зависимости от физической природы параметра бывает либо двустороннее ограничение ($\Pi_{\Pi 1}$ и $\Pi_{\Pi 2}$), либо одностороннее (Π_{D1} и Π_{D2}).

При двустороннем ограничении при $n > 20$ коэффициент K определяется как

$$K = K_{\infty} \left(1 - \frac{x_j}{\sqrt{2n}} + \frac{5x_j + 10}{12n} \right), \quad (5.21)$$

где величины K_{∞} и x_j находят по таблице квантилей u_P нормального распределения (табл. 5.8). При этом для оценки x_j вероятность P берется равной заданному значению γ , а для нахождения K_{∞} вероятность P_{∞} вычисляется по заданному значению P как

$$P_{\infty} = (1 + P)/2. \quad (5.22)$$

Таблица 5.8

Квантили нормального распределения

P	u_P	P	u_P
0,50	0	0,85	1,036
0,60	0,2533	0,90	1,282
0,65	0,3853	0,98	1,645
0,70	0,5244	0,98	2,054
0,75	0,6745	0,99	2,326
0,80	0,8416	0,999	3,090

При $n \leq 20$ коэффициент K вычисляют по формуле

$$K = K_{\infty} \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{\gamma}^2}} \left(1 + \frac{1}{2n} \right), \quad (5.23)$$

где χ_{γ}^2 находят по таблице критерия κ^2 -Пирсона для вероятностей $P = \gamma$ и числа степеней свободы $n = 1$.

В табл. 5.9 приведены значения коэффициента K для случая двустороннего ограничения параметра в зависимости от значений P , γ и n .

Таблица 5.9

Коэффициент K для двустороннего ограничения параметра

n	$\gamma = 0,90$		$\gamma = 0,99$		n	$\gamma = 0,90$		$\gamma = 0,99$	
	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,90$	$P = 0,95$		$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,90$	$P = 0,95$
5	3,494	4,152	6,612	7,855	14	2,314	2,756	3,029	3,608
6	3,131	3,723	5,337	6,345	15	2,278	2,713	2,945	3,507
7	2,902	3,452	4,613	5,488	20	2,152	2,564	2,659	3,168
8	2,743	3,264	4,147	4,936	25	2,077	2,454	2,494	2,972
9	2,626	3,125	3,822	4,550	30	2,025	2,413	2,386	2,841
10	2,535	3,018	3,582	4,265	35	1,988	2,368	2,306	2,748
11	2,463	2,933	3,397	4,045	40	1,959	2,334	2,247	2,677
12	2,404	2,863	3,250	3,870	45	1,936	2,306	2,200	2,621
13	2,355	2,805	3,130	3,727	50	1,916	2,284	2,162	2,576

При одностороннем ограничении коэффициент K определяют по формуле

$$K = \frac{\left[u_p + u_\gamma \frac{1}{n} \right] \left[1 - \frac{u_\gamma^2}{2(n-1)} + \frac{u_p^2}{2(n-1)} \right]}{1 - \frac{u_p^2}{2(n-1)}}, \quad (5.24)$$

где u_p и u_γ – квантили нормального распределения (см. табл. 5.8), соответствующие вероятностям P и γ .

В табл. 5.10 приведены коэффициенты K для случая одностороннего ограничения параметра.

Вероятности P и γ задают, исходя из следующих соображений: для узлов, обеспечивающих безопасность движения $P = 0,95$ и $\gamma = 0,99$, для остальных функциональных узлов – $P = 0,90$ и $\gamma = 0,90$.

Таблица 5.10

Коэффициент K для одностороннего ограничения параметра

n	$\gamma = 0,90$		$\gamma = 0,99$		n	$\gamma = 0,90$		$\gamma = 0,99$	
	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,90$	$P = 0,95$		$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,90$	$P = 0,95$
5	2,742	3,400			20	1,765	2,208	2,275	2,807
6	2,494	3,091	4,408	5,409	25	1,702	2,132	2,129	2,632
7	2,333	2,894	3,856	4,736	30	1,657	2,080	2,029	2,516
8	2,219	2,755	3,496	4,237	35	1,623	2,041	1,957	2,431
9	2,133	2,649	3,242	3,971	40	1,598	2,010	1,902	2,365
10	2,065	2,568	3,048	3,739	45	1,577	1,986	1,857	2,313
15	1,866	2,329	2,521	3,102	50	1,560	1,965	1,821	2,696

Пример. Определить предельные значения параметра – коэффициента P_{II}/P_3 распределения тормозных сил (отношение суммарной максимальной тормозной силы P_{II} на передних колесах к суммарной максимальной тормозной силе P_3 на задних колесах) автомобиля ГАЗ-2401 по выборке $n = 200$.

Решение. Используем метод толерантных границ, для чего выборку измерений величины $\Pi = P_{II}/P_3$ разобьем на 20 интервалов в пределах $\Pi_{\min} = 0,7$ и $\Pi_{\max} = 1,9$ (из собранных статистических данных) и подсчитываем число измерений m_i , попавших в каждый интервал.

Используя методику ГОСТ 11.006–74, убеждаемся, что закон распределения параметра не противоречит нормальному, что позволяет применить метод толерантных границ. Расчетom установлено значение среднего квадратического отклонения $\sigma = 0,207$.

Поскольку параметр Π связан с безопасностью движения, то задаем $P = 0,95$ и $\gamma = 0,99$.

По табл. 5.8 находит

$$x_\gamma = u_{0,95} = 1,645; \quad K_\infty = u'_p,$$

где $P = (1+0,95)/2 = 0,975$; $K_{\infty} = u'_{0,95} = 2,041$.

По формуле (5.21) при $n > 20$ подсчитываем

$$\begin{aligned} K(P, \gamma, n) &= K(0,95; 0,99; 200) = \\ &= 2,041 [1 + 1,645/\sqrt{2 \cdot 200} + (5 \cdot 1,645 + 10)/12 \cdot 200] = 2,43. \end{aligned}$$

По формуле (5.20) находим граничные значения параметра при $\sigma = 0,207$

$$П_{II}^{\min} = 1,25 - 2,43 \cdot 0,207 = 0,747;$$

$$П_{II}^{\max} = 1,25 + 2,43 \cdot 0,207 = 1,753.$$

Округляя с точностью до 0,01, получим интервал $П_{II} = 0,75...1,75$.

5.8.3.2 Нормирование предельных значений диагностических параметров статистическими методами

Обоснование выбора предельных значений диагностического параметра. 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 [34, 35] (см. подразделы 5.2, 5.6).

Нормирование. Эксплуатационные нормы предельных значений диагностического параметра для ресурсных элементов можно определять по формуле

$$П_{II} = \bar{P} + KS + \Delta П_{III}, \quad (5.25)$$

для функционального спадающего параметра

$$П_{II} = \bar{P} + KS + \Delta П_{IIC}, \quad (5.26)$$

где \bar{P} – среднеарифметическое значение параметра серийного выпуска агрегатов и машин; $\Delta П_{III}$ – предельное приращение параметра в эксплуатации над номинальным значением (5.16); $\Delta П_{IIC}$ – 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, отрегулированных изделий не должны превышать норму параметра (5.25) проектного качества стадии поставки. При не-

полном восстановлении ресурса, что чаще всего бывает на практике, диагностический параметр не должен превышать проектного качества больше чем на 20...25 %:

$$P_p = \bar{P} + KS \pm \Delta P_{\text{пр}}, \quad (5.27)$$

где P_p – предельное приращение параметра после ремонта (регулировки); $\Delta P_{\text{пр}}$ – снижение или повышение предельного приращения диагностического параметра над номинальным значением.

Достоверность определения параметра $P_{\text{пр}}$ (5.27) зависит от точности определения исходной величины диагностического параметра, 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.

5.8.4 Нормирование допускаемых значений диагностических параметров

Для нормирования допускаемых значений диагностических параметров применяют два метода. Наиболее известен метод, указанный в ГОСТ 21571-76 и дополненный для случая «негладких» реализаций.

Второй метод, предложенный В. М. Михлиным, учитывает связь (допускаемого значения) диагностического параметра со структурным параметром [34, 35].

В первом методе оптимизацию проводят по критерию суммарных затрат на ремонт и регулирование (полное и частичное восстановление элемента) 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. Совокупность реализаций при этом не может быть удовлетворительно описана «веером» плавных кривых (см. рис. 5.9).

Анализ трех схем реализаций диагностического параметра P (см. рис. 5.9) показывает, что они отличаются степенью влияния «предыстории» данного элемента на последующее изменение его технического состояния (см. рис. 2.1), режимов и условий эксплуатации.

Рассмотрим идеальный вариант системы диагностирования, когда состояние объекта линейно зависит от его наработки, а диагностический параметр связан с состоянием так же линейно [32]. Выразим величину наработки до предельного состояния некоторым законом распределения вероят-

ностей $f(x)$.

Если выбрать величину допустимого диагностического параметра P_d , как показано на рис. 5.1, 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_d . 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 q_1 на рис. 5.1 выражается выделенной площадью под кривой плотности вероятностей.

5.8.5 Нормирование предельных приращений вибрационных диагностических параметров в эксплуатации машин

Для расчета численных значений предельных вибрационных диагностических параметров используют статистические модели, разработанные на базе найденного соотношения между предельными и исходными значениями структурных и вибрационных параметров. Предельные значения максимального приращения вибрационного параметра в эксплуатации (ΔL) над исходным (ΔL_H) для функциональных (ΔL_Φ) и ресурсных (ΔL_Π) элементов подшипниковых узлов и зубчатых передач определяют из соотношения [27, 43, 44]

$$\Delta L_\Phi = \frac{\delta_\Phi}{\delta_H} = \frac{L_\Phi}{L_H} = 2 \dots 2,5 \text{ раза}; \quad (5.28)$$

$$\Delta L_\Phi = \frac{L_\Phi}{L_H} = 20 \cdot \lg(2 \dots 2,5) = 6 \dots 8 \text{ дБ};$$

$$\Delta L_\Pi = \frac{\delta_\Pi}{\delta_H} = \frac{L_\Pi}{L_H} = 8 \dots 10 \text{ раз}; \quad \Delta L_\Pi = \frac{L_\Pi}{L_H} = 20 \cdot \lg 10 = 20 \text{ дБ}. \quad (5.29)$$

В формулах (5.28), (5.29) $\delta_\Phi(L_\Phi)$, $\delta_\Pi(L_\Pi)$ – зазоры (уровни вибрации) функциональных и ресурсных параметров элементов предельного состояния (по технической документации), а $\delta_H(L_H)$ – выходного.

Предельное приращение мощности энергии (ΔL_M) ($L_{\Pi O}$), возбуждаемой неисправностями ресурсных элементов (5.29) в области несущей частоты, по сравнению с исходным спектром огибающей ($L_{\Pi O}$)

$$\Delta L_M = \frac{L_{\Pi O}}{L_{\Pi O}} = 10; \quad 20 \cdot \lg 10 = 20 \text{ дБ}, \quad (5.30)$$

где $L_{\Pi O}$ – предельное увеличение в 10 раз энергии огибающей спектра или гармонических составляющих вибрации, возбуждаемой неисправностями или группой неисправностей ресурсных элементов (5.29) в выбранной полосе частот.

Приведенные расчетные приращения (ΔL_{II}) для ресурсных элементов (5.29) хорошо согласуются с опытом для несложных редукторов. Для коробок передач, в которых одновременно находится в зацеплении много шестерен, на приращение ΔL_{II} оказывает влияние общий суммарный зазор передачи (шестерен, находящихся в зацеплении). В результате измеряемые значения ΔL_{II} в третьоктавных полосах уменьшаются. Для нормирования вибрации требуется эксперимент с узкополосным анализом составляющих спектра зубозацеплений.

Предельное приращение вибрации ресурсных элементов над исходным при контроле вибрации на резонансной частоте (L_P) определяется из соотношения

$$\Delta L_P = K \frac{L_{II}}{L_I} > 10 \text{ до } 20 \dots 35 \text{ раз; } 20 \cdot \lg 20 \dots 35 = 26 \dots 30 \text{ дБ,} \quad (5.31)$$

где K – коэффициент усиления вибрации в точке контроля, который зависит от характеристики канала проводимости вибрации при проявлении резонансных явлений.

Максимальное усиление вибрации наступают при совпадении вынужденной и собственной вибрации элементов конструкции и составляет $K = 3,5$.

Из зависимостей (5.28), (5.29) вытекает, что изменение диагностического параметра по зазору и вибрации при переходе механизма из одного класса технического состояния в другой отвечает увеличению исходного зазора в 2,5 раза, вибрации – на 8 дБ, а увеличение их значений в 8...10 раз (20 дБ) относительно исходных, есть предельная величина.

Для оценки и обеспечения качества эксплуатации машин и механизмов (агрегатов) разрабатывают статическую модель нормирования исходных значений вибрационного диагностического параметра эксплуатационных норм вибрации, которая позволяет учитывать качество проектирования и изготовления в расчетах исходного (L_I) диагностического параметра путем определения коэффициента вибрационной перегрузки (K_{II}) и относительного рассеяния σ_L в допустимом интервале в каждой контролируемой полосе частоты вибрации

$$L_{II} = \bar{L} + l \cdot S \quad \text{и} \quad L_{II} = \bar{L} + l \cdot S - K_{II} \cdot \sigma_L, \quad (5.32)$$

где σ_L – среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического значения вибрации, $\sigma_L = S / \sqrt{n-1}$.

Величина нормированных предельных значений вибрационного диагностического параметра эксплуатационных норм вибрации определяется как алгебраическая сумма исходного уровня L_I и предельного прироста вибрации (5.28), (5.29).

$$L_{II} = L_I + \Delta L. \quad (5.33)$$

За норму вибрации нижней границы поля допуска принимается

$$L_H = L_H - l \cdot S \quad (5.34)$$

как допустимое снижение ниже установленной нормы (5.32), что является показателем нарушения качества сборки и технического состояния (ослабление крепления, проворачивание вала без шпонки, проскальзывание в сопряжениях элементов и т.д.), а в эксплуатации машины – отключение отдельных элементов, агрегата или прицепных механизмов, уменьшение частоты вращения, мощности, давления в гидropневмосистемах, ослабления натяга ремня и т.д.

Для контроля качества регулировочных работ, текущего и капитального ремонта отдельных агрегатов и комплектации машин разрабатываются нормы на 80 % и 100 % восстановление проектного ресурса. Для 100 % восстановления ресурса уровни вибрации отремонтированных изделий не должны превышать нормы качества изготовления (5.32). При 80 % восстановлении ресурса уровни вибрации по всему спектру третьоктавных значений не должны превышать более чем на 4 дБ нормы (5.32) качества изготовления.

5.8.6 Нормирование классов качественной оценки технического состояния по вибрационным параметрам

Методы нормирования классов оценки технического состояния объектов диагностирования по вибрационным параметрам ресурсных элементах приведены на рис. 5.16.

Значение диагностических параметров и методы их определения, дБ	Диапазоны вибрации, дБ	Классы качественной оценки	
		технического состояния	регулируемых работ
		Недопустимо	Недопустимо
		Требуется принятие мер	(текущий ремонт)
		Допустимо	Недопустимо (замена элемента)
		Хорошо	Неисправность (регулирование с обкаткой)
			Допустимо
		Допустимо	Предельно допустимо
		Требуется принятие мер	Регулирование
		Недопустимо	Недопустимо

Рис. 5.16. Вибрационные нормы классов качественной оценки технического состояния и проведения регулировочных работ

Классификационные диапазоны эксплуатационной вибрации и шкалу

качественной оценки технического состояния, регулировочных и ремонтных работ разрабатывают для ресурсных и функциональных элементов машин (рис. 5.16). При этом изменении вибрации (5.24) от исходного (5.32) до предельного параметра (5.33), (5.24) ресурсные элементы разбивают на классы вибрационного состояния: «отлично», «хорошо», «допустимо», «требует употребления мер», «недопустимо» с разностью интервалов между близлежащими областями (зонами) в 4 дБ. Величина в 4 дБ увеличения или снижения исходной вибрации ресурсных элементов указывает на изменения вибрационного состояния – наличие неисправности, а разность в 8 дБ свидетельствует об изменении на уровне перехода механизма в другой класс технического состояния. Диагностирование вида дефекта и состояния механизма осуществляется методом сопоставления текущих значений вибрации с нормированными значениями.

Нормирование эксплуатационной вибрации в зависимости от сложности механизма машины проводится в широких полосах частот, в третьоктавных полосах и на дискретных частотах проявления неисправностей в каждой контрольной точке.

Приведенные построения шкал классификаций состояния механизмов на стадии изготовления и ремонта, а также на стадии эксплуатации (см. рис. 5.16) не ограничены конкретным агрегатом машины и видами неисправностей.

5.9 Диагностические параметры электрических и электронных систем, их выбор и нормирование

Особенностью современных автомобилей является все более широкое использование электроники, на которую возлагаются функции контроля параметров рабочих процессов и их технического состояния для оптимизации управления системами автомобиля и автоматического диагностирования. Контроль состояния всех технических систем автомобиля осуществляет бортовой компьютер. Во многих случаях диагностирования сложных неисправностей внешними средствами требуется выбор точек контроля и диагностических параметров.

Основными объектами электронных систем диагностирования (контроля) являются: работоспособность ЭВМ и компонентов электронных систем, систем автоматического управления, электронных блоков управления и передача данных между блоками, элементами управления и бортовыми системами контроля и диагностирования.

Основными диагностическими параметрами являются сопротивление, ток, напряжение, форма диагностических сигналов датчиков, температура элементов схем, замыкание в цепи и внутренние обрывы компонентов. Существует определенный уровень этих параметров, которые являются критерием исправности датчика электронной или электрической системы. Диагностирование состоит в анализе сигналов включения и выключения, изменений рабочего цикла и т.д.

Выбор диагностических параметров. При выборе диагностических

параметров изделия или системы электрооборудования руководствуются следующими принципами.

Первый принцип заключается в том, что структурные и выходные диагностические параметры объекта должны обеспечивать оценку его технического состояния без разборки. А это означает, что диагностическим параметром становятся выходные рабочие процессы изделия или системы. К таким диагностическим параметрам можно отнести вторичное напряжение катушки зажигания, длительность искрового разряда на свечах зажигания, ток электростартера при полном торможении якоря и другие электрические характеристики.

Второй принцип – это однозначность диагностического параметра, то есть в процессе эксплуатации за определенный пробег автомобиля или за определенное количество часов работы двигателя трактора параметр изменяется монотонно, а не скачкообразно.

Третий принцип – стабильность диагностического параметра, что означает нахождение конструктивного параметра изделия внутри заданного точностного интервала его изменения. Примером может служить выходное напряжение генераторной установки, пределы изменения которого определяет регулятор напряжения.

Четвертый принцип выбора диагностического параметра – его чувствительность, то есть изменение его приращения при изменении конструктивного параметра изделия в процессе расходования своего ресурса должно принимать положительное значение.

Пятый принцип – информативность диагностического параметра. Это комплексное свойство, объединяющее все предыдущие и характеризующее снятие неопределенности при определении технического состояния объекта диагностирования. Оно сводит к минимуму возможность принять фактически неисправный по техническому параметру объект диагностирования за исправный (ошибка первого рода) и наоборот (ошибка второго рода), используя выбранный диагностический параметр.

Поэтому сложился определенный порядок выбора диагностического параметра изделий и систем электрооборудования:

- выявляют наиболее часто повторяющиеся отказы и повреждения по данным подконтрольной эксплуатации или по результатам эксплуатации;
- анализируют причинно-следственные связи неработоспособных или исправных элементов изделия с его выходными параметрами;
- составляют функциональную схему структурно-следственных связей по цепи: агрегат или сборочная единица – сопряжение или элемент – структурный параметр – характер неисправности – симптом – диагностический параметр.

Информативность признаков – это величина, количественно характеризующая пригодность признаков или их набора для распознавания классов отказавших и не отказавших объектов. С физической точки зрения, информативность отражает степень взаимосвязи выбранных признаков с процессами, приводящими к неисправности или отказу.

Информативность набора признаков равна сумме информативности отдельных признаков только при их независимости. В этом случае на основании информативности отдельных признаков можно составлять наиболее информативный набор.

Если признаки зависимы друг от друга, то информативность набора не выражается через информативность отдельных признаков. В этом случае выбор наиболее информативных наборов признаков является самостоятельной задачей.

Основными методами диагностирования единичных неисправностей в электрических и электронных системах являются: достоверность максимальных и минимальных значений напряжения, тока, сопротивления, формы, уровня периодичности и длительности сигнала, амплитуды и частоты. Поиск неисправностей осуществляется путем замены элементов, шунтированием, подачей сигнала и контролем его прохождения, контролем электрических проводов, индикацией вида неисправности с помощью индикаторной лампы, повторной пайкой, настройкой обходной цепи, индикацией вида неисправности с помощью прибора для сканирования, индикацией неисправности с помощью тестера осциллографа. Типичными неисправностями являются: сбой в работе, замыкание, нарушение заземления, обрыв цепи, нарушение разъемов и ослабление креплений.

Интегрированная в блок управления система диагностики относится к основным электронным системам управления агрегатами автомобиля. Алгоритмы контроля тестируют входные и выходные сигналы во время штатной работы автомобиля. Кроме того вся система проверяется на ошибки и неисправности, при этом распознанные ошибки фиксируются в памяти блока управления. При диагностике автомобиля на станции технического обслуживания эти сведения считываются через последовательный интерфейс и помогают быстро распознать неисправность и произвести ремонт.

Электронный блок управления, как правило, принимает электрические сигналы от датчиков, обрабатывает их и генерирует управляющие сигналы, которые поступают на исполнительные механизмы. Программы для замкнутого контура управления заложены в память блока управления. Реализация программ осуществляется микроконтроллером. Компоненты блока управления называются аппаратными средствами. Блоки управления содержат все алгоритмы замкнутого и разомкнутого контуров управления, необходимых для реализации процессов управления агрегатами автомобиля.

Нормирование диагностических параметров. Основными измеряемыми величинами в электрических и электронных системах являются:

- электрические (напряжение, сила тока, сопротивление, емкость, индуктивность, намагниченность);
- механические (путь, угол, наклон, уровень, скорость, частота вращения, ускорение, сила, давление, момент и др.);
- термические (температура);
- химические и физические (влажность, теплопроводность, рН-значения, содержание пыли, содержание пара, интенсивность, длина волны, цвета, молекулы газа, жидкости, твердого тела и др.).

Качество работы объектов автомобильного электронного оборудования определяется параметрами их начальных и текущих характеристик, которые принято определять количественными значениями, точнее, их размещением относительно определенных установленных нормируемых пределов.

Определенное качество объекта (элемента) диагностирования, которое характеризуется функцией $E(x)$, зависит от определенного начального нормируемого параметра X объекта. Это, например, вероятность выполнения объектом поставленных заданий в зависимости от отклонения значения x параметра от его номинального значения x_H (рис. 5.17) [6].

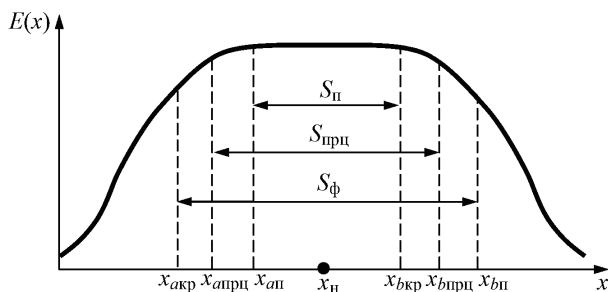


Рис. 5.17. Зависимость функции качества объекта от начального параметра

Критические значения параметра $x_{акр}$ и $x_{бкр}$ определяют область функционирования объекта, в которой

$$x_{акр} \leq x \leq x_{бкр}. \quad (5.35)$$

За пределами этой области функция объекта уменьшается настолько, что он не выполняет своих задач. Выход значений параметра за пределы $x_{акр}$ и $x_{бкр}$ означает предель-

ное состояние, когда последующая эксплуатация объекта невозможна, учитывая снижение эффективности объекта или же учитывая требования безопасности. Поэтому назначается область $S_{рб}$ работоспособных состояний объекта, в которой значения параметра должны быть в допустимых пределах

$$x_{акр} \leq x \leq x_{бкр}. \quad (5.36)$$

Это неравенство является условием работоспособности объекта, а диапазон приемлемых значений параметра $x_{акр} \dots x_{бкр}$ – полем допуска параметра X .

В процессе эксплуатации выход значений параметра за пределы работоспособности, то есть за пределы допусков $x_{акр}$ и $x_{бкр}$, недопустим. Поэтому для параметра X объекта устанавливается поле предупредительных допусков $S_{п}$ с пределами $x_{ап}$ и $x_{бп}$. При этом

$$|X_{бпрц}| - |X_{бп}| \geq 0; \quad |X_{ап}| - |X_{апрц}| \geq 0; \quad S_{п} \subset S_{прц}.$$

Предупредительные допуски создают запас работоспособности, обеспечивающий при периодическом контроле с одновременным проведением профилактических (восстановительных) работ безотказную работу объекта до очередной проверки, а при непрерывном контроле – до начала выполнения восстановительных работ.

В зависимости от количества регламентированных границ различают

двухсторонние и односторонние поля допусков. Для двухсторонних полей допусков устанавливают две границы. Примерами двухсторонних полей могут служить допуски на регулируемые напряжения и частоту тока бортовых генераторов, на сопротивление резисторов и потенциометров, на погрешности приборов и т.п.

Для односторонних полей допусков регламентируется только одна граница. Такие поля устанавливают, когда значения параметров должны размещаться в одних случаях в зоне $x_a \dots \infty$, а в других – в зоне $0 \dots x_b$. Например, для переходных сопротивлений контактов задают лишь максимальные значения. И наоборот, для сопротивления изоляции электрических проводов задают только минимально допустимое значение. Графическое изображение разновидностей полей допусков показано на рис. 5.18 [6].

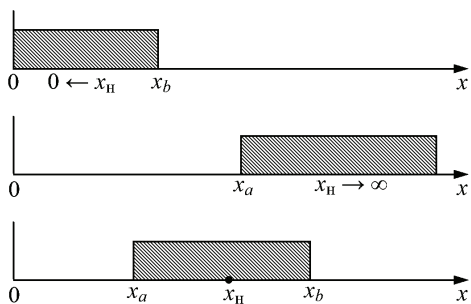


Рис. 5.18. Поля допусков на параметр:
 а – одностороннее поле с верхним пределом;
 б – двухстороннее поле с нижним пределом;
 в – двухстороннее поле

Двухсторонние поля могут быть симметричными и несимметричными относительно номинального значения параметра x_n . Коэффициент несимметрии (или асимметрии) определяется как отношение меньшей по абсолютному значению разности $|x_b - x_n|$ или $|x_n - x_a|$ к большей:

$$K_x = |x_b - x_n| / |x_n - x_a|$$

или

$$K_x = |x_n - x_a| / |x_b - x_n|,$$

где K_x – коэффициент несимметрии поля допуска параметра X .

Контрольные вопросы

- 1 Каково назначение диагностического параметра?
- 2 Какие задачи решаются при выборе диагностического параметра?
- 3 Что значит определить оптимальное число диагностических параметров?
- 4 Что значит допустимое значение диагностического параметра?
- 5 Охарактеризуйте две группы диагностических нормативов.
- 6 Объясните на примерах взаимосвязь структурных и диагностических параметров.
- 7 Приведите примеры параметров выходных и сопутствующих процессов.
- 8 Представьте схематически взаимосвязь диагностических параметров со структурными: единичную связь, множественную, неопределенную и комбинированную связь.
- 9 Приведите зависимости изменения диагностических параметров от наработки: однозначность, стабильность, чувствительность и информативность.
- 10 Почему диагностические параметры должны иметь доступную стоимость и небольшое время замера?
- 11 Что означают понятия технологичность и удельная стоимость диагностирования?

- 12 Охарактеризуйте понятия структурный и диагностический параметр.
- 13 Приведите характерные кривые отклонения диагностического параметра состояния элементов автомобиля по мере наработки.
- 14 Объясните понятие ресурсный параметр.
- 15 Объясните понятие функциональный параметр.
- 16 С точки зрения состояния объекта объясните понятие исходный диагностический параметр, допустимый и предельный.
- 17 Назовите методы определения нормативных значений диагностических параметров.
- 18 Представьте графически типовую кривую износа пар трения. Охарактеризуйте изменения зазора в жизненном цикле пары трения.
- 19 Приведите критерии оценки предельного состояния зазора в паре трения.
- 20 Приведите примеры оценки технического состояния по техническому, функциональному и технико-экономическому критерию.
- 21 Представьте схему и формулу нормирования номинальных (исходных) значений диагностических параметров.
- 22 Какие методы нормирования предельных значений диагностических параметров существуют?
- 23 Приведите формулу нормирования предельных значений диагностических параметров статистическими методами.
- 24 На чем основаны методы нормирования предельных значений вибрационных диагностических параметров механических систем автомобиля?
- 25 Как нормируются классы качественной оценки технического состояния ресурсных параметров по вибрационным параметрам?
- 26 Расскажите о пяти принципах выбора диагностических параметров электрических и электронных систем автомобиля.
- 27 Как можно нормировать диагностические параметры электронных систем?

6 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

6.1 Классификация методов диагностирования автомобилей

По данным исследований, до 30 % автомобилей эксплуатируются со значительным недоиспользованием мощности и перерасходом топлива. Порядка 50 % потерь мощности и экономичности этих автомобилей могут быть восстановлены несложными регулировками в АТП [25].

Для проектирования диагностического обеспечения автомобилей, их доводки, диагностирования отдельной системы в эксплуатации, требуется большой арсенал теоретических, эвристических и эмпирических методов.

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.

Методы диагностирования разделяются 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, 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. 6.1).

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).

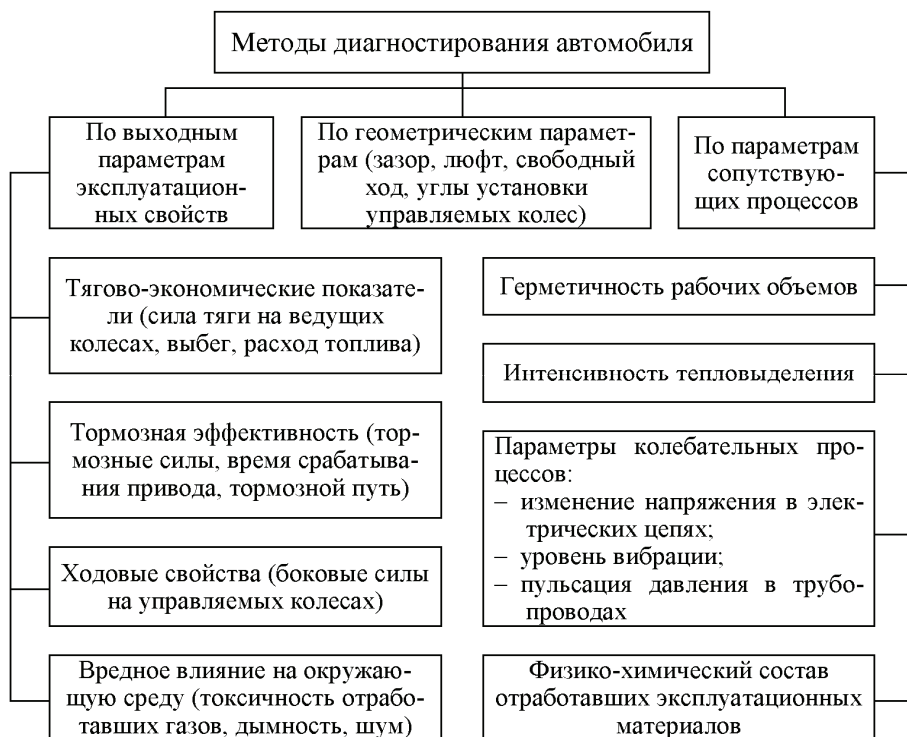


Рис. 6.1. Классификация методов диагностирования автомобилей

В табл. 6.1 показаны основные группы интеллектуальных и инструментальных методов. В каждой группе методов показаны их виды, дана характеристика и указана область применения. Все представленные в табл. 6.1 методы достаточно подробно описаны в работах [5, 37].

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 следующие работы [5, 13, 19, 21, 22, 23, 38].

В зависимости от периодичности применения методы диагностирования разделяют применяемые в плановом, регламентированном и во внеплановом, заявочном порядке. Плановым диагностированием решают задачи проверки работоспособности, а также определения остаточного ресурса агрегатов и машины в целом. С этой целью из всей совокупности диагности-

Классификация методов диагностирования и область их применения

Виды методов	Области применения
1	2
1 Интеллектуальные системы	
<p>Органами чувств человека – органолептические.</p> <p>Теоретические.</p> <p>Эвристические.</p> <p>Экспертные.</p> <p>Опросы и интервью.</p> <p>Когнитивный анализ и отбор информативных диагностических признаков.</p> <p>Логические, математическая логика.</p> <p>Логическая алгоритмизация выбора диагностических параметров и поиска дефектов и неисправностей.</p> <p>Структурно-следственные и функционально-структурные методы распознавания неисправностей.</p> <p>Детерминированные.</p> <p>Статистические.</p> <p>Математического моделирования.</p>	<p>Фундаментальные теоретические познания объектов, методов, средств и ключевых понятий диагностики на стадиях конструирования, изготовления и эксплуатации двигателей.</p> <p>Определение взаимосвязей, обобщение, систематизация, обоснование и принятие решений.</p> <p>Разработка диагностического обеспечения, моделирование, алгоритмизация и программирование процессов диагностирования</p>
2 Неразрушающий контроль	
<p>Магнитный.</p> <p>Электрический по регистрации электрических полей.</p> <p>Вихревой.</p> <p>Визуально-оптический.</p> <p>Радиоволновой.</p> <p>Тепловой.</p> <p>Радиационный.</p> <p>Оптический.</p> <p>Акустический.</p> <p>Проникающих веществ.</p> <p>Акустической голографии</p>	<p>Контроль качества материалов, технологических процессов, конструкций, соединений деталей при изготовлении, ремонте и эксплуатации автомобилей, прогнозирование остаточного ресурса деталей и конструкций</p>
3 Распознавание технического состояния геометрических форма и рабочих процессов по эталонам, маскам и нормативным параметрам	
<p>Сравнение с эталонным образцом.</p> <p>Совмещение с опорным спектром процесса.</p> <p>Сравнение показаний измерительного прибора с показаниями эталонного прибора.</p> <p>Сравнение текущих значений диагностического параметра с нормативным значением</p>	<p>Создание программного обеспечения автоматизированных бортовых, переносных и стационарных систем диагностирования с элементами распознавания неисправностей, прогнозирования остаточного ресурса</p>
4 Тепловые и оптические	
<p>Измерение теплового инфракрасного излучения.</p> <p>Контактные методы.</p> <p>Неконтактные методы.</p> <p>Электронно-оптические преобразователи.</p>	<p>Тепловой контроль перегрева деталей и узлов трения, электрических контактов, электрических соединений, электронной аппаратуры.</p>

1	2
<p>Термография. Ультразвуковые. Оптико-электронные Визуальные (эндоскопы, энтроскопы). Измерение отражаемого света. Оптические лазерные методы</p>	<p>Визуально-оптический контроль, обнаружение трещин, расслоения, отклонения геометрических форм от заданных, измерение дымности, контроль качества масла</p>
5 Газоаналитические	
<p>Методы химического анализа состава отработавших газов двигателя. Методы инфракрасного излучения (поглощение отдельных газов)</p>	<p>Контроль общего технического состояния ЦПГ, состава топливной смеси, системы подачи и сгорания топлива, электрооборудования системы управления двигателем по составу отработавших газов газоанализаторами</p>
6 Контроль износа трущихся деталей и смазки	
<p>Микрометрирование. Профилографирование. Взвешивание. Метод искусственных баз. Виброакустический. Тепловой. Калориметрия, химический, активационный и спектральный анализ содержания продуктов износа в масле</p>	<p>Исследование процессов изнашивания и контроль износа пар трения в эксплуатации для определения технического состояния объектов диагностирования</p>
7 Трибодиагностика, физические и физико-химические методы	
<p>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</p>	<p>Исследование процессов изнашивания, разработка бортовых и стационарных систем диагностики, изнашивание и прогнозирование остаточного ресурса. Эксплуатационная диагностика</p>

1	2
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
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 полнотельным и дифференциальным методами). Неравномерность работы цилиндров. Скорость и неравномерность вращения коленчатого вала. Компрессионные свойства цилиндров. Внутрицикловое изменение (колебание) угловой скорости коленчатого вала.	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

1	2
<p>Изменение крутящего момента и угловой скорости вала по углу поворота при равномерной работе цилиндров.</p> <p>Амплитудно-фазовые параметры (осциллограммы) изменения напряжения, тока, сопротивления в первичной и вторичной цепях (переходных процессов) зажигания, давления в цилиндрах.</p> <p>Температура отработавших газов, соответствующая определенным рабочим тактам и порядку работы цилиндров.</p> <p>Величины пульсации давления газовой среды во впускном и выпускном коллекторах и топлива в трубопроводах высокого давления.</p> <p>Осциллограммы скорости нарастания давления топлива в гидравлическом аккумуляторе, давления, создаваемого ТНВД и пульсация давления в топливной системе.</p> <p>Расход топлива в линиях подачи и обратного слива</p>	
11 Диагностирование гидроприводов и гидросистем. Контроль жидкостей	
<p>Статопараметрический.</p> <p>Амплитудно-фазовых и переходных характеристик.</p> <p>Термодинамический.</p> <p>Спектральный анализ и индикация инородных примесей.</p> <p>Силовой метод.</p> <p>Акустический.</p> <p>Виброакустический.</p> <p>Скорость нарастания усилия.</p> <p>Кинематический по скорости перемещения исполнительного элемента (сопоставления и наложения осциллограмм (эталонных).</p> <p>Тепловой.</p> <p>Состояния рабочей жидкости. Ферромагнетизм</p>	<p>Диагностика гидроприводов, гидросистем и отдельных элементов (насосов, топливных систем, систем охлаждения двигателя).</p> <p>Диагностика рабочих процессов в гидросистемах подачи и сгорания топлива.</p> <p>Распознавание источников нестабильных режимов работы двигателя (провалов, рывков, подергивания, вялого разгона)</p>
12 Контроль электрических и электронных систем управления рабочими процессами	
<p>Интеллектуальные, органами чувств человека. Аппаратные и программные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – допускового контроля и диагностики; – сравнение с эталоном и мажоритарного контроля («голосования») и диагностики цифровых и аналоговых систем; – контроль и диагностика с использованием корректирующих кодов (работоспособности цифровых систем) информационных систем. 	<p>Электронные системы управления процессами и режимами работы силовых агрегатов автомобиля.</p> <p>Электронные системы автоматического контроля технических систем (подвески, коробки передач, рулевого управления и др.) автомобиля.</p> <p>Электронные и микропроцессорные системы самоконтроля. Контроль датчиков и исполнительных механизмов</p>

1	2
<p>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.</p> <p>Распознавание сбоев и собственных шумов.</p> <p>Выявление связи между контролируемыми параметрами и характеристиками диагностических систем, определяющих техническое состояние.</p> <p>Факторный анализ определения статистической связи показателей качества диагностической системы.</p> <p>Математическое моделирование.</p> <p>Экспертные оценки номенклатуры контролируемых параметров.</p> <p>Оптимальный выбор контролируемых параметров.</p> <p>Алгоритмы и программы контроля и диагностирования.</p> <p>Тестовое, функциональное и комбинированное диагностирование</p>	

ческих параметров выделяют обобщенные, которые обязательно измеряют во время технического обслуживания. Среди обобщенных есть группа ресурсных диагностических параметров, достижения которыми предельных значений, обуславливает капитальный 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. 6.1).

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 двумя координатами (рис. 6.2) [25].

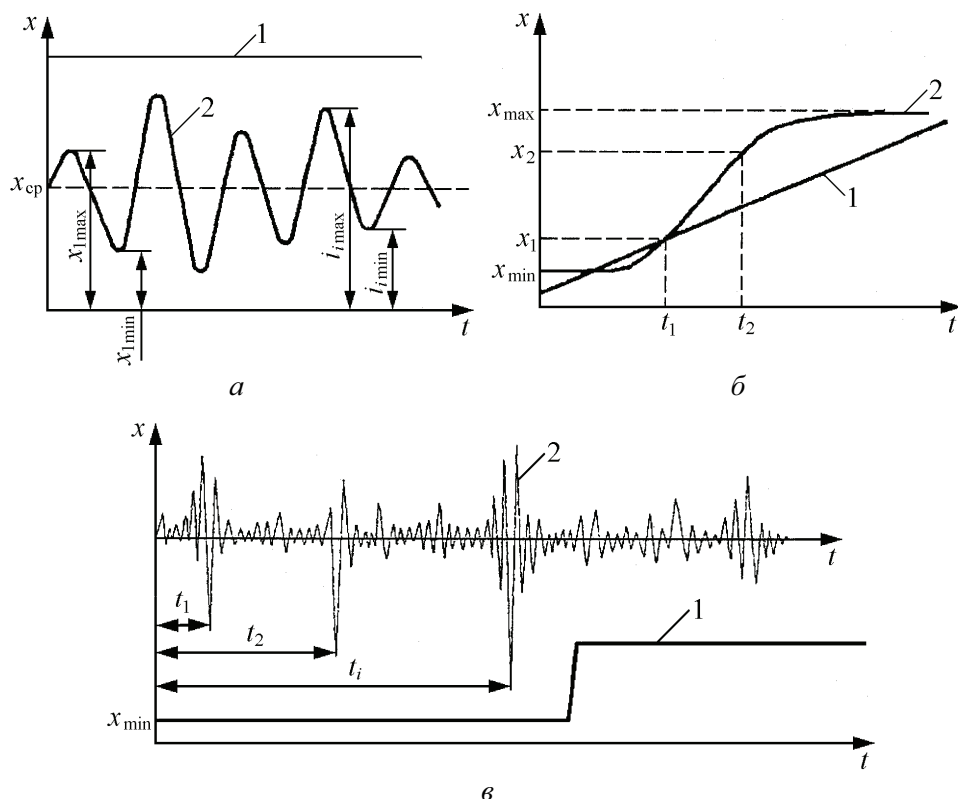


Рис. 6.2. Характер изменения параметров физических процессов:
а – стационарный (1) и пульсирующий относительно среднего значения (2);
б – медленно- (1) и быстропротекающий (2); *в* – скачкообразно изменяемый (1) и в виде виброакустического сигнала (2)

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. 6.3).

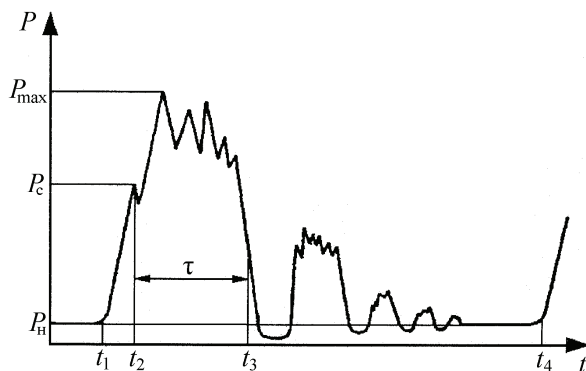


Рис. 6.3. Характер изменения давления у топливпровода дизеля в зависимости от длительности процесса: P_{\max} – максимального, P_c – среднего, P_n – номинального; $t_1 \dots t_4$ – моменты соответствующих значений давления; τ – длительность впрыскивания

Во время работы двигателя это давление изменяется. Физический процесс его изменения за период T может иметь восемь диагностических 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 топливпроводе 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 постоянно 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 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).

6.2 Интеллектуальные методы

Интеллектуальные методы включают прослушивание, осмотр, проверку прикосновением и обонянием. 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 выпускных газов, задымления из сапуна, биения вращающихся частей, натяжения цепных передач и т. п. Прикосновением определяют места и степень ненормального нагрева, биения, вибра-

ции деталей, вязкость, липкость жидкости и т. п. Обонянием обнаруживают по характерному запаху неисправность сцепления, вытекание бензина, электролита, подгорание проводников электричества и т. п.

В процессе любой 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 [5, 30, 37].

Теоретические исследования включают в себя:

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

На их основе выводятся практические следствия и определяются способы их реализации, разрабатываются алгоритмы и программы, оценивается полезный эффект.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности формальные задачи. Логика не приводит к открытиям. Но логика 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. 6.1 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, направления и регулирования поиска решения. Эвристические операции являются разновидностью мышления.

6.3 Инструментальные методы

6.3.1 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.

Прямой и косвенный методы

Прямой – контактный: непосредственное (контактное) измерение конструктивных параметров S_i		Косвенный – диагностический: о техническом состоянии изделия судят по косвенным диагностическим параметрам Π_i
↓ Конструктивные параметры	$S_0 \leftarrow \Pi_0$ $S_1 \leftarrow \Pi_1$ $S_i \leftarrow \Pi_i$ $S_{\Pi,д} \leftarrow \Pi_{\Pi,д}$ $S_{\Pi} \leftarrow \Pi_{\Pi}$	↓ Диагностические параметры
S_i Износ тормозных накладок и барабанов	←	Π_i Тормозной путь Ход тормозной педали
Износ цилиндропоршневой группы двигателя	←	Мощность Компрессия Расход (угар) масла Содержание продуктов износа в масле Прорыв газов в картер
Преимущества методов:		
– точность; – наглядность; – достоверность; – достаточно простой инструмент; – простые технологии.		– не нужна разборка агрегата, системы; – меньшая трудоемкость; – оперативность; – возможность контроля неразбираемых элементов, контроля сложных систем (впрыск, компьютерные системы).
Недостатки методов:		
– необходимость частичной или полной разборки, увеличивающей интенсивность изнашивания; – нарушение приработки; – большая трудоемкость; – невозможность комплексного контроля сложных систем.		– сложность диагностического оборудования; – большая стоимость оборудования и самого контроля; – необходимость периодического метрологического контроля оборудования; – высокие требования к персоналу.

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.

6.3.2 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. 6.1). 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 газораспределению, 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. 6.1).

Методы диагностирования по параметрам сопутствующих процессов дают возможность определять те же параметры рабочих процессов, а также структурные параметры деталей и сопряжений, которые нельзя или нецеле-

сообразно 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, заключающийся 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 имеется высокое содержание свинца, 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. 6.1).

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, прогиба рычагов 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.).

Группа методов по геометрическим параметрам включает в себя методы, оценивающие по герметичности рабочих объемов, степень износа цилиндро-поршневой группы двигателя, работоспособность пневматического привода тормозов, плотность прилегания клапанов и др. путем создания в контролируемом объеме избыточного давления или, наоборот, разрежения, а также определяющие интенсивность падения давления (разрежения).

Методы, оценивающие состояние узлов и систем по параметрам колебательных процессов, широко используются при создании средств технического диагностирования и их можно разделить на три подвида: оценивающие колебания напряжения в электрических цепях (на этой основе созданы мотор-тестеры); определяющие параметры виброакустических сигналов (получаемые при работе зубчатых зацеплений, клапанных механизмов, подшипников и т.д.); измеряющие пульсацию давления в трубопроводах (на этой основе созданы дизель-тестеры для диагностирования дизельной топливной аппаратуры).

Определенное место занимают методы, оценивающие по физико-химическому составу отработавших эксплуатационных материалов состояние узлов и агрегатов. Так, например, спектральный анализ отработавшего масла по наличию и концентрации химических элементов позволяет поставить диагноз работоспособности отдельных узлов и сопряжений агрегата. Если в пробе картерного масла двигателя имеется высокое содержание свинца, то это говорит об износе вкладышей шатунных и коренных подшипников; высокое содержание железа – об износе гильз цилиндров; высокое содержание кремния – о засорении воздушного фильтра и т. д.

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 границами 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. 6.4):

- 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.

Способ последовательного функционального анализа был одним из первых способов построения программ поиска неисправностей. Прежде

всего при этом способе определяются основные функции: генерирования сигналов на выходе устройства; приема и преобразования сигналов; отображения сигналов; управления; электропитания и др. Выполнение этих функций позволяет считать, что и все устройство выполняет поставленные перед ним задачи.

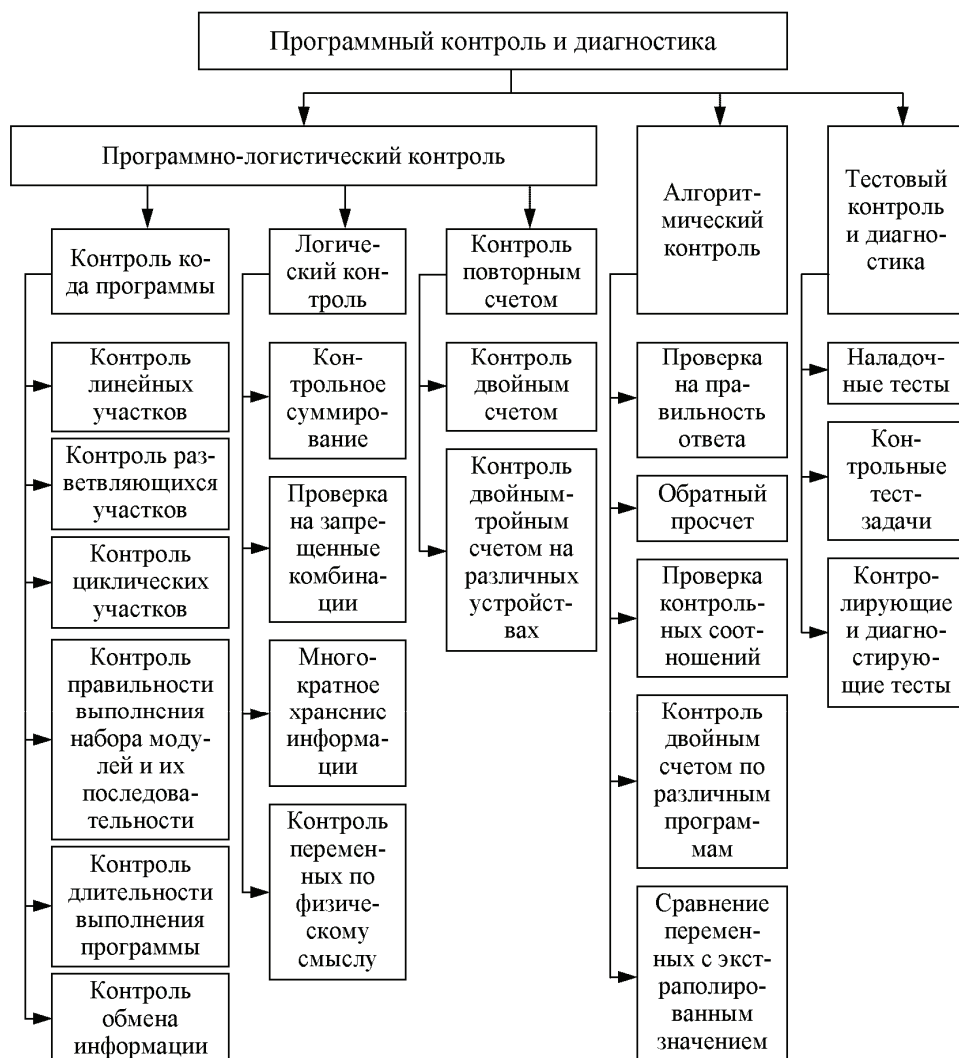


Рис. 6.4. Классификация программно-логических методов контроля и диагностирования

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.

Детальное описание всех методов диагностирования автомобилей описаны в работе [30].

В данное 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.

6.3.3 Энергетические и статодинамические методы

Энергетический способ диагностирования, основан на измерении мощности или амплитуды выходного сигнала. Диагностическим параметром при этом может быть температура (перепад температур), давление, шум, вибрация и другие физические параметры. Современным развитием энергетических способов диагностирования является информационная частотная технология, которая допускает выделение из измеряемого сигнала составляющих в определенных частотных диапазонах и последующий энергетический анализ выделенных составляющих. Энергетический способ при использовании объекта диагностирования на устоявшемся режиме работы служит для оценивания технического состояния механизмов и систем, которые производят, передают или потребляют энергию. Существует несколько разновидностей такого диагностирования: тормозной, парциальный, дифференциальный, бестормозной. Энергетический способ применяют, в первую очередь, для определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания по параметрам мощности. Тормозной способ дает возможность определять эффективную мощность, которая оценивается мерой механической энергии, полученной в результате сгорания топлива в цилиндрах, по реактивной силе или тормозному моменту во время торможения на стенде. Физическая величина – работа, а диагностический параметр – сила.

Во время диагностирования двигателя его режим работы является устоявшимся, сила – практически постоянной. Парциальный способ, для которого объект диагностирования (например, двигатель) работает с частью выключенных цилиндров, дает возможность испытывать его на стендах малой мощности. Он также характеризуется стационарным режимом и постоянным уровнем диагностического параметра. Дифференциальный способ диагностирования по эффективной мощности, при котором измеряется отклонение мощности от номинального значения по отдельным цилиндрам, аналогичен парциальному. Бестормозной способ (без стенда) предусматривает создавать нагрузку на цилиндры работающие двигателя за счет выключенных. При необходимости создают дополнительную нагрузку, например, дроселированием выпускных газов или масла в гидроприводе машины.

Статодинамический метод в процессе диагностирования используется с чередованием устоявшегося и переходного режимов работы объекта диагностирования. Во время диагностирования автотранспортных средств применяют преимущественно устоявшиеся режимы, реже – переходные и очень редко – статодинамические. С применением электронных и автоматизированных средств диагностирования диапазон последних двух методов расширяется. С их помощью определяют техническое состояние автотранспортных средств и их составных частей по параметрам углового ускорения коленчатого вала двигателя (измерение мощности), скорости увеличения и уменьшения давления в магистрали масла (проверка работоспособности гидропривода), время остановки (оценка работоспособности силовой передачи, масляной центрифуги) и т. п.

Статодинамический метод может быть реализован только в автоматизированном средстве диагностирования, потому что измеряет параметр в четко заданных по очередности устоявшемся и переходном режимах. Такие режимы могут быть использованы, например, при измерении затрат топлива, мощности и некоторых других параметров под нагрузкой, которая создается периодическим автоматическим отключением одного или нескольких цилиндров бензинового (дизельного) двигателя.

6.3.4 Оптические методы диагностирования

Самым простым способом обнаружения неисправностей деталей является визуальный осмотр. В труднодоступных местах он затруднен. Поэтому для выявления дефектов в таких ситуациях применяют специальные оптические приборы – технические эндоскопы.

Эндоскопия двигателя проводится с целью качественной оценки величины износа и обнаружения поломок в деталях цилиндро-поршневой группы. Легко выявляются прогар и повреждение клапанов, днищ поршней, головки блока и прокладки головки блока, со стороны камеры сгорания. По следам масла на стержнях и тарелках клапанов, в камере сгорания, на краях днища поршня устанавливают степень износа поршневых колец. Это далеко не полный перечень примеров применения оптической эндоскопии в диагностике технического состояния автомобиля.

Применение оптических методов для диагностики автомобильных

двигателей не ограничивается эндоскопией. Специальные системы позволяют заглянуть внутрь каждого цилиндра работающего двигателя и наблюдать за ходом процесса сгорания топлива. Световое излучение, которое возникает при сгорании топлива в цилиндрах, несет огромное количество диагностической информации. Его регистрация и соответствующее проработка дают возможность делать вывод о степени изношенности деталей, нарушениях в работе систем управления двигателем, необходимости в соответствующих регуляциях конкретного двигателя.

В организации оперативного диагностического контроля, оценки уровня технической эксплуатации, технического состояния объекта диагностирования важное место принадлежит методам и средствам анализа отработанного масла. Например, анализ проб масла из картера двигателя и отложений в маслоочистителях выполняется с целью определения количественного содержания продуктов изнашивания деталей, загрязнений и примесей, которые попадают в масло извне, а также элементов, которые входят в паспортный состав масла.

Концентрации железа, алюминия, кремния, хрома, меди, свинца, олова и других характерных элементов в масле дают возможность делать выводы о скорости изнашивания деталей. По концентрации железа в отработанном масле можно оценивать скорость изнашивания гильз цилиндров, шеек коленчатых валов, поршневых колец, по концентрации алюминия – о скорости изнашивания поршней и т. п.

Составляющие части грунтовой пыли (кварц, кальций, окислы алюминия и т. п.) характеризуют состояние воздушно-масляного фильтра, а также состояние и работу маслоочистительных устройств. Например, плохая работа воздухоочистителя или нарушение герметичности воздушного тракта вызывает проникновение в цилиндры большого количества абразивных частиц, которые определяют резкий рост износа деталей. По изменению содержания элементов, которые входят в первичный комплекс масляных присадок (барий, фосфор, сера, молибден), можно оценивать пригодность масла.

Связь увеличения зазоров и концентрации продуктов износа в смазке с ростом пробега автотранспортных средств имеют линейный характер. Нужно отметить, что в одинаковых условиях эксплуатации автотранспортных средств к первому капитальному ремонту уровень содержания продуктов износа в масле ниже, чем для отремонтированных. Он зависит также и от сезонности работы.

6.3.5 Вибрационные методы диагностирования

Виброакустическая диагностика обеспечивает для большинства машин решение более 80 % диагностических задач, а удельный вес типовых диагностических ситуаций превышает 90 %. Создание пакетов программ вибрационного диагностирования обеспечивает достоверные результаты диагноза и прогноза более чем в 9 из 10 случаев.

Вибрация – упругие колебания конструкций или их элементов, состоящих из твердой среды любого вида (металла, керамики, пластмассы и др.) Вибрация измеряется вибропреобразователями в комплекте вибромет-

ра, виброанализатора в реальном времени или многоканального виброизмерительного комплекса. В свою очередь, эти механические колебательные процессы приводят к возникновению периодических возмущений в окружающей среде (жидкость, газ или воздух).

Виброакустические характеристики агрегатов, механизмов и систем занимают одно из важнейших мест среди многих диагностических параметров машин. Особенно информативны они при исследованиях процессов в механизмах с периодическими механическими перемещениями. При этом, как в самом механизме, так и в окружающей среде (газ, жидкость), возникают колебательные процессы.

Вибрация машин является природной реакцией на реально действующие внешние и внутренние возбуждающие силы. В вибрационном сигнале содержится вся объективная информация об изменении всех компонент, которые определяют техническое состояние механизмов и систем в реальном времени.

Работа всех машин и механизмов, имеющих движущие части и потоко-содержащие гидро-, газо-, аэродинамические системы, сопровождаются вибрацией и шумом. В ряде случаев переходные процессы при трении и в стационарном состоянии также сопровождаются акустическим шумом (сигналами).

Причинами вибрационных колебаний механических систем являются соударения в кинематических парах, процессы трения, неуравновешенность перемещающихся деталей и др. Основные источники вибрации дефектов и неисправностей сборки и монтажа, подшипниковых узлов, качения, зубчатых передач, подшипниковых углов скольжения, двигателей внутреннего сгорания и их вибрационные диагностические признаки описаны в работах [15, 27, 39...41].

Причинами вибрации гидро-, газо- и пневматического происхождения являются процессы газообразования и газораспределения в механических двигателях, нестационарные потоки среды, резкие перепады давлений, циклические рабочие процессы, переходные процессы движения рабочей среды с одной полости, например, процесс всасывания, в другую – нагнетающую, турбулентное движение среды, изменение состава среды. Основные причины вибрации гидро-, газо- и аэродинамических источников вибрации машин и устройств, а также их вибрационных признаков описаны в работе [40] и приведены на рис. 6.5, 6.6.

Источники вибрации электромагнитных систем машин и их диагностические признаки представлены на рис. 6.7 и описаны в работе [40].

Необходимость выявления источников вибрации машин возникает при доводке, контроле технологического и конструктивного качества, диагностировании технического состояния при эксплуатации и ремонте. Локализация источников вибрации является одной из важнейших задач виброакустических исследований и диагностики машин и позволяет оценить роль каждого из них в общем потоке колебательной энергии. На основе определения источников вибрации уточняются методы расчета вибрационных параметров машин на стадии проектирования и разработки мероприятий по

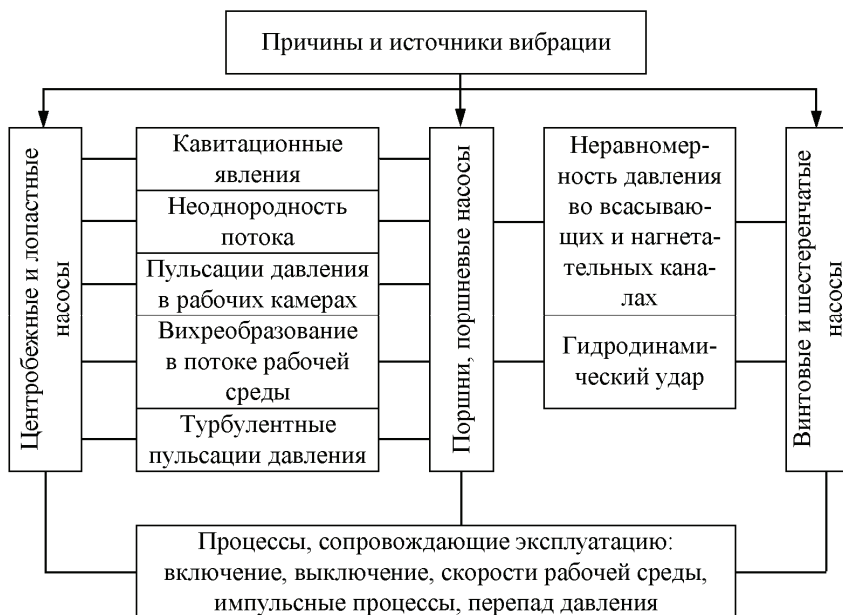


Рис. 6.5. Причины и источники вибрации гидродинамического происхождения



Рис. 6.6. Причины и источники вибрации аэродинамического и газодинамического происхождения



Рис. 6.7. Причины и источники вибрации электромагнитного, механического и аэродинамического происхождения (на примере электродвигателя)

снижению вибрации, выявления дефектов и неисправности для ограничения объема ремонтных работ.

Проведенные экспериментальные и статистические исследования вибрационных отказов механизмов машин показали, что надежность машин характеризуется определенным уровнем вибрации, превышение которого вызывает изменение структуры материалов, интенсивное накопление повреждений усталости и пластической деформаций, виброползучести в элементах механизмов и конструкций, нарушение нормального функционирования и снижения эластичности упругих систем механизмов, потерю жесткости и устойчивости конструкции.

Основными характеристиками вибрационных сигналов, которые используются для оценки технического состояния машин, являются:

1 Пропорциональная или близкая к пропорциональной зависимость изменения виброускорений, измеряемых в децибелах, от нагрузки и частоты вращения, зазора, значений геометрических погрешностей, позволяющая нормировать их исходные и предельные значения для контроля качества проектирования, изготовления и эксплуатации машин. Для некоторых элементов машин линейное изменение диагностического параметра, выраженного в децибелах, наблюдается примерно до 75...80 % срока службы машины (в зависимости от исходного качества проектирования и изготовления), а затем может начинаться экспоненциальный рост или снижение вибрации заканчивающийся обычно поломкой механизма.

2 Высокая универсальность, чувствительность и избирательность вибрационного сигнала к параметрам технического состояния машин, позволяющая:

- диагностировать большинство дефектов (неисправностей) механических и потокосодержащих систем;
- выявлять зарождающиеся дефекты (неисправности);
- диагностировать дефекты сборки деталей и узлов (в том числе несоосность, изгиб, перекося, дисбаланс);

3 Физические свойства возбуждения вибрации, позволяющие в качестве диагностического параметра использовать не статические признаки, а динамические – комплексные признаки структурного, функционального и динамического состояния машины:

- вибродиагностические характеристики отдельных элементов и машин;
- собственные частоты в сборе деталей, узлов, агрегатов и машин;
- резонансные вибрации;
- жесткостные характеристики узлов и систем.

4 Свойство вибрационных сигналов быстро реагировать на изменение технического состояния машин, позволяющие наблюдать и сопоставлять в реальном времени реакцию всех компонент – структурного, функционального и динамического состояния машин на изменения:

- конструкции отдельных элементов или машин;
- технологии изготовления и сборки;
- рабочих процессов;

- режимов работы;
- регулировочных работ;
- корреляционных зависимостей дефектов механизмов и машин.

5 Высокая скорость диагностирования, позволяющая создавать системы автоматизации контроля и предупреждения аварийных ситуаций и управления работой машин.

6 Возможность создавать современные компьютерные и микропроцессорные бортовые, стационарные и переносные системы быстрого получения достоверной информации о техническом состоянии машин на стадиях доводки конструкции, изготовления и эксплуатации.

7 Большой объем информации в одном измерении вибрации, позволяющий обеспечить контролепригодность машин и достоверность вибрационного диагностирования на всех стадиях жизненного цикла.

8 Прогрессивная технология диагностирования (без разборки) и высокая мобильность средств.

9 Снижение трудоемкости ресурсных и эксплуатационных испытаний и диагностирования машин.

Эти свойства позволяют с использованием современных виброанализаторов, компьютерных и микропроцессорных технологий наблюдать в реальном времени и сопоставлять реакцию всех компонент структурных, функциональных и динамических свойств механизмов машин, связанных корреляционной зависимостью, на изменение конструкции, технологии изготовления, рабочих процессов, режимов работы, быстро получать информацию о техническом состоянии, повышать точность диагноза и снизить трудоемкость доводки конструкции, ресурсных и эксплуатационных испытаний и диагностирования (контроля) машин при изготовлении и эксплуатации.

Методология обеспечения заданного технического уровня проектирования основывается на нормировании вибрации машин по критерию обеспечения заданного ресурса и надежности на стадии конструирования и согласно критериям сохранения запроектированного качества на стадиях доводки конструкции. Для этого разрабатываются методы нормирования классов вибрации проектируемых машин и расчета вибрации машин, конструктивные и технологические средства снижения вибрации; нормируются вибрации и виды дефектов для контроля качества изготовления; разрабатываются методы нормирования исходных и предельных вибрационных диагностических параметров, эксплуатационные нормы вибрации и классы качественной оценки технического состояния и методы прогнозирования остаточного ресурса по вибрационным характеристикам объектов диагностирования.

Вибрация многих видов транспортных машин нормируется для соблюдения норм безопасности труда водителя и вредного влияния на окружающую среду заданных виброакустических полей машин, повышения надежности и вибропрочности, создания машин заданного ресурса [26, 45]. Для контроля качества изготовления отдельных механизмов, агрегатов и машин разрабатывают нормы и методы оценки вибрации.

Практическое использование вибрационной диагностики любых машин и механизмов основано на использовании многих стандартов. Основными задачами эксплуатационной диагностики машин является определение исходных и предельных вибрационных диагностических параметров и периодичности диагностирования.

Преимущества диагностирования вибрационными методами заключаются в высокой информативности вибрационных сигналов. Вибрационные сигналы представляют собой многоканальную систему с большим объемом информации о техническом состоянии механизмов в одном измерении вибрации. Можно создавать образы вибрационного состояния путем нормирования и кодирования сигналов вибрации, создавать автоматизированные системы вибрационных сигналов диагностирования машин на всех стадиях жизненного цикла. В вибрационном сигнале содержится вся информация о состоянии структурных, функциональных и динамических параметров отдельных элементов и машин в целом [26, 43].

Методы вибрационного диагностирования машин применяются на всех стадиях их жизненного цикла: качества проектирования, изготовления и эксплуатации машин.

Эффективность вибрационного диагностирования и контроля технических систем машин методами спектрального анализа вибрации определяется выбором мест и точек контроля вибрации [43, 44] вибрационного диагностического параметра и информативных компонент. Информативными параметрами могут являться значения амплитуды, фазы, гармонических составляющих, направление вибрации (осевая, радиальная), модуляционные сигналы, глубина модуляции вибрационных сигналов, чувствительных к изменениям состояния технических систем.

Основными методами распознавания неисправностей и дефектов по параметрам вибрации являются:

- частотный анализ вибрации;
- спектральный анализ вибрации (в узких и широких полосах);
- анализ ударных импульсов;
- кепстральный анализ вибрации
- анализ спектра вибрации по огибающей;
- фазовое сравнение сигналов вибрации;
- амплитудно-временной анализ сигналов вибрации;
- корреляционный анализ или анализ взаимных спектров вибрации;
- определение акустической эмиссии;
- статистический анализ вибрационных характеристик объекта диагностирования;
- модуляция вибрационных процессов;
- амплитуды вибрации пик-фактора;
- величина эксцесса;
- резонансные частоты узла (детали) механизма, газовых и гидравлических потоков;
- сопоставление изменений уровней и частот вибрации при изменении частоты и других режимов работы технической системы.

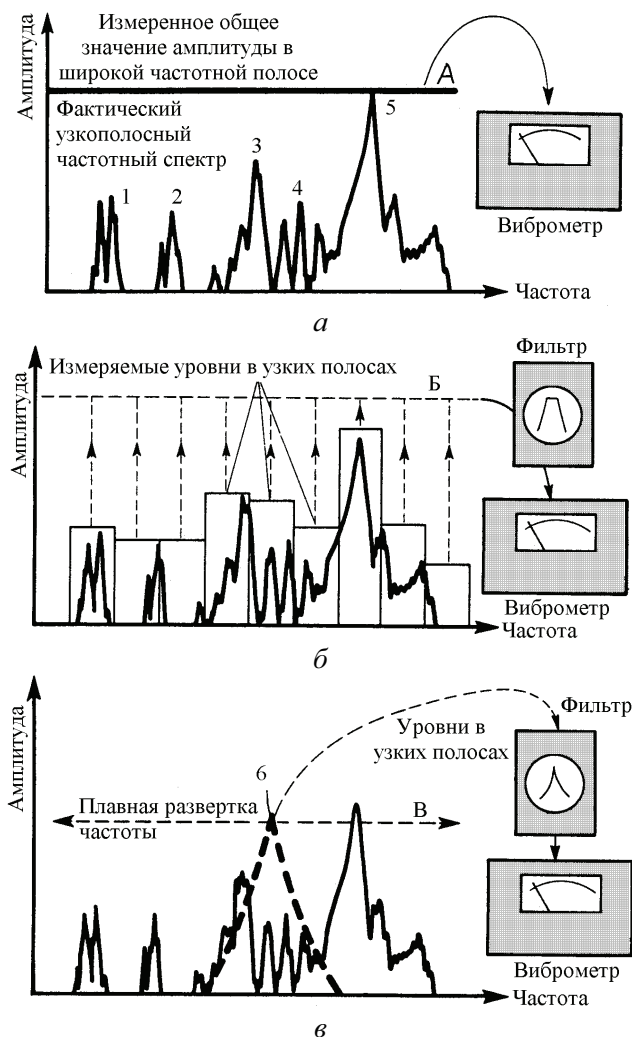
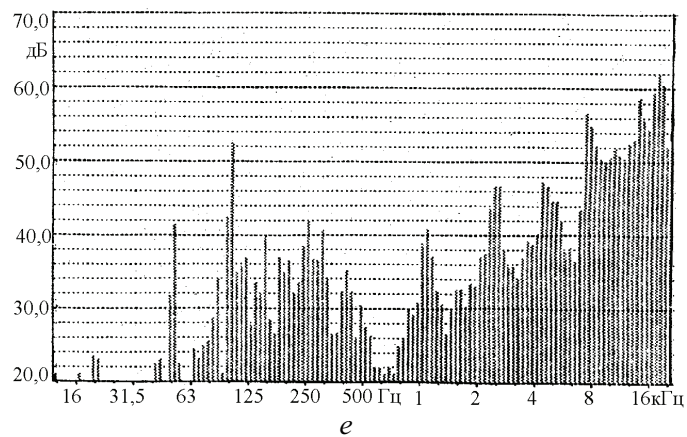
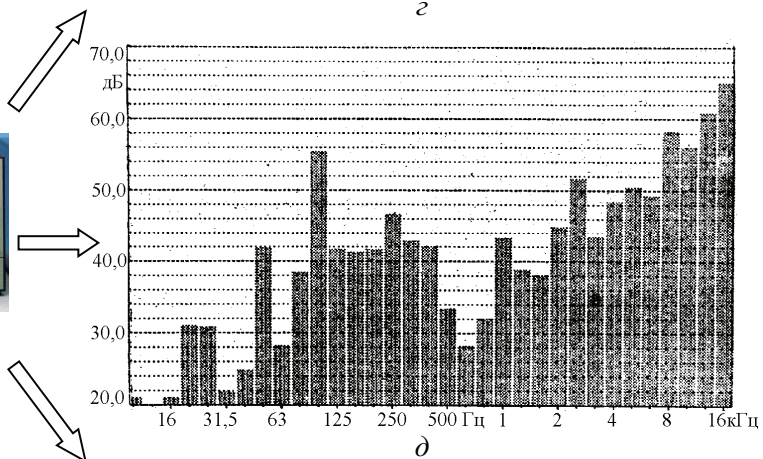
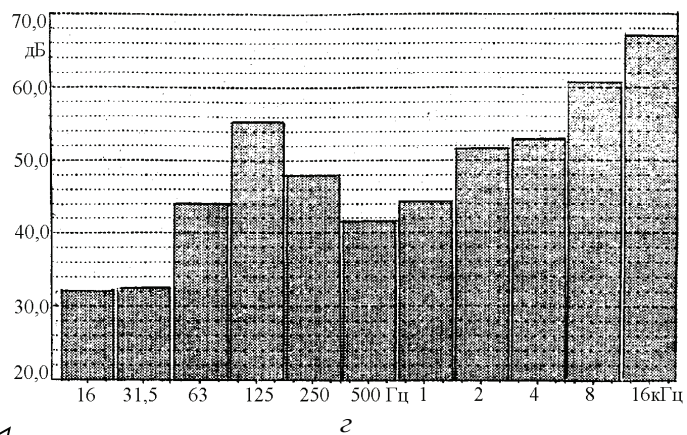


Рис. 6.8. Графические примеры контроля уровней вибрации с различной разрешающей способностью по частоте: а – в широкой частотной области; А – общее значение амплитуды или общий уровень вибрации; 1...4 – отдельные составляющие узкополосного частотного спектра; б – с постоянной относительной шириной полосы пропускания, Б – третьоктавная полоса частот; г, д, е – с фиксированной шириной полосы пропускания, например, 3 Гц, 10 Гц и т. п. или фильтром с шириной полосы пропускания, равной определенной доли процента от его средней частоты, например, 3 %, 6 % и т. д., В – плавная развертка частоты, 5 – уровни в узких полосах; 6 – виброанализаторы в реальном времени, например, двухканальные типа 2033, 2034 фирмы «Брюль и Кьер», восьмиканальные R&S FSVR13, Textronic-2630, Textronic-3561A



Продолжение рис. 6.8

Контроль вибрационных характеристик объекта диагностирования можно осуществлять в широких полосах («по общему уровню») и узких полосах вибрации (рис. 6.8).

Качественную и количественную оценки технического состояния можно производить путем разбиения допустимого приращения вибрации в эксплуатации на зоны «хорошо», «допустимо», «требуется принятия мер», «недопустимо» (см. подраздел 5.8.6).

Независимо от назначения любая система диагностирования состоит из двух подсистем (рис. 6.9).

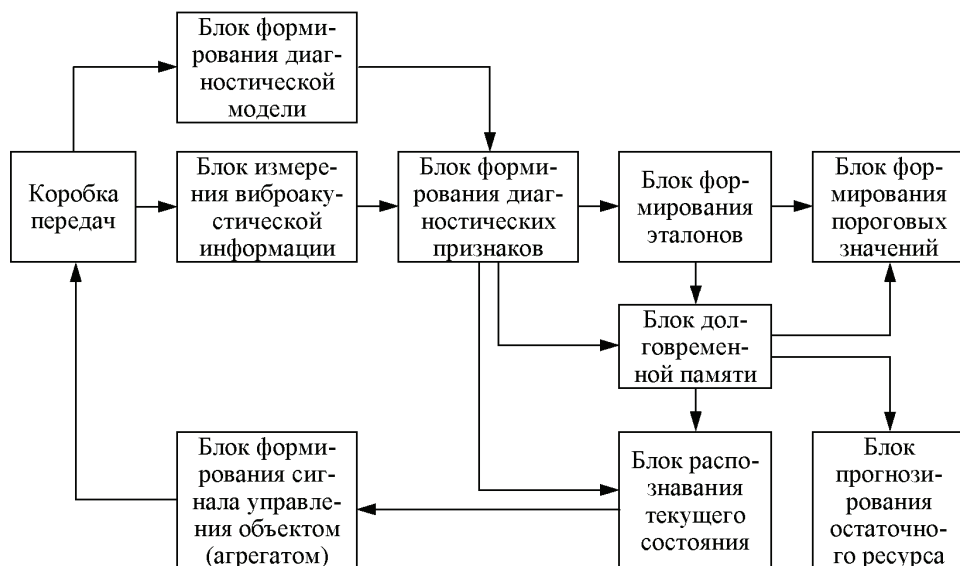


Рис. 6.9. Структурная схема системы виброакустического диагностирования

6.4 Методы контроля и диагностирования электрических и электронных систем управления автомобилем

6.4.1 Классификация системы контроля и диагностирования

В настоящее время автоматические системы контроля и диагностики решают широкий спектр задач. К ним в первую очередь относятся:

- контроль работоспособности исследуемой системы;
- осуществление реконфигураций в системе, направленных на восстановление ее работоспособности;
- прогнозирование возможных отказов;
- прогнозирование развития отказа и его последствий и др.

Естественно, что все перечисленные задачи должны по возможности решаться системой диагностики в реальном масштабе времени.

Важной характеристикой систем диагностирования является глубина диагностирования. Эта характеристика определяет уровень проводимой ди-

агностики по иерархии технической системы. Можно осуществлять диагностирование до уровня отдельных устройств, образующих техническую систему, блоков и элементов.

К настоящему моменту создано большое число типов систем технической диагностики, которые путем выделения ряда существенных отличительных признаков могут быть классифицированы в соответствии с рис. 6.10.

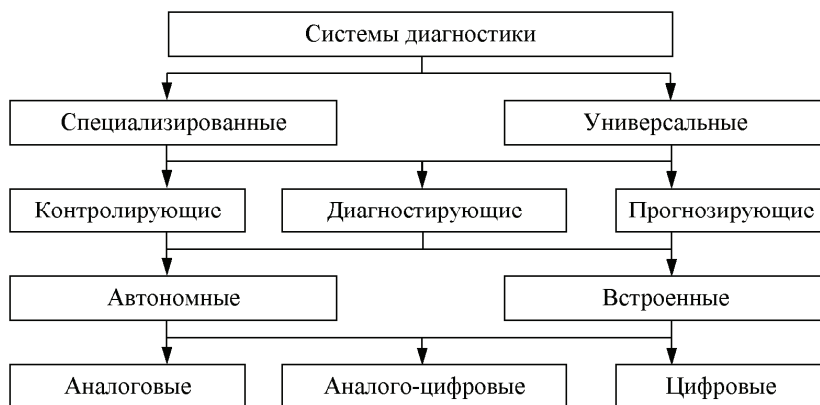


Рис. 6.10. Классификация систем технической диагностики

По назначению системы технической диагностики можно разделить на специализированные и универсальные. Специализированные системы предназначены для диагностики объектов одного типа, причем перечень контролируемых параметров и алгоритмов диагностики жестко задан и не может изменяться. Для реализации таких систем требуется минимум аппаратуры.

Универсальные системы диагностики предполагают возможность оценивания технического состояния различных объектов, контроля большого количества параметров и применения гибких алгоритмов.

В зависимости от задач, решаемых системой диагностики можно выделить контролирующие, диагностирующие и прогнозирующие системы. Цель контролирующих систем заключается в оценке только работоспособности объекта диагностирования. Это самый простой вид задач, решаемых системой диагностики. Для технических систем, выполняющих жизненно важные функции, такой вид диагностики может оказаться предпочтительным, так как возможна его реализация в реальном масштабе времени и своевременное принятие мер по переходу на резервные системы. Поиск же неисправности при этом целесообразно осуществить в стационарных условиях.

Диагностирующие системы позволяют сделать заключение не только о работоспособности объекта диагностики, но и указать отказавшее устройство или элемент. Глубина диагностики зависит от степени детализации объекта диагностирования на отдельные устройства и элементы.

Система прогнозирующей диагностики позволяет сделать оценку тех-

нического состояния исследуемого объекта в будущие моменты времени на основании тенденций в изменениях контролируемых параметров.

По виду конструктивного исполнения системы диагностики могут быть автономными и встроенными. Автономные системы реализуются самостоятельно вне объекта диагностирования. Их связь с объектом осуществляется через специальные линии связи

По форме сигналов и используемого оборудования системы диагностики можно разделить на аналоговые, аналогово-цифровые и цифровые.

Для построения системы диагностики необходимо:

- определить вид и метод диагностирования;
- установить контролируемые параметры;
- выбрать или разработать алгоритм принятия решения о состоянии системы (алгоритм классификации);
- осуществить техническую реализацию системы диагностики.

6.4.2 Виды диагностики технических систем

Существует три вида оценки работоспособности технических систем. **К первому виду** относится диагностика по состоянию отдельных элементов системы. В этом случае техническое состояние диагностируемой системы определяется в результате прямых, косвенных или совокупных измерений параметров элементов. Схема диагностирования представлена на рис. 6.11.

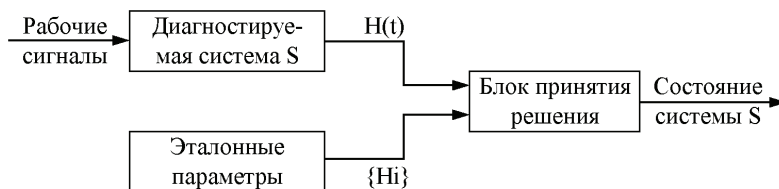


Рис. 6.11. Схема диагностирования

На этом рисунке $H(t)$ – вектор параметров, характеризующий состояние как отдельных элементов, так и системы в целом; $\{H_i\}$ – множество эталонных векторов параметров. В качестве таких параметров могут быть различные параметры электрической цепи (омическое, емкостное или индуктивное сопротивление и т. п.), температура или давление, например в камере сгорания и т.п.

Во-вторых, диагностика может осуществляться по результатам анализа реакции исследуемой системы. Тогда, в зависимости от способа воздействия на систему диагностирование может быть:

- тестовое,
- функциональное,
- комбинированное.

При тестовом диагностировании на вход исследуемой системы (объекта диагностики) подаются специальные тестовые воздействия. Рассмотрим функциональную схему (рис. 6.12).

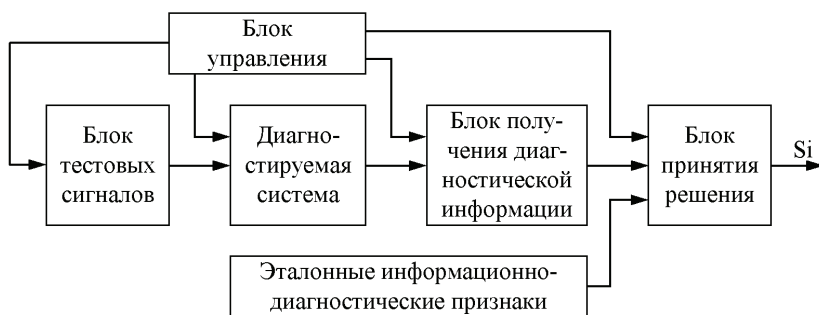


Рис. 6.12. Функциональная схема

Как следует из данной схемы, на вход диагностируемой системы подаются тестовые сигналы, а с выхода снимаются сигналы реакции, которые обрабатываются в соответствующем блоке с целью получения диагностической информации. На основе этой информации в блоке принятия решения делается вывод о принадлежности исследуемой системы к состоянию S_i . Всей процедурой диагностирования управляет блок управления, который задает режимы функционирования системы, может прекратить, либо продолжить диагностирование, изменить вид тестовых сигналов и алгоритм принятия решения, и т.п.

Возможно проведение диагностики и без подачи на вход системы тестовых сигналов. Предполагается, что в этом случае диагностируемая система находится в режиме реального функционирования и на ее вход невозможно подавать дополнительные сигналы. Схема диагностирования приведена на рис. 6.13.



Рис. 6.13. Схема диагностирования

На схеме блок управления изменяет режимы функционирования диагностируемой системы, алгоритмы получения диагностической информации и принятия решения.

При комбинированном диагностировании происходит одновременная подача на вход системы как рабочих управляющих, так и тестовых сигналов. Уровень последних должен быть невелик и таковым, чтобы не вывести диагностируемую систему на нежелательные режимы работы. Схема диаг-

ностирования изображена на рис. 6.14.

В-третьих, диагностирование технических систем можно проводить путем соответствующей обработки как входных, так и выходных сигналов объектов диагностирования в соответствии со схемой рис. 6.15.

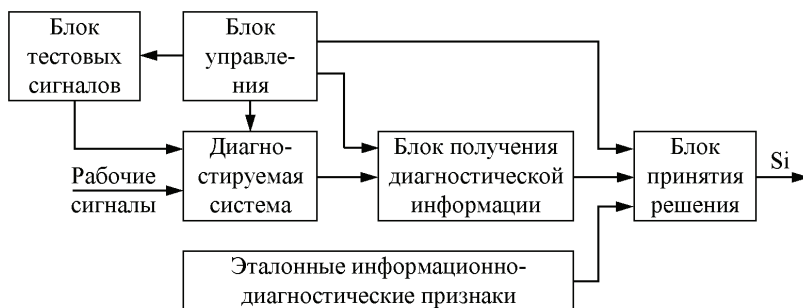


Рис. 6.14. Схема диагностирования

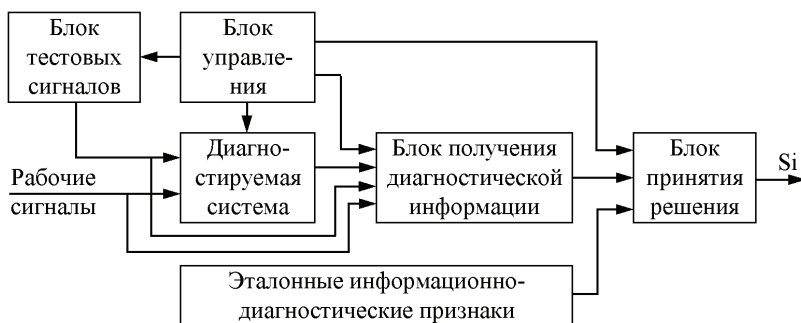


Рис. 6.15. Схема сигналов объектов диагностирования

Контроль выходных сигналов осуществляется контролем достоверности работы исполнительных механизмов, а также их проводных соединений с блоком управления, исключение ошибок в работе исполнительных механизмов, дефектов соединений и коротких замыканий.

В этом виде диагностики возможны как тестовые, функциональные, так и комбинированные способы диагностики технических систем.

6.4.3 Выбор контролируемых параметров и методов диагностирования

Выбор контролируемых параметров. Определение номенклатуры контролируемых параметров и стратегии поиска неисправности является одной из важнейших задач, которую необходимо решить при диагностике технических систем. Очевидно, что введение дополнительных контролируемых параметров приводит с одной стороны к повышению достоверности диагностики, а с другой – к усложнению алгоритма диагностики, увеличению времени диагностирования и т. п. Уменьшение же количества контро-

лируемых параметров приводит к прямо противоположным результатам. Кроме того, сами параметры имеют различную диагностическую ценность. Естественно при этом необходимо в первую очередь выбирать и контролировать параметры с большей диагностической ценностью, то есть параметры, содержащие больше всего диагностической информации. Поэтому возникает задача обоснованного выбора контролируемых параметров и стратегии поиска неисправности.

Существуют различные подходы к обоснованию выбора контролируемых параметров. Основными являются следующие [34]:

- **метод, основанный на нахождении коэффициентов влияния**, предполагает выявление связи между контролируемыми параметрами и характеристиками диагностируемой системы, определяющими ее техническое состояние. Такая связь в виде коэффициентов влияния контролируемых параметров на показатели качества системы устанавливается на математической модели или путем физического эксперимента на реальной диагностируемой системе. В качестве информационно-диагностических выбираются те контролируемые параметры, которые имеют наибольшие коэффициенты влияния;
- **метод факторного анализа** дает возможность определить статистическую связь показателей качества диагностируемой системы с ее контролируемыми параметрами. Те параметры, для которых эта связь значима, принимаются в качестве информационно-диагностических;
- **метод математического моделирования** устанавливает информационно-диагностические признаки исследуемой системы, наиболее чувствительные к изменению ее технического состояния. Математическое моделирование может проводиться как на цифровых, так и аналоговых машинах, а также на цифро-аналоговых комплексах. При этом моделируются различные отказы и режимы работы диагностируемой системы;
- **метод экспертных оценок** предполагает определение номенклатуры контролируемых параметров с привлечением специалистов в той предметной области, к которой относится диагностируемая система;
- **оптимальные методы** обеспечивают выбор контролируемых параметров и стратегии поиска неисправности в соответствии с принятым показателем оптимальности.

Методы диагностики технических систем могут быть разделены на три класса:

- аппаратные,
- программные,
- комбинированные.

Аппаратные методы предполагают введение в диагностируемую систему дополнительного оборудования, в функции которого входит измерение контролируемых параметров, сравнение их с эталонными значениями и принятие решения о работоспособности исследуемой системы. Достоинствами аппаратных методов является их высокое быстроедействие (обычно в

реальном масштабе времени), а также возможность обнаружения не только отказов, но и сбоев в работе системы.

Программные методы диагностики применимы в основном для ЭВМ и систем, содержащих ЭВМ, например цифровых систем управления и их развития - информационно-управляющих систем. В этом случае в работу ЭВМ вводится программная избыточность, что связано с увеличением времени обработки информации. Дополнительной аппаратуры для технической реализации диагностирования не требуется.

Комбинированные методы включают в себя как аппаратную, так и программную диагностику. Диагностика современных цифровых информационно-управляющих систем осуществляется именно с применением комбинированных методов.

6.4.4 Аппаратные методы диагностики технических систем

Основными методами аппаратной диагностики являются [17]:

- метод допускового контроля и диагностики;
- метод сравнения с эталоном;
- метод мажоритарного контроля и диагностики;
- метод контроля и диагностики с использованием корректирующих кодов.

Метод допускового контроля и диагностики предполагает сравнение контролируемых параметров системы с границами поля допуска. Если контролируемый параметр находится в поле допуска, то элемент (система) работоспособен. Если же этот параметр вышел за границы поля допуска, то элемент (система) неработоспособен

Объект диагностики имеет вид представленный на рис. 6.16.



Рис. 6.16. Схема объекта

Диагностика сводится к сравнению контролируемых параметров h_1, h_2, \dots, h_n , с предельно допустимыми значениями h_{\min} и h_{\max} , то есть

$$h_{\min} < h_i < h_{\max}, \quad i = \overline{1, n}.$$

В этом случае система диагностики должна содержать дополнительные элементы памяти для запоминания поля допуска и элемент сравнения. Схема допускового контроля может быть построена по схеме рис. 6.17.

На схеме

$$h_{in} = (h_{\min} + h_{\max})/2$$

номинальные значения контролируемых параметров; a_i – логические пере-

менные (0 или 1), являющиеся выходами пороговых элементов «П», порог срабатывания которых

$$\Delta h_{in} = (h_{\min} - h_{\max})/2.$$

Сигнал β на выходе логического элемента «И» определяется уравнением

$$\beta = \alpha_1 \cap \alpha_2 \cap \dots \cap \alpha_n$$

и равен 1 тогда, когда все $\alpha_i = 1$, $i = \overline{1, n}$. В этом случае все контролируемые параметры принадлежат своим полям допусков и диагностируемая система исправна.

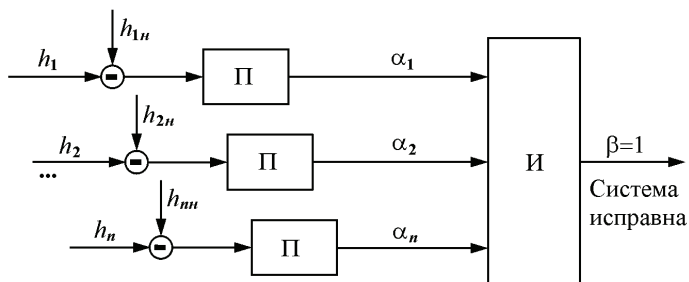


Рис. 6.17. Схема допускового контроля

Если хотя бы один из контролируемых параметров выходит из своего поля допуска, то соответствующая логическая переменная $\alpha = 0$, тогда $\beta = 0$, что говорит о неработоспособности системы.

Этот метод применим для диагностики как цифровых, так и аналоговых систем. Разница лишь в том, что в случае действия аналоговых сигналов в диагностируемой системе номинальные значения контролируемых параметров и пороги срабатывания задаются также в аналоговом виде в форме опорных напряжений (уставок).

В случае же диагностики цифровых устройств этот метод называют методом анализа логических состояний. Номинальные значения контролируемых параметров и пороги срабатывания здесь будут соответствовать некоторым разрешенным и запрещенным кодовым комбинациям. То есть в этом случае говорят не о поле допуска и выходе за него, а о разрешенных и запрещенных кодовых комбинациях.

Для того, чтобы отличить отказ от сбоя, в систему допускового контроля и диагностики должна быть введена временная задержка. В этом случае система диагностики не реагирует на сбои, которые, как правило, являются кратковременными.

В системах допускового контроля и диагностики могут применяться статистические процедуры принятия решения о нахождении контролируемых параметров в поле допуска.

Метод сравнения с эталоном основан на сравнении реакций на тестовые сигналы диагностируемой и эталонной систем. Схема диагностирования представлена на рис. 6.18.

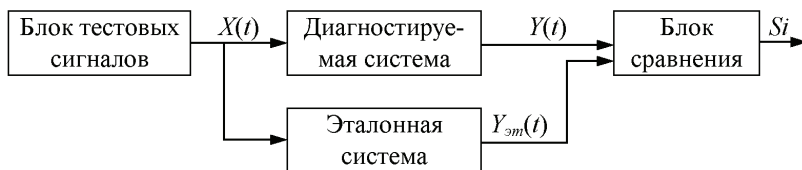


Рис. 6.18. Схема сравнения с эталоном

При технической реализации этого метода основная проблема заключается в создании эталонной системы. В принципе в качестве таковой может выступать система, аналогичная диагностируемой, факт работоспособности которой установлен заранее.

Обычно в качестве эталонной рассматривается некоторая упрощенная система. В этом случае эталонная система представляет собой некую имитационную модель, приближенно воспроизводящую характеристики исследуемой системы и ее выходные сигналы.

Условие работоспособности диагностируемой системы имеет вид:

$$|Y(t) - Y_{\text{э}}(t)| \leq \Delta.$$

В этом выражении $Y(t)$ – реакция диагностируемой системы; $Y_{\text{э}}(t)$ – реакция эталонной системы; Δ – допустимая величина рассогласования. Если указанное условие не выполняется, то это говорит об отказе или сбое в диагностируемой системе, так как эталонная система является более простой и следовательно более надежной.

Подача тестовых сигналов на входы диагностируемой и эталонной систем не является обязательной. В этом случае диагностируемая система функционирует в своем рабочем режиме, а эталонная система будет находиться в горячем резерве. При отказе диагностируемой системы ее функции может взять на себя эталонная система, однако с некоторой потерей качества.

Метод мажоритарного контроля и диагностики иначе можно называть методом «голосования». Этот метод применяется в мажоритарно резервированных системах, содержащих нечетное количество (обычно три) одинаковых устройств, выполняющих одни и те же информационные функции. Схема метода мажоритарного контроля и диагностики представлена на рис. 6.19.

На схеме S_1 , S_2 и S_3 – идентичные системы, которые необходимо диагностировать. МЭ – мажоритарный элемент, работающий по принципу «голосования» (по принципу большинства поступающих на него сигналов). На выходе мажоритарного элемента сигнал появляется лишь в том случае, если на выходах большинства диагностируемых систем S_i сигналы совпадают. Логические схемы «И» сопоставляют сигнал с выхода мажоритарного элемента и сигналы с выходов диагностируемых систем S_i , $i = 1, 2, 3$. Отсутствие сигнала на одной из логических схем «И» говорит об отказе соответствующей системы S . Отказ мажоритарного элемента приводит к обнулению всех элементов «И».

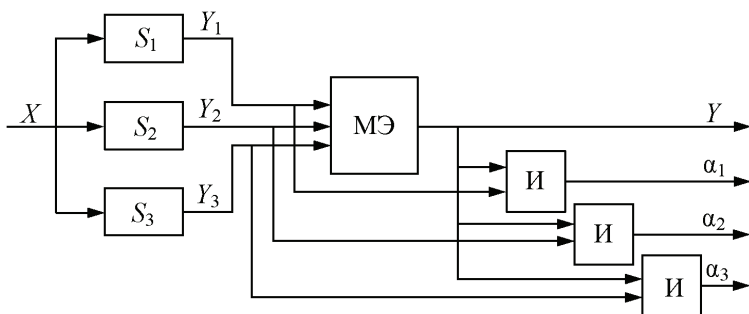


Рис. 6.19. Схема метода мажоритарного контроля и диагностирования

Данный метод применим в основном для контроля и диагностики цифровых систем, когда на выходе S_i имеют место некоторые кодовые комбинации и происходит сравнение каждого элемента такой комбинации. Однако, возможно применение метода и для аналоговых систем.

Метод контроля и диагностики с использованием корректирующих кодов применяется для оценки работоспособности цифровых систем передачи, обработки и хранения информации. Метод связан с введением информационной избыточности, которая используется как для обнаружения, так и для исправления ошибок в передаваемой, обрабатываемой или хранящейся информации. Находят применение различные корректирующие коды, простейшим из которых является код с контролем на четность, код Хэмминга и др.

На рис. 6.20 представлено схема реализации контроля на четность передаваемой кодовой комбинации.

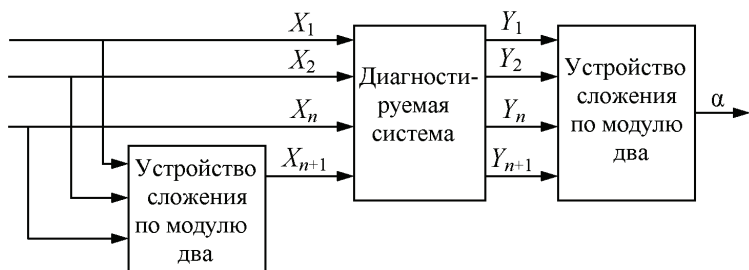


Рис. 6.20. Схема контроля

Предположим, что объектом диагноза является либо линия цифровой связи, либо устройство хранения информации. Передается n -разрядный двоичный код X_1, X_2, \dots, X_n . На входе диагностируемой системы происходит сложение передаваемого двоичного кода по модулю два. Причем, к этому n -разрядному двоичному коду добавляется еще один $(n + 1)$ -й двоичный разряд $X_n + 1$ (проверочный разряд), который равен единице, если сумма первых n разрядов передаваемого двоичного кода по модулю два равна нулю и

равен нулю, если сумма равна единице.

На выходе диагностируемой системы $n + 1$ разрядный двоичный код также складывается по модулю два. Если сигнал $\alpha = 1$, то число единиц в принятом двоичном коде является нечетным и, следовательно, n -разрядный двоичный код передан без ошибок. При этом предполагается, что поток ошибок является ординарным, то есть одновременное появление двух и более ошибок является маловероятным.

Если же сигнал $\alpha = 0$, то число единиц в принятом коде четно, а это говорит об ошибке при передаче информации. Корректирующий код Хэмминга используют для обнаружения и исправления одиночных ошибок. Схема технического устройства, реализующего код Хэмминга, изображена на рис. 6.21. В этом случае также вводится избыточность, путем добавления к передаваемому двоичному коду некоторого количества проверочных разрядов.

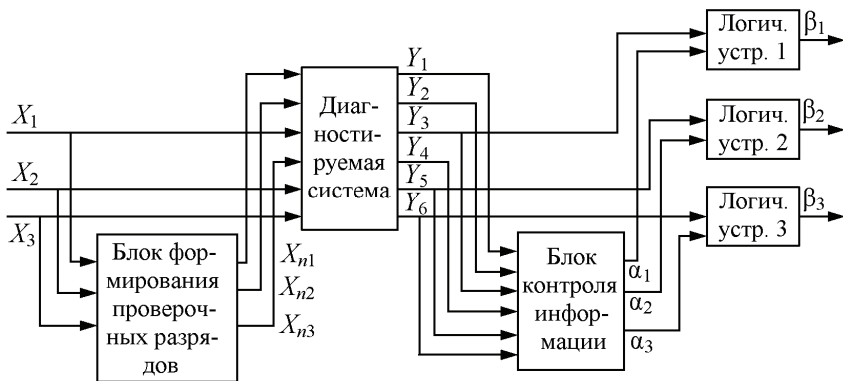


Рис. 6.21. Схема реализации кода Хэмминга

В кодовую комбинацию, поступающую на диагностируемую систему, помимо разрядов, несущих информацию X_1, X_2, X_3 включаются проверочные разряды X_{n1}, X_{n2}, X_{n3} , обычно занимающие 1, 2, 4, 8-ю и т. д. позиции в передаваемой кодовой комбинации $X_{n1}, X_{n2}, X_1, X_{n3}, X_2, X_3$. Содержимое проверочных разрядов определяется путем сложения по модулю два соответствующих информационных разрядов:

$$X_{n1} = X_1 \oplus X_2; \quad X_{n2} = X_1 \oplus X_3; \quad X_{n3} = X_2 \oplus X_3.$$

где \oplus – знак сложения по модулю два. Число проверочных разрядов k в передаваемой кодовой комбинации должно удовлетворять соотношению

$$2^t \geq n + k + 1,$$

где n – количество информационных разрядов. Кодовая комбинация на выходе диагностируемой системы анализируется в блоке контроля информации. Такой анализ заключается в последовательной обработке k групп сим-

волов из всех $n + k$ разрядов. Сигнал $\alpha_1 = 1$, если сумма разрядов Y_1 и Y_3 модулю два равна единице, что говорит об отсутствии ошибки в 1-м разряде передаваемой кодовой комбинации. Если сигнал $\alpha_1 = 0$, то сумма соответствующих разрядов по модулю два равна нулю и в кодовой комбинации присутствует ошибка. Для сигналов α_2 и α_3 справедливы выражения

$$\alpha_1 = Y_2 \oplus Y_5; \quad \alpha_3 = Y_4 \oplus Y_6.$$

Передаваемая информация принята без искажения если справедливо условие

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1.$$

В этом случае все разряды в передаваемой и принятой кодовых комбинациях совпадают. Исправление ошибок осуществляется в логических устройствах в соответствии со следующими уравнениями

$$\beta_1 = Y_3 \oplus \bar{\alpha}_1; \quad \beta_2 = Y_5 \oplus \bar{\alpha}_2; \quad \beta_3 = Y_6 \oplus \bar{\alpha}_3.$$

Так, например, если $\alpha_2 = 0$; $\bar{\alpha}_2 = 1$, что говорит об ошибке во втором информационном разряде, то $\beta_2 = 1$ и искаженное значение Y_5 заменяется на исправленное. В случае отсутствия ошибки, то есть при $\alpha_2 = 1$ и $\beta_2 = 0$ соответствующее значение информационного разряда остается без изменений.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите три основные группы методов диагностирования автомобилей.
- 2 Охарактеризуйте группы интеллектуальных методов диагностирования. Что они включают?
- 3 Приведите примеры инструментальных методов диагностирования. На чем они основаны?
- 4 Приведите интеллектуальные методы диагностирования, применяемые на теоретическом и эвристическом уровнях.
- 5 Какие правила должны включать разработанные методы диагностирования.
- 6 На чем базируется метод диагностирования технического состояния объектов по параметрам рабочих процессов?
- 7 Какие возможности дают диагностировать техническое состояние по параметрам существующих процессов?
- 8 Какие методы относятся к диагностированию по параметрам сопутствующих процессов?
- 9 В каких случаях можно эффективно применять методы диагностирования по структурным геометрическим параметрам?
- 10 Какие неисправности относятся к группе методов диагностирования по геометрическим параметрам?
- 11 На чем основан дедуктивный метод?
- 12 Перечислите распространенные методы построения программ поиска дефектов.
- 13 На чем основаны энергетические способы диагностирования?
- 14 Приведите примеры диагностирования двигателя оптическими методами.
- 15 Перечислите причины и источники вибрации гидродинамического происхождения.

дения.

- 16 Приведите основные характеристики и свойства вибрационных сигналов.
- 17 Какие задачи решаются автоматическими системами контроля и диагностирования автомобиля?
- 18 Какие автоматизированные системы диагностирования существуют?
- 19 Какие данные необходимы для построения системы автоматического диагностирования?
- 20 Расскажите о трех видах оценки работоспособности технических систем диагностирования.
- 21 Как осуществляется выбор контролируемых параметров электрических систем?
- 22 Расскажите об аппаратных, программируемых и комбинированных методах диагностики технических систем.
- 23 Какие существуют методы аппаратной диагностики электронных систем?

7 ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

7.1 Задачи и виды знаний в построении диагностических моделей

Для решения проблемы создания системы контроля и диагностирования сложной системы 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:

- 1) прямая диагностическая задача или задача контроля технического состояния;
- 2) 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, об их причинах и об

их прямых и косвенных показателях [21, 45]. 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. 7.1).

3 Знания типовых и возможных диагностических параметров (показателей) исследуемых процессов, дефектов и неисправностей [21].

4 Знания инструментальных методов и средств определения действительных значений диагностических параметров [19, 22, 31].

5 Знания о возможных диагностических экспериментах. Диагностический эксперимент есть процесс оценки диагностических показателей

при заранее определенных условиях с целью локализации неисправности (дефектов).

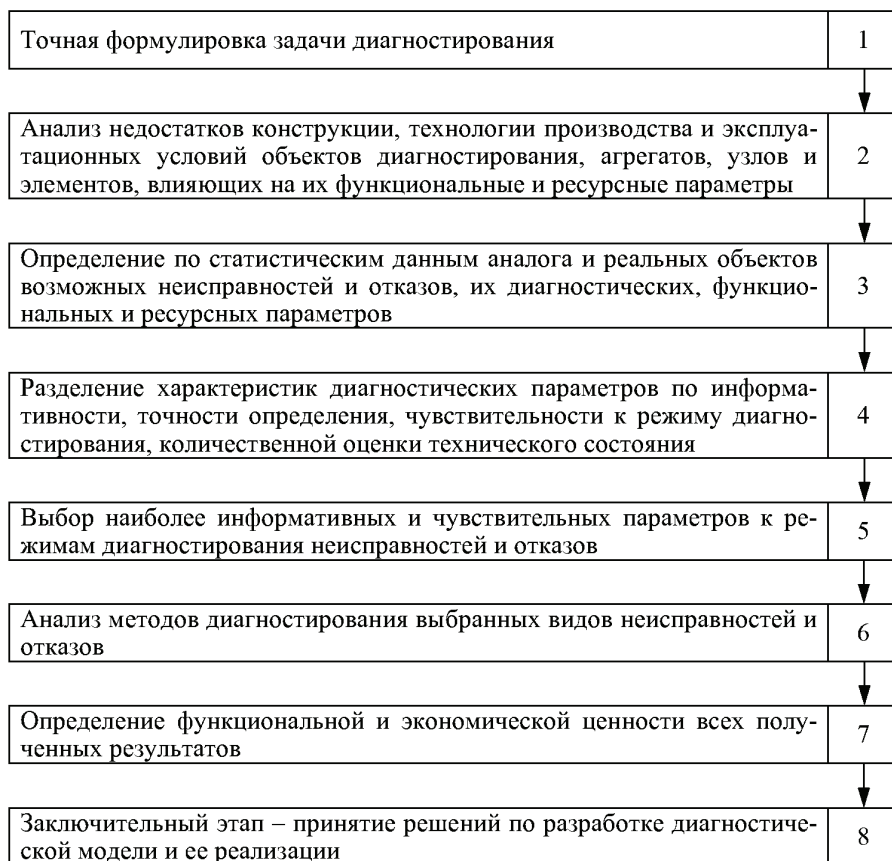


Рис. 7.1. Последовательность морфологического анализа объекта диагностирования

7.2 Виды диагностических моделей

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 на-

значением 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 описать детерминировано поведение объекта.

Формализованной моделью объекта (или процесса) является его описание 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 неисправностей 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 [46]. 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 лю-

бые 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 составляют наибольшее 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 алгоритм диагностирования в виде совокупности последовательных операций. Для осуществления диагностических процедур и создания средств их реализации широко используется теория тестов, распознавания образов, теория вопросов и др.

Теоретический анализ (мысленный эксперимент) многих возможных состояний автомобиля в целом или его отдельных частей производят срав-

нением 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 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. 7.2.

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.

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.



Рис. 7.2. Классификация диагностических моделей

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 чувствительности, 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 нелинейные, 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 полу-эмпирических моделей используются методы теории идентификации.

Приведенную на рис. 7.2 классификацию диагностических моделей можно дополнить физическими, символическими и интуитивными моделями (рис. 7.3) [25].



Рис. 7.3. Классификация диагностических моделей

Вероятностные модели разделяются на информационные, опознавательные образы и корреляционные. В информационных моделях реальный объект составляет совокупность исходных процессов, которые несут определяющее 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 функционирующего 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 конструктивных 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, 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 схемами: система зажигания, система освещения и сигнализации, система питания с впрыском топлива и т. п.

7.3 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 рассматри-

вают 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 интересующие 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 процес-

сов, 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.

7.4 Логическое и математическое моделирование

Логическое моделирование 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.

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».

Логической диагностической модели 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 статических 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 неис-

правности (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, измеренными 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.

Математическая модель является конечным продуктом процесса абстракции, формализации изучаемого явления. На рис. 2.2 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.

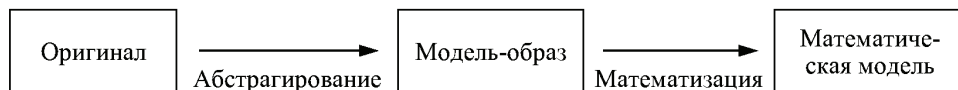


Рис. 7.4. Схема построения математической модели

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.

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. 7.2. 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. 7.5 [5, 24, 37].

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.

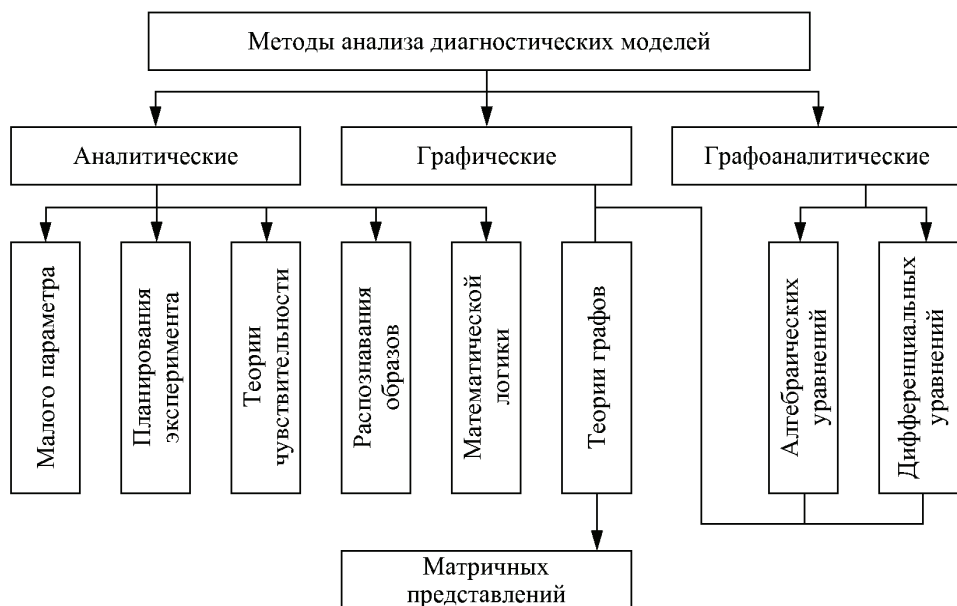


Рис. 7.5. Классификация основных методов, используемых при исследовании диагностических моделей

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. 7.6). 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_n . Выходная функция $Z = \psi(X, Y_{нач}, t)$ является **математической моделью исправного объекта**. При этом $Y_{нач}$ выражает начальное значение внутренних переменных.

ных 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.

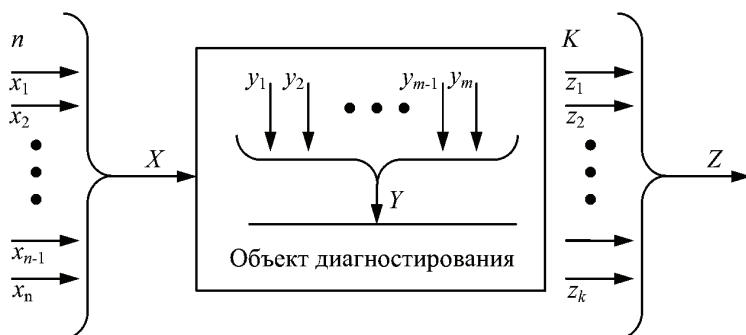


Рис. 7.6. Математическая модель объекта диагностирования

Объект диагностирования, находящийся в i -неисправном состоянии, реализуется системой передаточных функций $Z^i = \psi^i(X, Y_{нач}, t)$ 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 времени $[t, t + \Delta t]$ обозначим $P(t \leq T \leq t + \Delta t)$.

Для любой случайной величины с плотностью распределения $= F'(t)$, 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 $P_i(f) = e^{-\lambda_i t}$ вероятность отказа каждого элемента при условии отказа системы есть величина постоянная для данной системы и выражается формулой

$$P_i = \lambda_i l \sum_{i=1}^N \lambda_i.$$

Эта формула позволяет утверждать, что оптимальный алгоритм проверки 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 сис-

темам 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 определяется 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. 7.7). 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 $Z^{НД}$, и по результатам этого сравнения делается заключение о техническом состоянии объекта контроля.

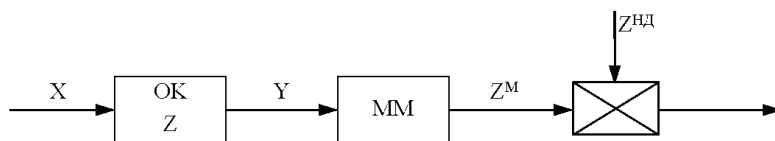


Рис. 7.7. Схематичное представление процесса определения технического состояния

Математическое описание (модель) объекта диагностирования может быть выполнено как с использованием диагностических параметров, так и с использованием диагностических признаков. Отличие этих двух понятий

закljučается 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, соответствующего 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.

7.5 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 работе 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 сле-

дующем. 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 признаков 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 [24].

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: мощ-

ность 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.

7.6 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 преимущество 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 [5, 32, 48]. Другим методом последовательного анализа является метод Вальда.

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)

$$P(D_j k_j) = P(D_j) \cdot P(k_j/D_j) = P(k_j) \cdot P(D_j/k_j). \quad (7.1)$$

Из этого равенства вытекает формула Байеса:

$$P(D_j/k_j) = P(D_j) \frac{P(k_j/D_j)}{P(k_j)}, \quad (7.2)$$

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) [32].

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.

Для распознавания состояний D_1 и D_2 при обнаружении комплекса признаков k' (признаки независимые) сравнивают вероятности:

$$\frac{P(D_2/k')}{P(D_1/k')} = \frac{P(D_2)P(k'_1/D_2)...P(k'_l/D_2)}{P(D_1)P(k'_1/D_1)...P(k'_l/D_1)}.$$

Соотношение $\frac{P(k'_1/D_2)...P(k'_l/D_2)}{P(k'_1/D_1)...P(k'_l/D_1)}$ получило название отношения

правдоподобия. В методе последовательного анализа отношение правдоподобия составляется в последовательном порядке и поэтому требуется меньшее число обследований. В данном методе задаются некоторыми границами принятия решения: A – верхняя граница, B – нижняя. Пусть проведено $v - 1$ обследований, не давших решения:

$$\frac{P(k'_1/D_2)...P(k'_r/D_2)}{P(k'_1/D_1)...P(k'_r/D_1)} > A, \quad r = 1, 2, 3, \dots, v - 1, \quad (7.3)$$

но если после v -го обследования

$$\frac{P(k'_1/D_2)...P(k'_v/D_2)}{P(k'_1/D_1)...P(k'_v/D_1)} > A, \quad (7.4)$$

то принимается решение об отнесении объекта к диапазону D_2 :

$$k' \in D_2.$$

В противном случае, если

$$\frac{P(k'_1/D_2)...P(k'_v/D_2)}{P(k'_1/D_1)...P(k'_v/D_1)} > B, \quad (7.5)$$

имеет место диагноз D_1 .

Для сокращения объема обследований следует вначале проводить обследование по наиболее информативным признакам.

Отметим, что этот метод пригоден и для непрерывно распределенных диагностических параметров, но вместо вероятностей признаков в соответствующие отношения входят плотности вероятностей параметров.

При распознавании могут быть ошибки двоякого рода. Ошибка, относящаяся к диагнозу D_1 (принимается решение о наличии диагноза D_2 , когда в действительности объект принадлежит диагнозу D_1), называется ошибкой первого рода. Ошибка, относящаяся к диагнозу D_2 (принимается решение в пользу диагноза D_1 , когда справедлив диагноз D_2), называется ошибкой второго рода.

Часто отношение правдоподобия логарифмируют. Ширина «коридора» принятия решения определяется вероятностями ошибок первого рода и второго рода (соответственно, α и β):

- α , если принято решение о D_2 , а объект находится в D_1 ;
- β , если принято решение о D_1 , а объект находится в D_2 .

Тогда, если в условиях (7.3) и (7.4) принято решение о D_2 , имеем

$$\frac{1-\beta}{\alpha} \geq A,$$

а в случае условий (7.3) и (7.5):

$$\frac{\beta}{1-\alpha} \leq B.$$

В практических расчетах полагают

$$\alpha = \beta = 0,05 \quad \text{или} \quad \alpha = \beta = 0,1. \quad (7.6)$$

7.7 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. 7.1. На практике диагностических параметров возможных неисправностей может быть значительно больше.

Таблица 7.1

Схема диагностической матрицы

Диагностические параметры	Неисправности				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Π_1	0	1	1	0	1
Π_2	1	0	1	1	0
Π_3	0	1	1	1	0
Π_4	1	0	1	0	1

Диагностическая матрица (см. табл. 7.1) является логической моделью, которая описывает связи между диагностическими параметрами Π 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. 7.1 диагностической матрицы решается задача локализации одной из пяти возможных неисправностей объекта с помощью четырех диагностических параметров.

Диагностическая матрица (см. табл. 7.1) – это строчный набор связей между диагностическими параметрами Π 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.

Поэлементная диагностика применяется для того, чтобы выявлять ме-

сто 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.

В табл. 7.2 показана диагностическая матрица, используемая для определения вероятности диагнозов по методу Байеса, которая формируется на основе предварительного статистического материала. В ней содержатся вероятности разрядов признаков при различных диагнозах, а также априорные вероятности диагнозов.

Таблица 7.2

Диагностическая матрица в методе Байеса

Диагноз D_i	Признак k_i									$P(D_i)$
	k_1			k_2				k_3		
	$P(k_{11}/D_i)$	$P(k_{12}/D_i)$	$P(k_{13}/D_i)$	$P(k_{21}/D_i)$	$P(k_{22}/D_i)$	$P(k_{23}/D_i)$	$P(k_{24}/D_i)$	$P(k_{31}/D_i)$	$P(k_{32}/D_i)$	
D_1	0,8	0,2	0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,8	0,3
D_2	0,1	0,7	0,2	0	0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

Если признаки двухразрядные (простые признаки «да – нет»), то в таблице достаточно указать вероятность появления признака $P(k_j/D_i)$. Вероятность отсутствия признака

$$P(\bar{k}_j/D_i) = 1 - P(k_j/D_i).$$

Однако более удобно использовать единообразную форму, полагая, например, для двухразрядного признака

$$P(k_j/D_i) = P(k_{j1}/D_i); \quad P(\bar{k}_j/D_i) = P(k_{j2}/D_i).$$

Отметим, что

$$\sum_{s=1}^{m_j} P(k_{js} / D_i) = 1.$$

где m_j – число разрядов признака k_j . Сумма вероятностей всех возможных реализаций признака равна единице.

Решающее правило – правило, согласно которому принимается решение о диагнозе. В методе Байеса объект с комплексом признаков k^* соответствует диагнозу с наибольшей (апостериорной) вероятностью:

$$k^* \in D_i,$$

если

$$P(D_i / k^*) > P(D_j / k^*), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j. \quad (7.7)$$

Условие (7.7) указывает, что объект, обладающий данной реализацией комплекса признаков k^* , то есть реализация k^* принадлежит диагнозу (состоянию) D_i . Правило (7.7) обычно уточняется введением порогового значения для вероятности диагноза:

$$P(D_i / k^*) \geq P_i, \quad (7.8)$$

где P_i – заранее выбранный уровень распознавания для диагноза D_i . При этом вероятность ближайшего конкурирующего диагноза не выше $1 - P_i$. Обычно принимается $P_i \geq 0,9$. При условии

$$P(D_i / k^*) < P_i, \quad (7.9)$$

решение о диагнозе не принимается (отказ от распознавания) и требуется поступление дополнительной информации.

7.8 Построение структурных, структурно-наследственных и функционально-логических моделей

7.8.1 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, характери-

зующие 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 поверок 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.

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. 7.8).

На рис. 7.8 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 presses (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.

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.



Рис. 7.8. Структурно-наследственная диагностическая модель цилиндра-поршневой группы двигателя

В представленной на рис. 7.9 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. 7.9), 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. 7.9. 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,

Источники внутренних и внешних возмущающих воздействий механического происхождения					
1	2	3	4	5	6
Подшипниковые узлы качения	Зубчатые передачи	Валы при соединении	Погрешности сборки и монтажа отдельных узлов агрегатов и комплектной машины	Динамические свойства конструкции	Внешние возмущающие силы
Погрешности изготовления подшипников	Пересоразмерность зубьев	Дисбаланс	Дисбаланс	Распределение массовых частот деталей, узлов корпусов, агрегатов трактора в сборе	Нагрузочные режимы
Отклонения формовых дорожек колеи 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	Циклическая 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	Демпфирующие свойства конструкции деталей и соединений	Характеристика силового воздействия
Погрешность сепаратора	Боковой зазор между зубьями шестерен	Овальности шеек валов	Смещение кольца подшипника относительно внутреннего Изгиб вала	Резонансная чувствительность элементов и конструкции к изменению внутренних и внешних возмущений	Пульсация крутящего момента
Погрешность изготовления посадочных мест подшипника	Отклонение осевого расстояния между валами шестерен	Неодинаковые моменты инерции площади поперечного сечения валов	Перекосы в сопряжении зубчатых передач	Податливость и сопротивляемость изгибным и крутильным колебаниям, переменной нагрузке	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	Создание местных напряжений в элементах и соединениях		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			Движение по неровностям дороги
Погрешности сборки подшипниковых узлов					
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. 7.9. Структурная вибрационная модель механической системы машины

пуски, торможение, реверс, сброс и набор нагрузки, характер «отбора мощности», качество энергоносителей (см. рис. 7.9, силы 6).

Таким образом, все подсистемы источников вибрации 1-6 (см. рис. 7.9) 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. 7.9), 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. 7.9).

Под действием возмущающих сил 1-6 (см. рис. 7.9) в отдельных кинематических парах и механической системе машины возникают вибрационные движения дополнительные к основному рабочему движению (7, см. рис. 7.9). 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. 7.9).

Среди наиболее распространенных моделей выделяют класс деревоподобных 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.

7.8.2 Построение функционально-логической модели объекта

Для целей диагностирования удобнее представить объект в виде функционально-структурной схемы [5, 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. 7.11.

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).

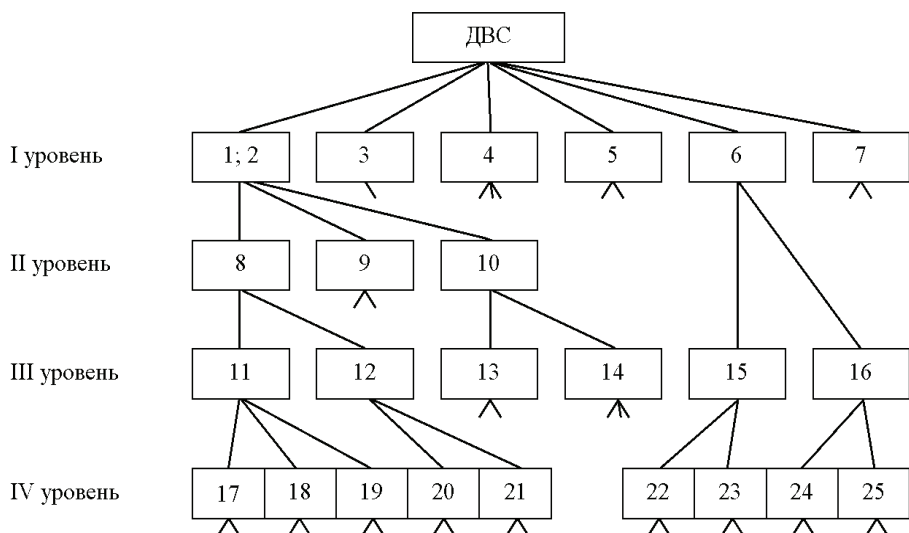


Рис. 7.10. Функционально-структурная схема дизельного ДВС:

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 – цилиндро-поршневая 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»

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).

Число уровней может быть увеличено. Например, к V уровню можно отнести величины износов, то есть численные значения структурных параметров от номинального до предельного состояния, различимые с помощью диагностического средства. К другим уровням (рангам) можно отнести возможные причины износов, 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 техниче-

ского 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 поэлементным (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. 7.11.

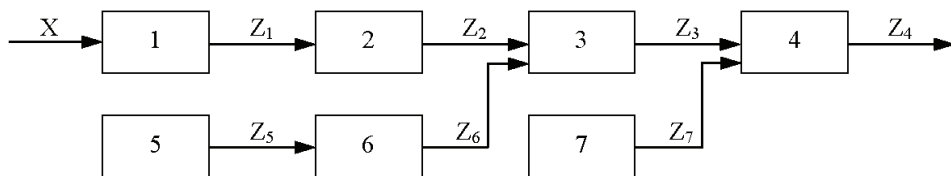


Рис. 7.11. Модель диагностируемой системы

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. 7.11.

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. 7.11, таблица неисправностей имеет вид табл. 7.3.

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.

Таблица 7.3

Таблица неисправностей

S_i/Z_j	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

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:

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 эксплуатации 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 вышеназванным требованиям.

7.8.3 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, а 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. 7.12).

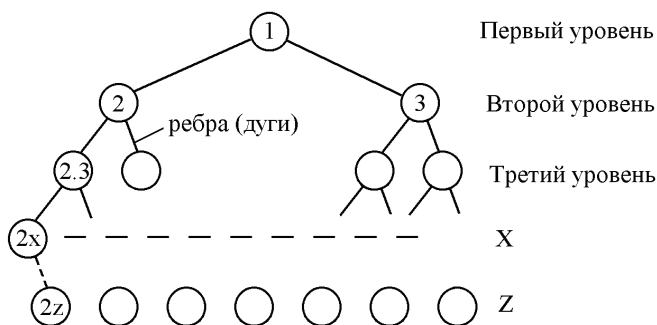


Рис. 7.12. Идеализированная структурная диагностическая модель

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. 7.12) 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. 7.13 или других графов [5, 75].

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.

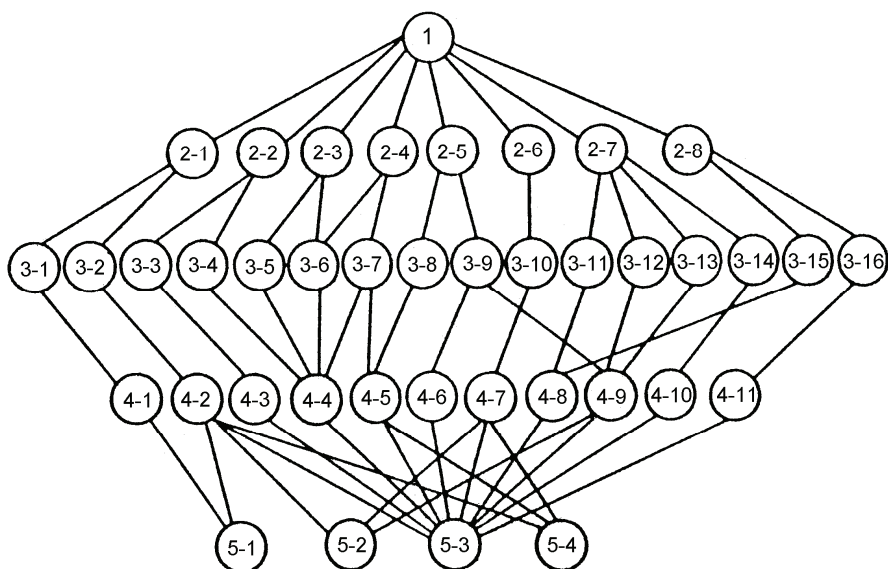


Рис. 7.13. Виброакустическая граф-модель асинхронного короткозамкнутого электродвигателя:

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 – уравнированность; 3-12 – размеры и форма бочки ротора; 3-13 – форма оси вала; 3-14 – плотность опрессовки; 3-15 – уравнированность; 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

Из граф-модели (см. рис. 7.13) 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.

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.

Топология (греч. *topos* – место и *logos* – понятие, учение) – раздел математики (геометрии), изучающий топологические пространства и составляющий основу современного теоретико-множественного метода. Множество, на котором задана топологическая структура, называется топологическим пространством.

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.

7.9 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 – 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 находит широкое распространение в различных областях знаний при построении процедур диагностирования с учетом топологических свойств объекта [5, 37, 45, 47, 48].

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. 7.14 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. 7.14, а, б). Основные функциональные свойства объекта представлены на модели величинами x_i (в виде вершин графа (см. рис. 7.14, в)).

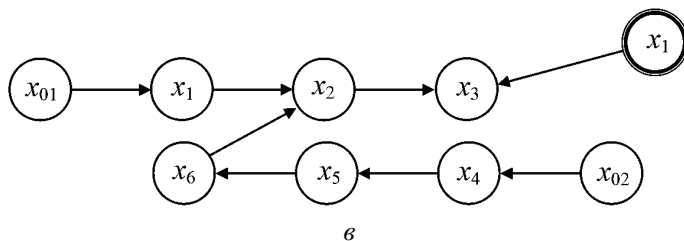
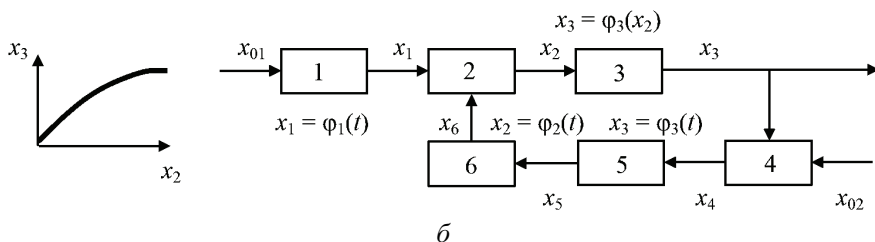
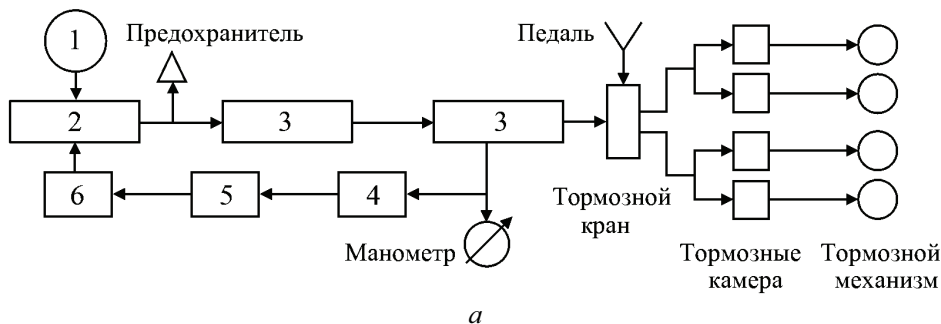


Рис. 7.14. Построение граф-модели в пространстве свойств: а, б – функциональные схемы объекта; в – граф-модель объекта в пространстве свойств; 1 – привод компрессора; 2 – компрессор; 3 – баллоны ресивера; 4 – регулятор; 5 – камера диафрагмы; 6 – разгрузочные клапаны; x_{01} – вращательное движение коленчатого 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 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.

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. 7.15, б).

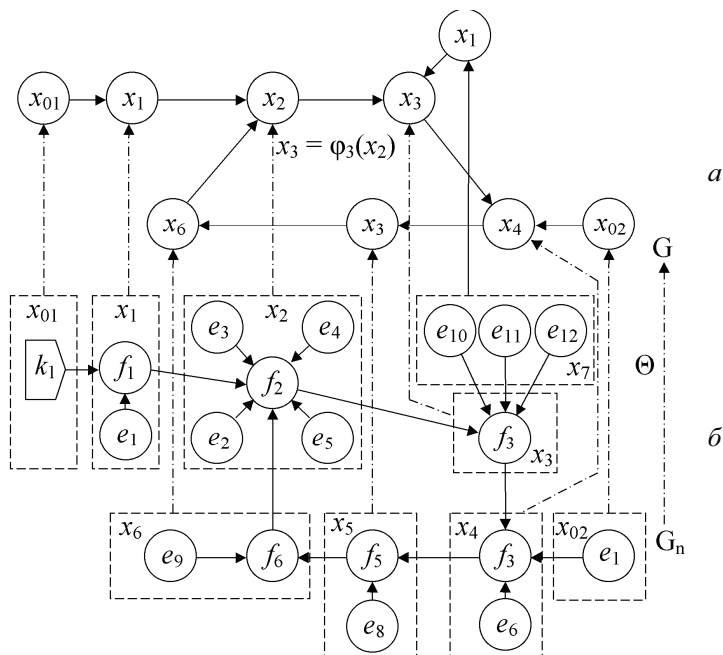


Рис. 7.15. Построение граф-модели в пространстве параметров:

а – 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

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 рабо-

ты тормозов.

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).

7.10 Анализ диагностических моделей

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 [9]. 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 (ВМП) 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 результат 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: 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 различных 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 функциональной близости: при определении внутреннего содержания диагностического элемента следует собирать в нем части, работающие на формирование общего сигнала на его единственном выходе.

7.11 Создание и анализ диагностических моделей электрических систем

7.11.1 Создание и анализ функциональной диагностической модели

Диагностическая модель (ДМ) – абстрактная форма предоставления объекта диагностирования, которая позволяет определить диагностические тесты и построить алгоритмы диагностирования на основании признака различимости ее состояний. Диагностическая модель может предоставляться в графическом, табличном или аналитическом виде.

Для электрических систем и устройств применяются преимущественно функциональные, дискретные и цифровые диагностические модели. В подразделах 7.11, 7.12 использованы материалы работы [76].

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. 7.11).

Чтобы задать функциональную ДМ рассматриваемой системы, необходимо выполнить следующие операции:

- 1 перечислить все возможные для данной системы комбинации элементов, которые отказали одновременно (возможные состояния);
- 2 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 дееспособном состоянии;
- 3 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. 7.16, 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. 7.16, в) в ДМ предоставляются многопараметрическими или простыми функциональными блоками (см. рис. 7.16, г), 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 круга обратной связи и имитацию его сигнала, то модель может быть представлена структурой без обратной связи (см. рис. 7.16, *д*, *е*). Построенная ДМ может быть представлена в универсальной абстрактной форме в виде таблицы неисправностей.

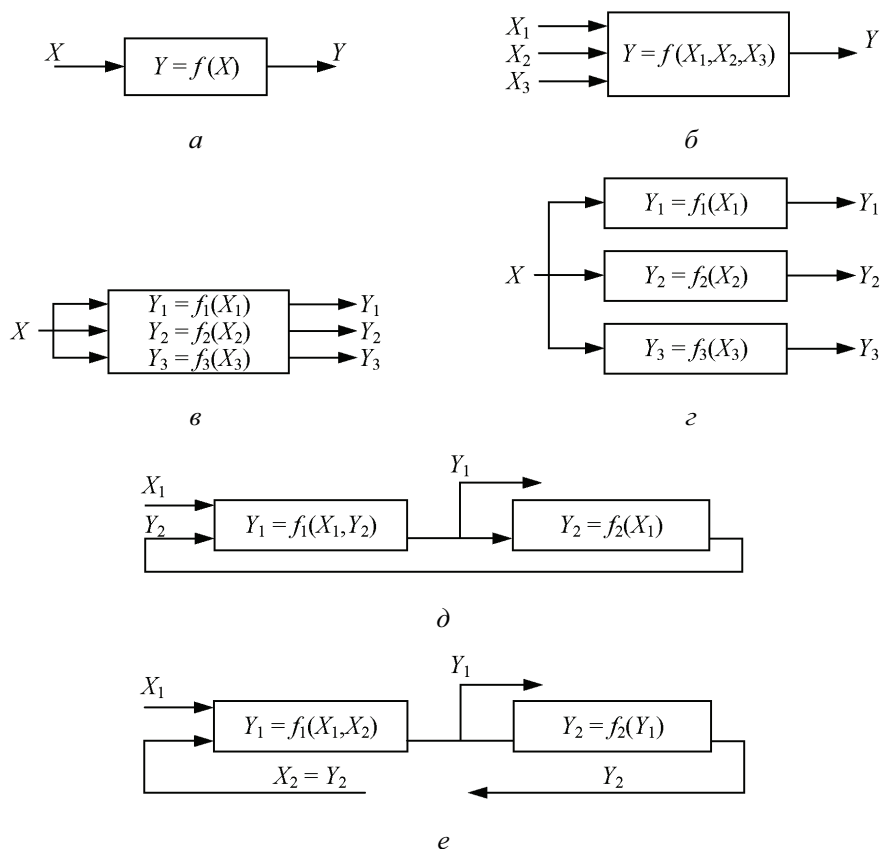


Рис. 7.16. Фрагменты функциональной схемы и диагностической модели:
а – простой блок функциональной схемы; *б* – многопараметрический блок схемы;
в – многофункциональный блок схемы; *г* – многофункциональный блок модели;
д – функциональная схема с обратной связью; *е* – лишение обратной связи
 в функциональной 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 Π_j .

Таблица неисправностей может быть получена с помощью аналитиче-

ских расчетов диагностической модели или экспериментально, путем моделирования соответствующих неисправных состояний объекта диагностирования и контроля его диагностических параметров.

Пример функциональной ДМ приведен на рис. 7.17. 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:

$$Y_2 = Y_1 \cdot Y_4 \cdot Q_2; \quad Y_3 = Y_2 \cdot Y_5 \cdot Q_3; \quad Y_4 = X_2 \cdot Y_1 \cdot Q_4;$$

$$Y_5 = Y_4 \cdot X_3 \cdot Q_5; \quad Y_6 = Y_5 \cdot Q_6.$$

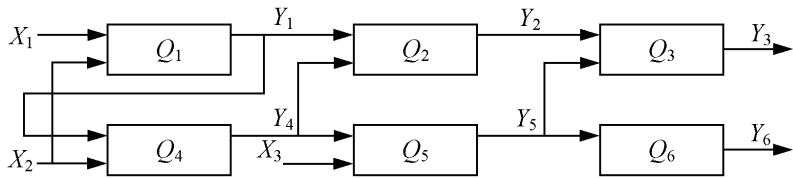


Рис. 7.17. Функциональная диагностическая модель

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. 7.4).

Таблица 7.4

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 P_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 P_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 $P_1 \dots P_6$ ($Y_1 \dots Y_6$) дадут отрицательный результат.

7.11.2 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 рассматриваются дискретная модель в первом понимании.

Дискретная диагностическая модель – модель, которая представлена электрической схемой гальванических включений дискретных элементов с элементарными функциями преобразования (сопротивление, емкость, индуктивность, клапан 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, замещающую реальные дискретные элементы их диагностическими эквивалентами (схемы замещения);
- 3 перечислить возможные неисправности элементов схемы или их диагностических эквивалентов;
- 4 указать номинальные значения параметров элементов схемы или их диагностических эквивалентов;
- 5 указать точки контроля ДП в структуре модели.

На рис. 7.18 показана выходная схема электрическая принципиальная (рис. 7.18, а) и ее дискретная модель (рис. 7.18, б) при использовании в качестве ДП сопротивление постоянному току (измерение с помощью омметра). Согласно приведенным на схеме замещения обозначениям: клапаны $p-n$ – 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.

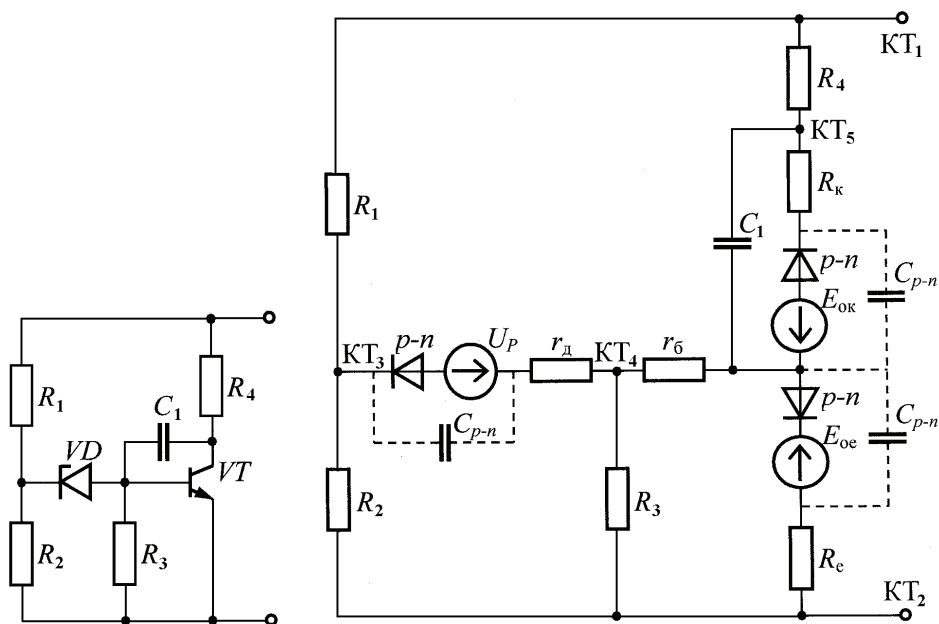


Рис. 7.18. Измерительная часть регулятора напряжения:

а – схема электрическая принципиальная; *б* – дискретная диагностическая модель

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.

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. 7.19. 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.

Рассмотрим только первые шесть состояний, как наиболее вероятные. Для выбранных состояний составляем таблицу сопротивлений (табл. 7.5). Сопротивления, которые измеряются между контрольными точками схемы, соответствуют проверкам R_{ij} , причем в точке i принимаем положительное подключение омметра «+», а в точке j – отрицательное «-».

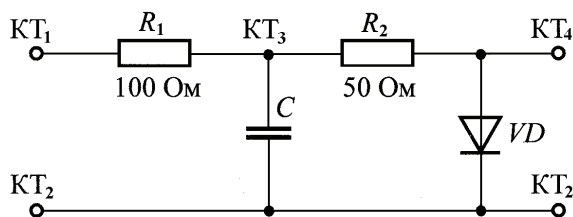


Рис. 7.19. Дискретная диагностическая модель

Таблица 7.5

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

На основании табл. 7.5 составляем бинарную таблицу неисправностей (матрицу состояний). **Матрица состояний** (МС) заполняется следующим образом (табл. 7.6). 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 7.6

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. 7.5). Если состояния не различают по значения ДП (сопротивлений),

то необходимо увеличить количество проверок (измерений) путем задания дополнительных контрольных точек или диагностических разрывов кольца.

7.11.3 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. 7.5). Для этого задают пределы допустимых значений сопротивлений ($\pm 10\%$) и назначают проверки с двухсторонним ограничением (табл. 7.7):

$$\begin{aligned} & \Pi_1 - R_{12} > 135; \quad \Pi_2 - R_{12} < 165; \quad \Pi_3 - R_{21} > 165; \quad \Pi_4 - R_{13} > 90; \\ & \Pi_5 - R_{13} < 110; \quad \Pi_6 - R_{14} > 135; \quad \Pi_7 - R_{14} < 165; \quad \Pi_8 - R_{23} > 165; \\ & \Pi_9 - R_{32} > 45; \quad \Pi_{10} - R_{32} < 55; \end{aligned}$$

Таблица 7.7

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}
$R_{\text{ном}}$	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. 7.8).

В полученной таким образом матрице состояний все заданные состояния схемы – различные (нет одинаковых строк). Матрица состояний 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. 7.9).

Таблица 7.8

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

Таблица 7.9

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 негативной 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 системы. 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. 7.5), для которой сформирована таблица неисправностей (см. табл. 7.6). Бинарная таблица неисправностей имеет неразличимые состояния S_4 , S_5 . Согласно таблице сопротивлений для состояний S_4 , S_5 раз-

личимыми 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. 7.10) 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 7.10

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

7.11.4 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 устройства необходимо выполнить следующие действия:

- 1 составить схему модели, структурированную до уровня логических элементов с обозначением связей между ними;
- 2 пронумеровать позиции логических элементов, которые входят в состав устройства в направлении движения информации;
- 3 определить входные и выходные выводы устройства на ДМ;
- 4 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 элемен-

тов (микросхем). На рис. 7.20 представлено цифровое устройство, которое выполняет функции мультиплексора.

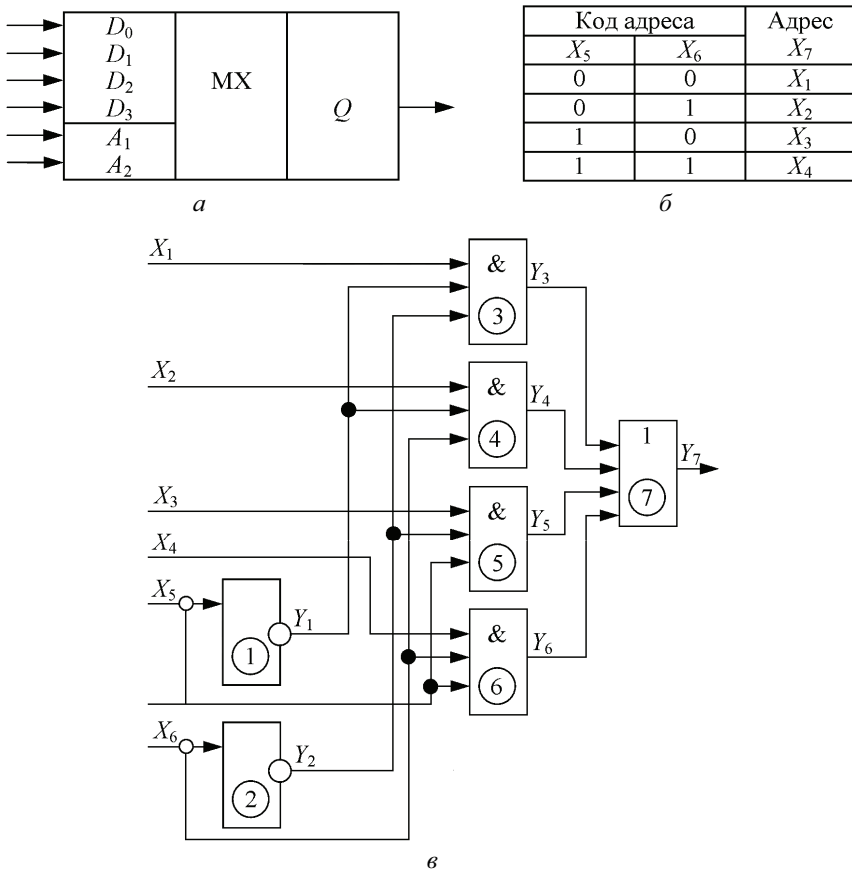


Рис. 7.20. Мультиплексор: а – условно обозначение микросхемы; б – таблица адресов; в – цифровая диагностическая модель

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. 7.20, в). Ставится задание – определить неисправный логический элемент модели, задавая на входах X_i цифровые тесты в виде шестизначного слова путем регистрации одного двоичного сигнала (реакции) Y_7 на выходе Q .

Чтобы определить необходимые диагностические тесты, цифровую ДМ структурного типа (рис. 7.20, б) интерпретируют к виду аналитического выражения, используя алгебру логики. Для рассмотренного мультиплексора функция логических превращений имеет вид

$$Y_7 = Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 = X_1 \cdot \bar{X}_5 \cdot \bar{X}_6 + X_2 \cdot \bar{X}_5 \cdot X_6 + \\ + X_3 \cdot \bar{X}_6 \cdot X_5 + X_4 \cdot X_5 \cdot X_6. \quad (7.10)$$

Дополняя эту формулу позициями функциональной привязки, получим цифровую модель, которая представлена эквивалентной нормальной формой (7.11).I

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

$$Y_7 = X_{13,7} \cdot \bar{X}_{51,3,7} \cdot \bar{X}_{62,3,7} + X_{24,7} \cdot \bar{X}_{51,4,7} \cdot X_{64,7} + \\ + X_{35,7} \cdot \bar{X}_{62,5,7} \cdot X_{55,7} + X_{46,7} \cdot X_{56,7} \cdot X_{66,7}. \quad (7.11)$$

Для систем, которые состоят из отдельных цифровых устройств (микросхем) или ДМ ЭНФ строят аналогично.

7.12 Методы создания диагностических тестов и построения алгоритмов диагностирования

7.12.1 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 Π_j , а строки – элементы множественного числа U_e , которое состоит из пар различных состояний S_i, S_k . Таблица покрытий формируется так. На перекресте столбца Π_j и строки U_e относится значение двоичной переменной $A_{j,e}$ при условии, что

$$A_{j,e} = \langle 1 \rangle, \text{ если результат ТН} - r_{i,j} \neq r_{k,j}; \\ A_{j,e} = \langle 0 \rangle \text{ при } r_{i,j} = r_{k,j}.$$

Как правило, значения $\langle 0 \rangle$ в таблице покрытий не проставляют.

Для примера рассмотрим ТП (табл. 7.11), сформированную на основе МС (см. табл. 7.4). При формировании ТП в данном случае предусматривается, что диагностике подлежат только неисправные ОД.

Таблица покрытий имеет следующие свойства:

- 1 если в ТП образуется пустая строка, то пара состояний, которая соответствует этой строке, не различается на заданном множествен-

ном числе проверок.

- 2 если в ТП образуется пустой столбец, то проверка, которая соответствует этому столбцу, не выявляет ни одну неисправность и этот столбец можно выделить из таблицы.

Перечисленные свойства ТП соответствуют правилам сокращения ТН, которые упоминались ранее. Таблица покрытий может интерпретироваться аналитическим выражением, которое называется функцией таблицы покрытий.

Таблица 7.11

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 таблицы – последовательность преобразования

Функция таблицы покрытий (ФТП) – это аналитическое выражение в виде логического произведения, множители которого соответствуют строкам ТП и определяются, в свою очередь, как суммы проверок, которые содержат «1» в строках.

Для ТП (см. табл. 7.11) функция ТП имеет вид:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{ТП}} = & (\Pi_1 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6) \cdot (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6) \cdot \Pi_1 \cdot (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4) \cdot \\
 & \cdot (\Pi_2 + \Pi_5 + \Pi_6) \cdot (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5) \cdot \Pi_2 \cdot (\Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6) \cdot \\
 & \cdot (\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_6) \cdot (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6) \cdot (\Pi_5 + \Pi_6) \cdot (\Pi_3 + \Pi_6) \cdot (\Pi_2 + \Pi_4) \cdot \\
 & (\Pi_3 + \Pi_5) \cdot (\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5).
 \end{aligned}$$

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 ди-

агностический 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. Тожественности, что вытекают из данных законов, имеют вид

$$\begin{aligned} X \cdot X &= X; & X \cdot (X + Y) &= X + X \cdot Y = X; & (X + Y) \cdot Z &= X \cdot Z + Y \cdot Z; \\ (X + Y) \cdot (X + Z) &= X + Y \cdot Z; & X \cdot Y + X \cdot \bar{Y} &= X; & \overline{X \cdot Y} &= \bar{X} + \bar{Y}. \end{aligned} \quad (7.12)$$

Используя приведенные тождества, выходная функция может быть предоставлена в виде ЭНФ

$$\begin{aligned} f_{\text{ТП}} &= \Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_5 + \Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3 \cdot \Pi_6 + \Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_5 \cdot \Pi_6 + \\ &+ \Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3 \cdot \Pi_5 + \dots + \Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_5 \cdot \Pi_6. \end{aligned}$$

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. 7.11). Тогда тестам, которые получены из функции $f_{\text{ТП}}$, можно присвоить следующие атрибуты:

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5 - \Sigma C_j = 16, n_{\text{П}} = 5$ – элементарный тест;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_6 - \Sigma C_j = 12, n_{\text{П}} = 4$ – ОДТ, МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_5, \Pi_6 - \Sigma C_j = 14, n_{\text{П}} = 4$ – МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_5 - \Sigma C_j = 13, n_{\text{П}} = 4$ – МДТ;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6 - \Sigma C_j = 17, n_{\text{П}} = 5$ – элементарный тест.

Согласно приведенному перечню, второй тест удовлетворяет двум критериям одновременно.

7.12.2 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 рассмотрении 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 , что имеет одну «1» в столбце P_j , то строка U_e вычеркивают, а проверку P_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 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. 7.11) 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 Π_1 вычеркивается как пустой (правило 4);
- 7 столбцы проверок Π_2, Π_4 одинаковые, как частный случай сравнения, проверку Π_4 сокращаем (правило 2);
- 8 строка U_{13} содержит одну «1» в проверке Π_2 , строка U_{13} вычеркивается (правило 3), а проверка Π_2 добавляется к тесту. За результатами сокращений получена циклическая таблица (табл. 7.12);
- 9 вычеркиваем столбец с максимальным количеством «1» (по критерию минимальной стоимости из равных выбираем Π_3), добавляем проверку Π_3 в ДТ, а из таблицы удаляем соответствующие строки U_{12}, U_{15} (правило решение циклической таблицы);
- 10 из сравниваемых проверок оставшиеся Π_5, Π_6 добавляем в состав ДТ проверку Π_6 с меньшей стоимостью, а проверка Π_5 сокращается (правило 2).

Таблица 7.12

Циклическая таблица

U_e	Π_j			
	Π_3	Π_5	Π_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 – $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_6$. 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. 7.17) 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.

7.12.3 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 избранной 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. 7.20:

- 1 выражение ЭНФ имеет вид (7.12) 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 (7.12) 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 (7.12), 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 ло-

кализации 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 «Н1» ($Y_1 = 1$) эти тесты можно представить в виде таблицы истинности (табл. 7.13).

Таблица 7.13

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. 7.14).

Таблица 7.14

Диагностические тесты цифровой диагностической модели

Состояния S_i	X_j							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y'	Y
$Y_1 = 1$	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

Тесты, которые формируются на входах устройства, должны быть различимыми для всех ее заданных состояний. Если результаты опроса устройства первичными тестами добавляют 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.

7.12.4 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

$$F = \frac{f_1(\Pi_j)}{f_2(\Pi_j)}, \quad (7.13)$$

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. Функция преимущества по критерию стоимости F_1 , информативности F_2 и результативности F_3 , имеют вид

$$F_1 = 1/C_j; \quad F_2 = 1/l_j; \quad F_3 = 1/p_j, \quad (7.14)$$

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 двухкритериальной, 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 многокритериаль-

ных ФП (или нескольких однокритериальных) для оптимизации алгоритма диагностирования необходимо задавать их приоритет:

$$F_{1,2} = \frac{1}{C_j \cdot l_j}; \quad F_{3,1,2} = \frac{1}{p_j \cdot C_j \cdot l_j}. \quad (7.15)$$

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

$$Ц_{АД} = \sum_{i=1}^N C_{Si} \cdot P_i, \quad (7.16)$$

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.

7.12.5 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 локализации каждого состояния, не должны повторяться. Как пример рассмотрим побудованния АД для МДТ, полученного на основе матрицы состояний (см. табл. 7.6). Сформируем матрицу состояний, которая составляет совокуп-

ность проверок МДТ, и дополним ее распределением вероятностей P_i и стоимостей C_j (табл. 7.15).

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 $S_3 - \langle 1 \rangle$; $S_5 - \langle 0 \rangle$.

Таблица 7.15

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	

Графическое изображение построенного алгоритма диагностирования приведено на рис. 7.21, 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. 7.21, 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. 7.15). Графическое изображение алгоритма с использованием функции преимущества по результативности приведено на рис. 7.21, в.

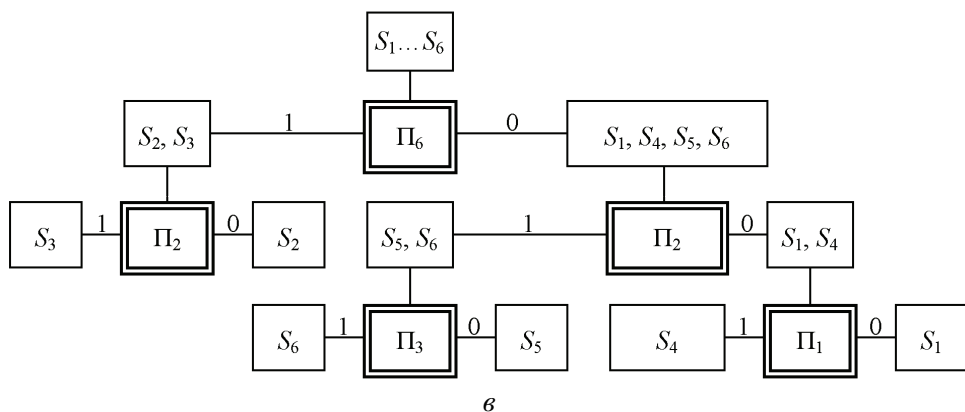
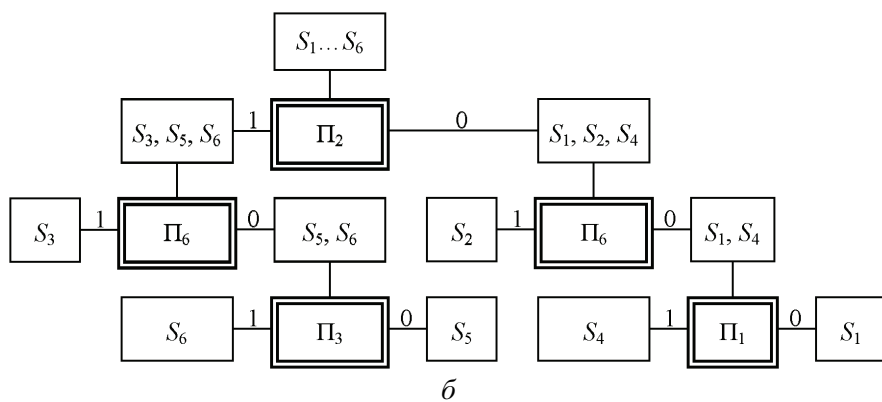
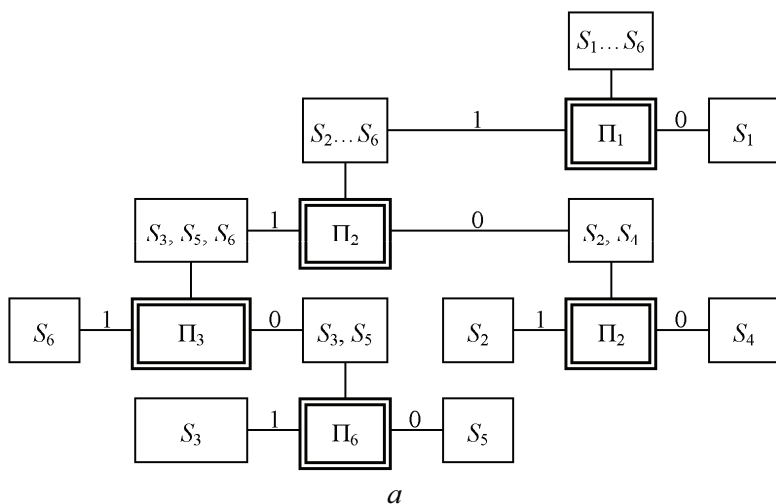


Рис. 7.21. Алгоритмы диагностирования, построенные с использованием функции преимущества: *a* – по стоимости; *б* – по информативности; *в* – по результативности

Анализируя алгоритм диагностирования (см. рис. 7.21), 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. 7.21, б) и результативности (см. рис. 7.21, в). Для сравнения АД, оптимизированных по разным критериям, определяем их цены по формуле (7.14)

$$\Pi_1 = C_{S1} \cdot P_1 + C_{S2} \cdot P_2 + C_{S3} \cdot P_3 + C_{S4} \cdot P_4 + C_{S5} \cdot P_5 + C_{S6} \cdot P_6 =$$

$$= 1 \cdot 0,08 + 7 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,02 = 8,15;$$

$$\Pi_2 = 7 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,25 + 9 \cdot 0,02 = 7,04;$$

$$\Pi_3 = 7,04.$$

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

$$F_4 = p_i / C_j. \quad (7.17)$$

Если предусматривается неисправность любого количества элементов ОД, то самым оптимальным является АД, построенный с использованием ФП в виде

$$F_5 = \frac{1}{C_j(1 - P_i)}. \quad (7.18)$$

Рассмотренные ФП используются при оптимизации АД для объектов с простыми структурами и условиями. Более тяжелыми задачами оптимизации являются процессы построения АД при наличии погрешностей первого рода, при проверках методом замены, при наличии зависимых отказов и при ограничениях на расходы.

В дополнении А пособия приведен пример построения и анализа диагностической модели микропроцессорной системы управления двигателем инжектора. В примере рассмотрено: преобразование схемы системы к виду функциональной модели, построение таблиц неисправностей, определение диагностических тестов, устранение неразличимости состояний, определение распределения вероятностей отказов и стоимости проверок, составление алгоритмов диагностирования и расчет их условной цены.

Контрольные вопросы

- 1 Какие необходимы знания при решении задач поиска дефектов на стадии доводки и эксплуатации автомобилей?
- 2 Объясните понятие «диагностическая модель». Какими особенностями она должна обладать?
- 3 Какие бывают типы диагностических моделей?
- 4 От каких условий зависит выбор модели диагностирования?
- 5 Что собой представляет явная и неявная модель объекта диагностирования?
- 6 В каких случаях объект диагностирования можно представить непрерывной моделью?
- 7 Перечислите, какие группы моделей можно использовать для получения диагностического обеспечения?
- 8 Приведите примеры графоаналитических моделей диагностирования?
- 9 Какие возможности для исследований дают имитационные модели?
- 10 Назовите типы диагностических моделей по способу их формирования?
- 11 Какие бывают диагностические модели по глубине описания?
- 12 Приведите классификацию непрерывных, дискретных и специальных диагностических моделей.
- 13 Приведите примеры топологических диагностических моделей.
- 14 Приведите классификацию физических, символических и интуитивных моделей объектов диагностирования.
- 15 Какие бывают информационные модели объекта диагностирования и как их можно разделить?
- 16 Как можно представить функционально-логическую модель объекта диагностирования?
- 17 Что может отражать логическая модель объекта диагностирования?
- 18 Как можно построить логическую модель диагностирования?
- 19 Каковы достоинства динамических диагностических моделей?
- 20 Сформулируйте понятие математической модели.
- 21 Какой первый этап построения математической модели?
- 22 Какова эффективность применения математического моделирования при определении неисправностей в электронных системах диагностирования?
- 23 Приведите аналитические, графические и графоаналитические методы анализа диагностических моделей.
- 24 Какие исследования необходимо проводить для построения диагностической модели?
- 25 Каково назначение математической модели диагностирования?

- 26 Какие задачи позволяет решить аналитическая модель объекта диагностирования?
- 27 Какие возможности вероятностных и детерминированных моделей в распознавании (прогнозировании) технического состояния?
- 28 Какие применяются статистические методы распознавания технического состояния?
- 29 В чем заключается различие методов Бейса и Вальда в распознавании технического состояния объекта диагностирования?
- 30 Как Вы представляете понятие табличный алгоритм поиска неисправностей?
- 31 Что представляет собой диагностическая матрица?
- 32 Представьте схему диагностической матрицы.
- 33 Что представляет собой структурно-следственная схема узла или механизма?
- 34 Приведите упрощенную структурно-следственную диагностическую модель на примере объекта диагностирования «Гильза-кольцо-подшипник» ЦПГ двигателя.
- 35 Приведите общую схему построения функционально-логической схемы на примере двигателя и автомобиля.
- 36 Как можно построить граф-модели технической системы (механической и электронной) в пространстве свойств и пространстве параметров.
- 37 Расскажите о методе морфологического анализа объекта диагностирования.
- 38 Объясните понятие «Функциональная диагностическая модель».
- 39 Перечислите условия построения функциональной диагностической модели электрической системы.
- 40 В каком виде может предоставляться диагностическая электрическая модель?
- 41 Объясните понятие «Таблица неисправностей».
- 42 Приведите порядок формирования таблицы неисправностей.
- 43 Объясните понятие «Дискретная диагностическая модель».
- 44 Перечислите условия построения дискретной диагностической модели.
- 45 Что такое матрица состояний?
- 46 Назовите методы устранения неразличимости состояний в бинарных таблицах неисправностей.
- 47 В чем заключается метод устранения неразличимости состояний по допустимым значениям диагностического параметра в таблицах неисправностей?
- 48 В чем заключается метод отрицательной проверки для устранения неразличимости состояний в таблицах неисправностей?
- 49 Каким образом формируется таблица сопротивлений дискретной диагностической модели?
- 50 Как превратить таблицу сопротивлений дискретной диагностической модели в матрицу состояний?
- 51 Приведите правила сокращения матрицы состояний.
- 52 Определите понятие «Цифровая диагностическая модель».
- 53 Перечислите условия построения цифровой диагностической модели.
- 54 Каким образом получают аналитическое представление цифровой диагностической модели в виде выражения эквивалентной нормальной формы?
- 55 Определите понятие «Таблица покрытий».
- 56 С какой целью формируется таблица покрытий?
- 57 Как представить таблицу покрытий в виде аналитического выражения?
- 58 Перечислите свойства таблицы покрытий.
- 59 Определите понятие «Цена проверки».
- 60 Определите понятие «Минимальный диагностический тест».
- 61 Определите понятие «Оптимальный диагностический тест».
- 62 В чем заключается метод сокращенного перебора при определении минимального диагностического теста?
- 63 Приведите правила сокращения таблицы покрытий при определении мини-

мального диагностического теста.

64 Приведите процедуру определения диагностических тестов методом эквивалентной нормальной формы.

65 Определите понятие «Сравниваемые массивы» в таблице покрытий.

66 Приведите последовательность операций алгоритма определения диагностического теста для цифровой модели методом эквивалентной нормальной формы.

67 Какие критерии оптимизации используются при построении алгоритмов диагностирования?

68 Определите понятие «Функция преимущества».

69 Перечислите виды функций преимущества.

70 Как определяется параметр информативности для определенной проверки в бинарной таблице неисправностей?

71 Как определяется параметр вероятности для определенной проверки в бинарной таблице неисправностей?

72 Определите понятие «Стоимость алгоритма».

73 Какие выходные даны необходимые для построения алгоритмов диагностирования?

74 Приведите последовательность операций построения алгоритмов диагностирования.

75 Каким образом сравнивают алгоритмы диагностирования, построенные по различным критериям оптимизации для определенной модели?

8 СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

8.1 Общая характеристика средств диагностирования

Эффективность процессов диагностирования определяется не только качеством алгоритмов диагностирования, но и не в меньшей степени качеством средств диагностирования. Технические средства диагностирования относятся к измерительно-информационным системам и используются для определения технического состояния систем.

Диагностическое оборудование предназначается для проверки технического состояния как автомобиля в целом, так и его узлов и систем. Техническое состояние в первую очередь оценивается уровнем безопасности движения, воздействием на окружающую среду, тягово-экономическими характеристиками и ресурсом.

Основными причинами недостаточной достоверности диагностической информации при использовании существующих средств диагностирования является слабая связь измеренных диагностических параметров с динамическими характеристиками механических систем машин и динамикой протекающих физико-химических процессов в парах трения. Большинство традиционных внешних механических средств диагностирования имеют малую контролепригодность, малый охват номенклатуры машин и невысокую надежность.

Диагностическое оборудование должно обеспечить определение параметров работоспособности в диапазоне, включающем в себя предельное значение параметра, и в предписанном режиме работы объекта. Оборудование для диагностирования должно обеспечить выявление неисправностей, способных повлиять на работоспособность объекта автомобиля. Если неисправности выявляются по изменению количественных значений параметров, оборудование должно обеспечивать определение этих параметров в необходимом диапазоне значений. Если неисправности выявляются только в определенных силовых, скоростных, тепловых режимах, оборудование должно обеспечивать воспроизведение этих режимов при диагностировании.

Большинство средств диагностирования автомобилей разрабатываются для оценки общего технического состояния по функциональным параметрам, а также углубленного диагностирования структурных параметров без разборки по косвенным параметрам. Методы диагностирования машин, их агрегатов и узлов характеризуются способом измерения и физической сущностью диагностических параметров (рис. 8.1).

Они могут быть аппаратными или программными, внешними или встроенными, ручными, автоматизированными или автоматическими, специализированными или универсальными (рис. 8.2), должны включать стендовое оборудование и эксплуатационно-техническую документацию.

Основным принципом классификации средств технического диагностирования (СТД) является их функциональное назначение, то есть отнесение к соответствующему виду работ.



Рис. 8.1. Классификация диагностического оборудования

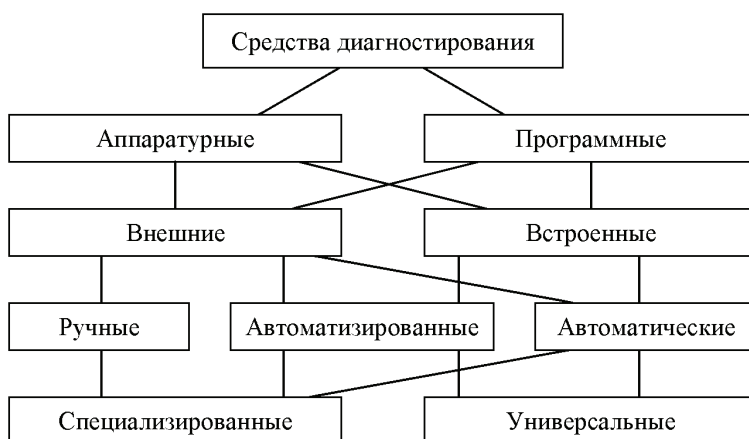


Рис. 8.2. Классификация средств диагностирования

По функциональному назначению средства технического диагностирования разделяют на такие группы: комплексные – для диагностирования машины в целом; двигателя и его системы; органов управления, тормозных систем; системы внешних световых приборов; трансмиссии; ходо-

вой части и подвески; электрооборудования; гидравлических систем; рабочего и специального оборудования.

По принципу действия (методу контроля) диагностическое оборудование, в зависимости от метода измерения, на котором оно основано, может быть метрическим, оптическим, виброакустическим и т. д.

По технологическому расположению диагностическое оборудование может быть внешним, встроенным и смешанным. Внешнее оборудование устанавливается вне автомобиля и служит для его периодического контроля и обслуживания агрегатов и узлов.

Внешнее оборудование, в свою очередь, подразделяется на подвесное, напольное, канавное.

По типу привода рабочих органов диагностическое оборудование может иметь механический, электрический, гидравлический, пневматический и комбинированный привод (или их комбинацию).

По степени специализации все оборудование делится на узкоспециализированное, которое можно использовать только для одного типа подвижного состава; специализированное, используемое для обслуживания любых типов подвижного состава.

По подвижности диагностическое оборудование делится на передвижное, переносное, стационарное.

По уровню автоматизации диагностическое оборудование делится на ручное, механизированное и автоматизированное.

8.2 Классификация средств измерений по виду диагностических параметров

В настоящее время принято выделять три основные группы средств технического измерения, классифицированных в зависимости от вида диагностических параметров (рис. 8.3).

Внешние средства базируются в основном на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля и определении при заданных условиях выходных параметров. Для этих целей используются стенды с беговыми барабанами или параметры определяются непосредственно в процессе работы автомобиля на линии.

Примеры внешних средств диагностирования и диагностических параметров эксплуатационных свойств автомобиля приведены в табл. 8.1.

В табл. 8.1 приведены основные диагностические параметры эксплуатационных свойств автомобиля: колесная мощность N_K и ее производные, скорость движения v_a , сила тяги P_K , сопротивление движению P_f и выбег s_B ; путь S_P , время t_P и ускорение j_P разгона, удельный расход топлива Q на характерных скоростных и нагрузочных режимах, тормозной путь s_T , тормозные силы P_T , путь s_3 , время t_3 и величина замедления j_3 ; боковые силы P_6 , действующие в пятне контакта шин с дорогой; токсичность отработавших газов на CO, уровень шума.

Встроенное оборудование находится непосредственно на автомобиле (встраивается в автомобиль) и может осуществлять как непрерывный, так и

периодический контроль в автоматическом или управляемом режиме. Оно может включать в себя методы, оценивающие по герметичности рабочих объемов степень износа цилиндропоршневой группы двигателя, работоспособность пневматического привода тормозов, плотность прилегания клапанов и т. п. путем создания в контролируемом объеме избыточного давления (опрессовки) или, наоборот, разрежения и в оценке интенсивности падения давления (разрежения), устройства для централизованного съема информации, оценки параметров состояния.

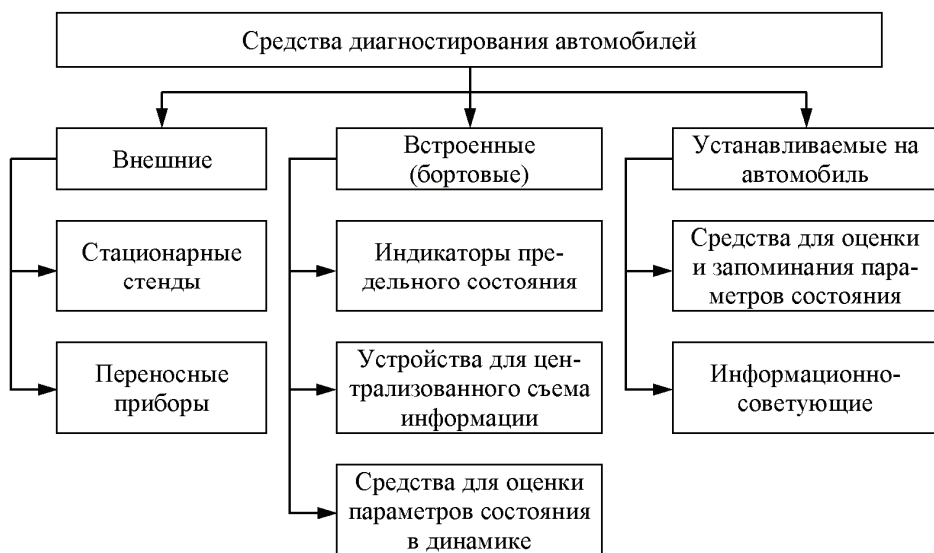


Рис. 8.3. Классификация средств технического диагностирования по технологическому расположению

Таблица 8.1

Диагностические параметры и средства для их измерения

Эксплуатационные свойства автомобиля	Диагностические параметры	Средства диагностирования	
		специализированные	универсальные
Тягово-экономические	$N_K, P_K, \omega_a, P_f, s_B, S_P, t_P, CO, A, Q$	Стенд тяговых качеств	Комбинированный стенд
Тормозные	P_T, s_T, j_3, t_3, s_3	Тормозной стенд	Комбинированный стенд
Ходовые	P_6	Стенд ходовых качеств	Комбинированный стенд

Смешанным оборудованием является такое оборудование, часть которого располагается на автомобиле (накопители информации), а часть вне его – для съема и анализа информации. В состав СТД входят в различных комбинациях следующие основные элементы: устройства, задающие тесто-

вый режим; датчики, воспринимающие диагностические параметры и преобразующие их в сигнал, удобный для обработки или непосредственного использования; измерительное устройство и устройство отображения результатов. Кроме того, СТД может включать в себя устройства автоматизации задания и поддержания тестового режима, измерения параметров и автоматизированное логическое устройство, осуществляющее постановку диагноза.

Особым требованиям должно отвечать оборудование для прогнозирования, то есть измерения выходных параметров, которые используют для прогнозирования (прогнозирующие параметры). Дальностью и надежностью прогноза определяется срок проведения следующего общего диагностирования. Поэтому нужно измерять прогнозирующие параметры во всем диапазоне их изменения с наименьшей погрешностью.

При диагностировании используют не только измерительные технические средства, но и возможности органов чувств человека, опыт, навыки; в простейших случаях используют органолептическое диагностирование, а в сложных – объективное инструментальное [19, 22, 34].

8.3 Классификация средств диагностирования по виду представляемой информации

Виды средств измерений и представления информации о результатах контроля диагностических параметров систем автомобиля показаны на рис. 8.4.

Средства диагностирования могут подсоединяться или работать совместно с контролируемым изделием только в момент контроля и не являются элементом изделия. Являются внешними:

- тормозной стенд, стенд для проверки углов установления колес;
- устройства контроля состава отработавших газов, тестеры, мультиметры, осциллографы, сканеры и др.

Другие средства диагностирования являются конструктивным элементом автомобиля и осуществляют контроль непрерывно или периодически по определенной программе.

Средства диагностирования могут:

- информировать о режимах работы и состоянии объекта: температура агрегатов, скорость, частота оборотов коленвала, давление масла и др.;
- предупреждать о возможном наступлении предотказного состояния или возникновении отказов: давление масла, заряд аккумуляторной батареи;
- отслеживать и запоминать информацию о состояниях для считывания в стационарных условиях;
- поиск неисправностей, самодиагностика;
- звуковая, визуальная, речевая информация о предотказном состоянии.



Рис. 8.4. Классификация средств диагностирования, предоставляющие информацию о состоянии объектов диагностирования

В последние годы наблюдается тенденция усложнения и совершенствования диагностического оборудования за счет широкого применения микропроцессорной техники, автоматизации рабочих процессов, упрощения подключения и приведения в действие оборудования. Например, все ведущие фирмы перешли к выпуску автоматизированных мотор-тестеров второго поколения, где вместо экрана осциллографа устанавливается дисплей, на котором высвечивается определенный перечень команд оператору по подключению датчиков к той или иной точке объекта диагностирования, команды о запуске двигателя, об изменении частоты вращения коленчатого вала и т. д. При этом все процессы измерения значений параметров и постановка диагноза проводятся автоматически посредством микропроцессора, на экран дисплея в результате выводятся обработанные результаты диагностирования в виде указаний по проведению необходимых ремонтно-регулирующих операций и замен. Роль оператора при этом значительно упрощена при принятии решений в части технического обслуживания или текущего ремонта. Применение объективных методов инструментального контроля

обеспечивает при определенном повышении расходов на оборудование существенную экономию на подготовку кадров.

В ряде диагностических приборов на дисплее может выдаваться рекомендации в виде конкретного перечня работ, которые необходимо выполнить для данного автомобиля.

В блоке памяти могут содержаться сведения о предыдущем контроле данного автомобиля, что позволяет проследить динамику изменения диагностических параметров и дать прогноз наработок до предельно допустимых значений параметров технического состояния.

Современные встроенные (бортовые) СТД – это включенные в конструкцию автомобиля датчики, устройства измерения, микропроцессоры и устройства отображения диагностической информации. Классификация встроенных систем диагностирования приведена на рис. 8.5.

Простые встроены СТД реализуются в виде традиционных приборов на панели перед водителем, номенклатура которых на современных автомобилях постоянно расширяется за счет ввода новых СТД, в особенности электронных, таких, которые обеспечивают контроль состояния все более сложных элементов конструкции автомобилей. Более сложные встроенные СТД позволяют водителю постоянно контролировать состояние элементов привода и рабочих механизмов тормозной системы, расход топлива, токсичность отработавших газов в процессе выполнения транспортной работы и выбирать наиболее экономичные и безопасные режимы движения автомобиля или своевременно прекращать движение при возникновении аварийной ситуации.

Наличие таких средств позволяет своевременно выявлять наступление предотказных состояний и назначать проведение предупредительных действий по фактическому состоянию, обеспечивая тем самым полное использование ресурса деталей и агрегатов. Широкое использование встроенных СТД с достаточно развитыми информационными возможностями на автомобилях массового выпуска целесообразно, но ограничивается их надежностью и экономическими критериями. В связи с этим в последние годы вместо встроенных СТД получили распространение устанавливаемые на автомобиль СТД (см. рис. 8.3).

Устанавливаемые на автомобиль СТД отличаются от встроенных конструктивным выполнением средств обработки, хранения и выдачи информации. Эти элементы выполняются не встроенными в автомобиль, а в виде блока, который устанавливается на автомобиль периодически перед выходом его на линию и снимается в конце смены по возвращении автомобиля в парк. Поскольку плановые и заявочные диагностирования автомобиля проводятся относительно редко, это позволяет иметь значительно меньшее количество устанавливаемых СТД по сравнению со встроенными СТД и обойти ограничения экономического порядка.

Устанавливаемые СТД изготавливаются на базе электронных элементов. Это позволяет эффективно использовать ЭВМ для обработки получаемой диагностической информации о техническом состоянии автомобилей и последующего использования для решения задачи управления производством

ТО и ремонту автомобилей. Кроме того, в последнее время на базе устанавливаемых и встроенных СТД находят все более широкое применение системы информационно-советующие (см. рис. 8.3).

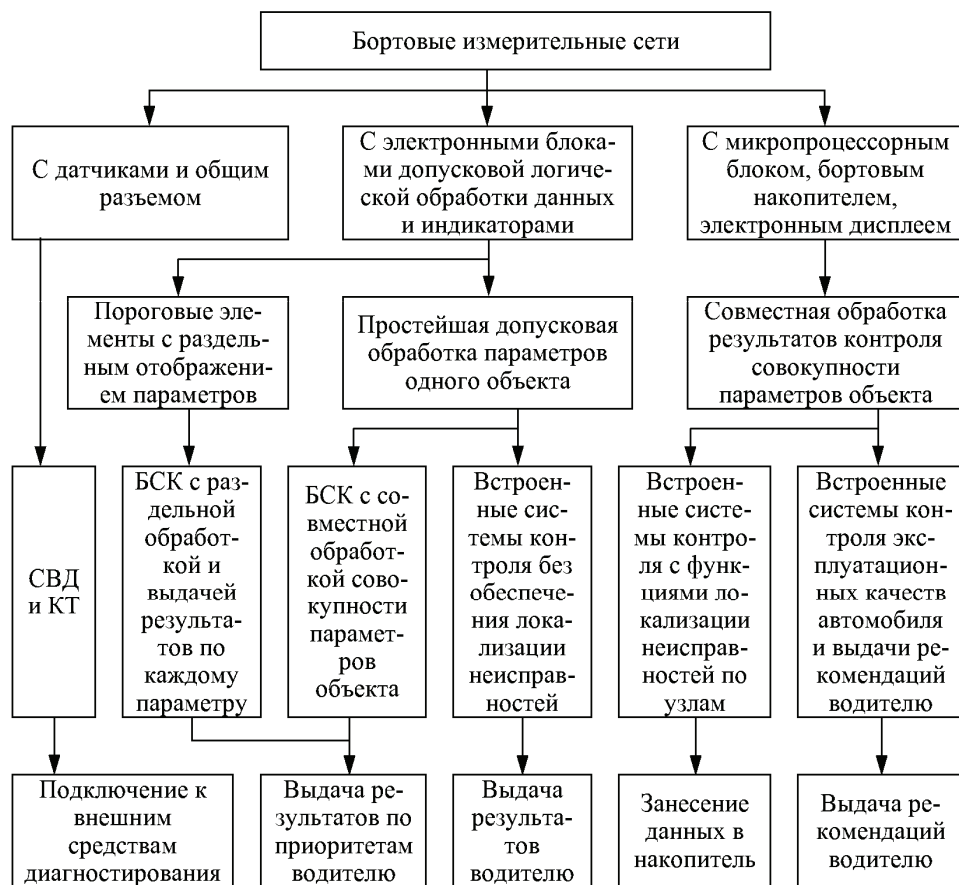


Рис. 8.5. Классификация встроенных средств диагностирования

Информационно-советующие системы позволяют проводить обучение методам экономичного и безопасного движения, аттестацию режимов движения, на маршрутах и определять маршрутные нормативы времени движения, расход топлива, расходов на ТО и ремонт.

Целесообразность использования конкретных средств диагностирования определяется с применением экономико-вероятностного метода, который учитывает стоимость диагностических средств самого технологического процесса, а также влияние диагностирования на безотказность, долговечность автомобиля и периодичность его ТО.

Содержательно задача построения заключается в том, чтобы найти (вычислить, избрать, назначить) такую совокупность и, возможно, последо-

вательность входных влияний, при подаче которых на объект диагностирования полученные в заданных контрольных точках ответы объекта позволяют сделать вывод о его техническом состоянии.

В настоящее время ведущие автомобилестроительные фирмы применяют на легковых автомобилях от большого до малого классов разветвленные микропроцессорные БСК для допускового контроля 15...20 и более параметров. В дополнение к функциям первых внедренных БСК эти системы обеспечивают контроль состояния сцепления, амортизаторов, аккумуляторной батареи, системы зажигания, компрессии по цилиндрам и др. (рис. 8.6).

Для поэлементной проверки, определения характера неисправностей и поиска отказавших элементов наиболее сложные микропроцессорные системы управления оснащают специальным «диагностическим разъемом» и подключают к ним вторичные переносные тестеры. Примером может служить диагностическое обеспечение выпускаемых фирмой WABCO антиблокировочных микропроцессорных тормозных систем, включающих «диагностический разъем», простейшие встроенные элементы самоконтроля и вторичные переносные тестеры для проверки пневмоаппаратов и электронных блоков антиблокировочных систем.

В блоке памяти встроенных систем диагностирования хранится информация для механика-диагноста, команды автоматическим регуляторам по ограничению скорости движения, частоты вращения коленчатого вала двигателя, данные для своевременной постановки автомобиля на ТР и ТО, замены конкретных узлов и агрегатов, что вместе со стационарными комплексами АСУ определяет остаточный ресурс.

Одним из показателей диагностирования, которые должны обеспечить технические средства диагностирования (ТСД), является глубина поиска дефекта. Чем ниже уровень структурной единицы, тем более сложный алгоритм поиска в ней дефекта и тем выше стоимость ТСД. В то же время, чем ниже уровень структурной единицы, тем ниже стоимость запасных элементов. В связи с этим при задании глубины поиска дефекта необходимо обеспечить минимальные расходы на создание ТСД и запасных элементов.

В настоящий момент возможности ранней диагностики зарождающихся дефектов конструкции существенно повысились. Применение современной профессиональной ЭВМ при наличии соответствующего программного обеспечения практически снимает ограничение на возможности анализа сигналов.

Постановка диагноза – это типичная задача синтеза, который требует обобщения большого количества разносторонних сведений для создания картины, которая целостно развивается во времени и в пространстве из ее отдельных разрозненных фрагментов. В таких вопросах человек – пока самое слабое звено. Поэтому диагностический вывод обычно ставит специалист – диагност, который привносит, к сожалению, значительную долю субъективизма. На нынешнем уровне развития методологии диагностики сложных машин результаты машинного анализа нужно считать информацией к размышлению, но не объективным и окончательным выводом. Руководствоваться им без критического осмысления нельзя.

8.4 Системы диагностирования

8.4.1 Виды систем диагностирования

Системы диагностирования предназначены для проверки исправности, работоспособности, функционирования и поиска дефектов. Различают следующие виды систем диагностирования:

- по характеру взаимодействия между объектом и средством диагностирования: функциональное и тестовое диагностирование (в случае необходимости могут быть одновременно использованы системы функционального и тестового диагностирования);
- по используемым средствам диагностирования: с универсальными и специализированными, вмонтированными и внешними средствами диагностирования;
- по степени автоматизации диагностирования: автоматические, автоматизированные, ручные;
- по степени охвата изделия: локальные и общие.

Определение технического состояния агрегата, узла, автомобиля, в целом или объекта диагностирования выполняют с помощью контрольно-диагностических средств (control-diagnostic facilities).

На рис. 8.7 приведена схема системы технического диагностирования. Из схемы видно, что элементами системы могут быть объекты, средства и алгоритмы диагностирования. В отдельных случаях она включает и операторов-исполнителей. При диагностировании ставится цель сбора необходимой информации для управления надежностью объектов [14].

Различают системы универсальные, предназначенные для нескольких различных диагностических процессов, и специальные, обеспечивающие только один диагностический процесс (рис. 8.8).

Диагностические системы могут быть общие, когда объектом является изделие в целом, а целью – определение его состояния на уровне «годно-негодно» и локальные – для диагностирования составных частей объекта (агрегатов, систем, механизмов). Кроме того, диагностические средства могут быть ручными или автоматизированными (автоматическими).

Взаимодействие объекта диагностирования и контрольно-диагностических средств составляет систему диагностирования (см. рис. 8.8), которая заключается в подаче на объект многократных воздействий (входных сигналов) и многократных измерений и анализа ответов (выходных сигналов) объекта на эти влияния. Влияния на объект могут поступать от контрольно-диагностических средств или через наружные сигналы, которые определяются рабочим алгоритмом функционирования объекта.

Диагностирование обеспечивает систему ТО и ремонта автомобилей индивидуальной информацией об их техническом состоянии и, следовательно, является элементом этой системы. Диагностирование объекта – автомобиля, агрегата, механизма – осуществляют согласно алгоритму (совокупности последовательных действий), установленному технической документацией. Комплекс, включающий объект, средства и алгоритмы, образует систему диагностирования.



Рис. 8.7. Схема системы технического диагностирования

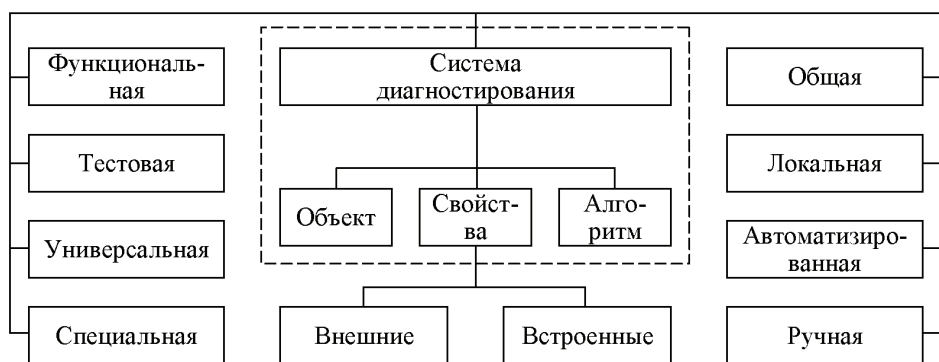


Рис. 8.8. Структура разновидностей систем диагностирования

Объект системы диагностирования характеризуется необходимостью и возможностью диагностирования. В свою очередь, необходимость диагностирования автомобиля определяется закономерностями изменения его технического состояния и затратами на поддержание работоспособности.

Возможности диагностирования обусловлены наличием внешних признаков, позволяющих определить неисправность автомобиля без его разборки, а также доступностью измерения этих признаков.

8.4.2 Требования к разработке и обоснованию применения систем диагностирования

При разработке системы диагностирования для обеспечения взаимодействия объекта и средства диагностирования должны быть решены следующие задачи: технико-экономическое обоснование выбора вида и назначения системы диагностирования; анализ физических процессов, которые происходят в объекте диагностирования, для обнаружения механизмов возникновения и признаков проявления повреждений и дефектов; сбор и изучение априорных данных о характерных повреждениях и дефектах аналогичных изделий или их составных частей; выбор метода диагностирования; разработка модели объекта диагностирования; разработка алгоритма диагностирования; разработка конструктивных требований к объекту диагностирования для обеспечения его диагностирования и разработка соответствующей технической документации; выбор и разработка средств диагностирования; разработка устройств сопряжения объекта и средств диагностирования; разработка эксплуатационной и ремонтной документации для диагностирования; опробование системы диагностирования.

При разработке любых систем диагностирования и управления рабочими процессами или контроля, изучают объект, его возможные неисправности и признаки их проявления, выбирают или строят математическое описание (модели) поведения исправного объекта и его неисправных модификаций, проводят анализ математической модели с целью получения алгоритма диагностирования, который реализуется системой, вносят при необходимости изменения в структуру и конструкцию объекта для обеспечения необходимых условий диагностирования, выбирают или разрабатывают средства диагностирования и систему диагностирования в целом. Для разработки системы диагностирования сложных объектов могут быть необходимы итерации, которые сопровождаются возвратом из данного этапа разработки на предыдущие с соответствующим изменением принятых ранее решений. Существенную роль при этом могут сыграть вопросы обеспечения контролепригодности объекта, в частности, введение дополнительных контрольных точек, управляющих входов, изменение структуры объекта и др. В результате должен быть определен (например, явно в виде списка или неявно через указание свойств классов) перечень неисправностей, которые подлежат обнаружению и поиску в условиях производства и эксплуатации объекта, а также определены признаки проявления дефектов, которые входят в перечень. При формировании перечня следует учитывать опыт производства и эксплуатации аналогичных или таких же объектов, статистические данные по дефектам (неисправностям). Другим результатом изучения объекта должно быть установление нужной или, точнее, желаемой полноты обнаружения дефектов, а также желаемой глубины их поиска, то есть той «точности» (выраженной в термине конструктивных единиц объекта или в

терминах групп, которые не требуют различения дефектов), с которой должны отмечаться при диагностировании места неисправностей.

Под управлением понимают процесс выработки и осуществления целенаправленных (руководящих) действий на объект. Контроль является процессом сбора и обработки информации с целью определения событий. Если событием является факт достижения некоторым параметром объекта определенного заданного значения (установки), то говорят о контроле параметров. Если событием, которое фиксируется, является установление факта пребывания объекта в исправном или неисправном, работоспособном или неработоспособном состоянии, состоянии правильного или неправильного функционирования, то можно говорить о контроле технического состояния объекта. Более того, понятие контроля технического состояния можно распространить также на задачу поиска дефектов, если событие определить фактом указания местонахождения в объекте того или другого дефекта (неисправности).

Системы тестового диагностирования являются системами управления, поскольку в них реализуется разработка и осуществление специально организованных управляющих тестовых действий на объект с целью определения его технического состояния. Системы функционального диагностирования являются типичными системами контроля, которые не требуют подачи на объект целенаправленных воздействий. Это важно знать и учитывать разработчикам систем диагностирования. Системы как тестового, так и функционального диагностирования пользователь может назвать системами контроля технического состояния объекта. Исходя из этой точки зрения, системы, которые получили название систем неразрушающего контроля, являются классом систем тестового диагностирования, а виброакустические системы контроля технического состояния – классом систем функционального диагностирования.

8.5 Выбор диагностического оборудования и приборов

8.5.1 Краткая характеристика выпускаемого оборудования

Существуют многочисленные конструкции и типы стендов устройств и приборов для контроля одних и тех же узлов и агрегатов систем автомобилей разных типов и производителей [19, 22, 31, 49...55]. Их использование при диагностике позволяет обнаруживать скрытые неисправности автомобилей с количественной оценкой их параметров. При этом нет необходимости в разборке механизмов.

Выбор оптимального типа диагностического оборудования – очень важный практический вопрос. В настоящее время применяются в основном два вида станций диагностики: универсальные и со специализированными отдельными постами.

При наличии большого числа небольших специализированных станций технического обслуживания (ТО), главным образом легковых автомобилей (например, по двигателям, тормозам, ходовой части, электрооборудованию, шинам и т. д.), владельцы этих станций стремятся иметь специали-

зированное контрольно-диагностическое оборудование, устанавливаемое, как правило, непосредственно на постах технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) автомобилей. Многочисленные фирмы по производству такого специализированного оборудования широко рекламируют его на различных международных выставках.

Критический анализ номенклатуры и качества применяемого для оценки технического состояния автомобилей диагностического оборудования позволяет разработать оптимальные технологические процессы диагностирования всех агрегатов и систем автомобиля.

Основным направлением применяемого и перспективного развития средств диагностики является компьютеризация диагностической техники. Наряду со стендовыми и бесстендовыми средствами технической диагностики объектами компьютеризации должны стать средства углубленного диагностирования, формируемые в специализированные комплекты по технологическому принципу их применения на постах ТО и Р.

Реальный успех применения компьютерной техники во многом зависит от квалификации и заинтересованности персонала, прежде всего инженерно-технического и управленческого. Даже при наличии компьютерной техники, заинтересованности в ее сбыте изготовителей, хорошего программного обеспечения необходимо учитывать специфику и особенности технической эксплуатации автомобилей, климатические, дорожные и прочие условия, а также организацию работ ТО и квалификацию персонала. Эти особенности требуют переподготовки персонала автотранспортных предприятий и центров технической диагностики. Им необходимо получить знания рабочих процессов и конструкции объектов диагностирования, организовать обучение методам диагностирования, типовым неисправностям и причинам их появления, диагностическим параметрам неисправностей и средств диагностирования. Персонал должен на углубленном уровне овладеть техникой диагностирования, понимать ее роль, возможности и перспективы.

Перечень оборудования и систем, необходимых для диагностики автомобилей, можно разделить на следующие основные группы средств:

- 1 диагностики двигателей;
- 2 анализа отработавших газов автомобилей;
- 3 диагностики тормозной системы автомобиля;
- 4 диагностирование ходовой части, рулевого управления и подвески автомобиля;
- 5 контроля технического состояния систем автомобиля, отвечающих за безопасность движения;
- 6 анализа тяговых характеристик автомобиля;
- 7 линий и комплексов технического контроля автомобилей;
- 8 диагностическое электронное оборудование бортовых систем автомобилей (тестеры, осциллографы, сканеры, мультиметры и др.).

Из-за ограниченного объема пособия в ней приведен лишь перечень основных диагностических средств без описания их технических характеристик. При формировании перечня основное внимание уделялось оборудо-

ванию фирмы Bosch (<http://www.bosch.ru>), так как оборудование этой фирмы считается одним из лучших, но, кроме этого, рассматривалось также оборудование фирм AmEuro (<http://www.ameuro.ru>), МАНА (<http://www.maha.ru>), Hoffmann, ОАО «Новгородский завод ГАРО» (ОАО «ГАРО»; <http://www.garo.novgorod.ru>), смоленский завод «Аналитприбор» и др. Технические возможности диагностического оборудования, отвечающего за безопасность движения, частично приведенного в табл. 8.2, постоянно совершенствуются, оборудование дополняется новым, поэтому справочные данные необходимо уточнять в каталогах соответствующих фирм.

Таблица 8.2

**Средства контроля технического состояния систем автомобиля,
отвечающих за безопасность движения**

Наименование и назначение средств диагностирования	Производитель
1	2
Стенд контроля состояния подвески и тормозов автомобиля SLD 300	Германия-Bosch
Стенды контроля люфтов подвески ATZ 15 и ATZ 130 MS	Германия-Bosch
Стенд для испытаний подвески автомобилей ДСА-S	Италия-CEMB
Приборы для регулировки света фар EFLE 51, EFLE 60, EFLE 61, EFLE 62	Германия-Bosch
Прибор для контроля и регулировки света фар автомобилей модель «Focus»	Италия-DIP DIVISION
Система управления, сбора и обработки данных euro-system	Германия-Maha
Стенд контроля точности показаний спидометра TPS1	Германия-Maha
Стенды контроля виброизоляторов SA2 и FWT1	Германия-Maha
Пост контроля состояния передней подвески и рулевого управления	Германия-Bosch
Стенд экспресс-диагностики схождения колес MINCI	Германия-Bosch
Прибор контроля света фар LITE 1.1 и LITE 1.2	Германия-Hoffmann
Стенд анализа геометрии ходовой части FWA 411	Германия-Hoffmann
Измерительная головка DSP 250/258	Германия-Hoffmann
Тестер для экспресс-диагностирования схождения колес SSP 400	Cartec
Прибор контроля геометрии осей легковых и грузовых автомобилей DYNALINER 313, 314, 316, 322, 326, 328, 330, 440, 600	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 314 для легковых автомобилей	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 316 для грузовых автомобилей	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 322 PC для грузовых автомобилей	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 326	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 328	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей LASERLINE 440	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей DYNALINER 330 OPEL	Германия-Hoffmann
Прибор контроля геометрии осей GEOLINER 600	Германия-Hoffmann

1	2
Площадные тесты К-619-112 для экспресс-диагностирования ходовой части и рулевого управления	Чехословакия-Testas 1
Стенд 665 PL-J и 8665 для диагностирования ходовой и рулевого управления	Франция-Bem Muller
Стенд К-612 площадный для экспресс-диагностирования управляемых колес легковых автомобилей	Россия-ОАО «ГАРО»
Стенд К-111 электрооптический для регулировки углов установки передних колес легковых автомобилей	Россия-ОАО «ГАРО»
Стенд полнокомплектный с тестером увода и тестером подвески СТС-ЗП-СП-12	Россия-ОАО «ГАРО»
Стенд компьютерный модели D111, F111, G111 и DYNALINER 288 для контроля правильности установки колес	Германия-Schenk
Прибор К 235М	Россия-ОАО «ГАРО»
Прибор К 526	Россия-ОАО «ГАРО»
Прибор К 524	Россия-ОАО «ГАРО»
Прибор ОП	Россия-ОАО «ГАРО»
Стенд контроля подвески К-491	Россия
Стенд контроля подвески К-113, К-114	Россия
Стенд контроля виброизоляторов Boge-69	Германия
Люфт-детектор АЛД-2000	Россия
Комплектные линии диагностики СТЗ-3-СП-11	Российско-германское производство
Комплектная линия контроля легковых автомобилей, микроавтобусов и мини-грузовиков ЛТК-ЗП-СП-11, ЛТК-ЗП-СП-16, выполнены на базе тормозного стенда	Российско-германское производство
Барабанный тормозной стенд FR	Испания-CEMB
Мощностные стенды FLA 203, FLA 206	Германия-Bosch
Мощностные стенды с беговыми барабанами LPS 2000	Германия-Maha

8.5.2 Линии комплексного технического контроля автомобилей

Описание линий комплексного технического контроля автомобилей описаны в табл. 8.3.

В настоящее время в ряде современных грузовых и легковых автомобилей применяются системы высокого технического уровня диагностического обеспечения встроенными и внешними (осциллографы, тестеры, мультиметры, сканеры) средствами. Эти системы позволяют контролировать десятки и сотни диагностических параметров встроенными средствами.

Налаженное обслуживание автомобилей с применением средств технической диагностики даже «среднего поколения» позволяют увеличить периодичность второго технического обслуживания (ТО-2) на 10...20 %, трудоемкость ТО-2 снижается на 10...15 %, затраты на текущий ремонт, расход на запасные части и расход топлива уменьшаются на 8...20 %. Затраты на диагностирование могли бы быть еще больше снижены, если бы транспортные машины имели более высокую степень контролепригодности, то есть были бы оснащены встроенными средствами (точками) контроля.

К недостаткам применения внешних средств диагностирования явля-

ются требование высокой квалификации диагноста (персонала), исключающих возможность ошибок в процессе диагностирования; выбор (присоединение) точек контроля, мест установки первичных датчиков, обработки результатов измерений параметров, что приводит к увеличению трудоемкости диагностирования. Процесс диагностирования внешними средствами можно представить в виде ряда последовательных этапов:

- присоединение первичных преобразователей и подключение измерительных приборов к объекту;
- установление необходимых режимов работы, включая тестовое воздействие;
- измерение параметров состояния;
- обработка результатов измерений;
- сравнение полученных данных с допускаемыми величинами;
- постановка диагноза и вычисление остаточного ресурса составных частей, выход из строя которых обуславливает отказ или потребность ремонта;
- принятие решения об объемах и видах технического обслуживания и ремонта;
- отключение измерительных приборов и снятие измерительных преобразователей.

В настоящее время имеется много различных сканирующих тестеров. Их применение дает диагносту возможность отыскать неисправности в электронных системах управления двигателей, коробкой передач, тормозными системами, стабилизацией движения и курсовой устойчивостью автомобиля управления работой подвески, системы рулевого управления и др. (табл. 8.3).

8.5.3 Внешние переносные средства контроля, диагностирования и распознавания кодов неисправностей

Особенностью современных автомобилей является все более широкое использование электроники, на которую возлагаются функции контроля параметров рабочих процессов и их технического состояния для оптимизации управления функциональными системами автомобиля и автоматического диагностирования. Контроль состояния всех технических систем автомобиля осуществляет бортовой компьютер.

Диагностирование систем автомобилей с использованием современных мотор-тестеров, высокочастотных осциллографов, мультиметров, сканеров и других электронных средств описаны в работах [19, 22, 31, 54].

Главным инструментом диагностики бортовых электронных систем современных автомобилей являются сканеры и комбинированные тестеры, которые сочетают возможности сканера с дополнительными функциями. Среди них хорошо известны приборы фирм Bosch и SUN, менее известны – являются фирмы Nextech, Autologic и Texa [19, 74, 77].

Тестеры. Ассортимент системных тестеров включает аппаратные и программно-аппаратные версии высокого функционального наполнения. Из них большую часть представляют собой универсальные приборы, ориенти-

Линии технического контроля автомобилей

Наименование и назначение средств диагностирования	Производитель
1	2
Универсальная линия технического диагностирования грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей	Германия-Maha
Линия технического контроля ЛТК-1Л	Россия-ОАО «ГАРО»
Линия технического контроля ЛТК-1Г	Россия-ОАО «ГАРО»
Мобильная станция технического контроля автомобилей СТК-1Л	Россия-ОАО «ГАРО»
Линия инструментального контроля SDL-260 с приборами для проверки фар (EFLE), анализа подвески (ATZ), тестер проверки схождения, проверки токсичности (газоанализаторы, дымомер)	Германия-Bosch
Мобильная станция технического диагностирования легковых, грузовых автомобилей и микроавтобусов с максимальной нагрузкой на ось 3,5 т	Германия-Maha, Maschinenbau-Haldenwang
Мобильные и полнокомплектные линии технического контроля легковых автомобилей, микроавтобусов и мини-грузовиков (с нагрузкой на ось до 3 т) ЛТК-ЗЛ-СП-11, ЛТК-ЗЛ-СП-16, ЛТК-ЗП-СП-11	Россия-ОАО «ГАРО»
Универсальная линия технического контроля легковых и грузовых автомобилей, автобусов и автопоездов (с нагрузкой на ось до 10т) ЛТК-10У-СП-11	Россия-ОАО «ГАРО»
Линия компьютерной диагностики «Euro-System»	Германия-Maha
Линия технического контроля грузовых автомобилей, автобусов и автопоездов (с нагрузкой на ось до 13 т) ЛТК-13Г-СП-11	Россия-ОАО «ГАРО»
Линия инструментального контроля SDL-260 (Bosch) с комплектом оборудования тормозного стенда, проверки амортизаторов, оценки углов схождения колес автомобилей с нагрузкой на ось до 2 т	Германия-Bosch
Линия инструментального контроля легковых автомобилей VIS-3000 (Bosch) с комплектом оборудования: амортизационный стенд, тормозной стенд, стенд проверки увода колес, усилия нажатия на педаль, люфтомер, газоанализатор, дымомер, стенд для регулировки фар	Германия-Bosch
Линия инструментального контроля NTS-520 (Bosch) с комплектом оборудования: тормозной стенд, тестер увода, тестер подвески	Германия-Bosch
Линия инструментального контроля RAV (Ravaqioli, Италия) с комплектом средств: тормозной стенд, тестер бокового увода, тестер подвески (вибростенд), калибровка тормозного стенда, адаптер	Италия-Ravaqioli
Линия инспекторского контроля модели Silver Roller (Givliano, Италия) с комплектом средств контроля увода колес, давления в шинах, проверки амортизаторов, тормоза, муфты в рулевом управлении, правильность установки и силы света фар	Италия-Givliano
Линия компьютерной диагностики автомобилей фирмы «СЕМВ»	Италия

рованные на работу с автомобилями разных марок и моделей. Они позволяют исследовать и диагностировать системы управления двигателем, автоматической коробкой передач и АБС, климатической установки и подушек безопасности, обеспечить любые потребности диагноста.

Современные мотор-тестеры для диагностирования двигателей – это универсальные электронные приборы, предназначенные для проведения измерения параметров электронных систем работы двигателя. Параметры измеряются с помощью специальных датчиков и пробников, входящих в комплект прибора. Как правило, мотор-тестеры позволяют измерять следующие параметры:

- частота вращения коленчатого вала;
- температура масла;
- напряжение аккумулятора;
- напряжения в первичной и вторичных цепях системы зажигания;
- пульсации напряжения генератора;
- ток стартера; ток генератора;
- угол замкнутого состояния контактов;
- время накопления и ток размыкания в первичной цепи катушки зажигания;
- частоту, длительность и скважность импульсов;
- угол опережения зажигания;
- величину разряджения/давления во впускном коллекторе.

Типичным компьютерным мотор-тестером является FKI–Crypton (США). Аналогичное оборудование производят фирмы SUN, BEAR, Bosch, например, мотор-тестер Bosch FSA 450, Bosch MOT 240, MOT 25D, MOT 251, KTS 520, KTS 550, KTS 570, KTS 650, FSA 720, FSA 740, FSA 750.

Обычно мотор-тестер в своем составе имеет цифровой осциллограф, представляющий измеряемые величины (ток, напряжение, частота вращения коленчатого вала, разряджение и т.д.) в графическом виде, а также в виде гистограмм. Имеют возможности подключения газоанализатора и дымомера. Некоторые мотор-тестеры имеют возможность записи кадров изображения в память прибора для последующего сравнения и анализа. Настройка параметров развертки осциллографа производится автоматически при выборе режима измерений. Цифровой осциллограф – это мощный инструмент в руках опытного диагноста. Например, по форме осциллограммы во вторичной цепи зажигания можно выявить неисправные элементы тракта (свечи зажигания, высоковольтные провода, крышка распределителя и т.д.) и даже отклонения состава смеси в цилиндрах.

На некоторых мотор-тестерах для диагностирования электронных систем (DSN-PRO) реализован также режим имитации сигналов датчиков.

Мотор-тестеры условно можно разделить на три группы: большие или консольные, средние и портативные.

Для успешного проведения диагностики с помощью компьютерного мотор-тестера следует выполнить следующие операции:

- произвести идентификацию автомобиля;
- правильно выполнить необходимые тесты (диагностический кон-

- троль);
- сравнить полученные данные с рекомендуемыми значениями;
- установить по полученным результатам причину неисправности.

В состав мотор-тестеров высшей группы сложности входит 4- или 5-компонентный газоанализатор. Результаты его измерений тоже используются анализирующей программой. Обычно для этого измеряют концентрации CO , CO_2 , CH и O_2 в выхлопных газах. Имеются модели, измеряющие также концентрацию NO_x .

Сканер, общие сведения. Сканер – это портативный компьютер с миниатюрным дисплеем на жидких кристаллах, способный обмениваться информацией с компьютером ЭБУ автомобиля по соединительному кабелю. Сканер – это диагностический тестер, который получает доступ к внутрисистемной информации ЭБУ и выдает эту информацию на дисплей. Другие диагностические средства имеют доступ только к внешним входным и выходным сигналам различных устройств автомобиля. Стандартный сканер обеспечивает:

- доступ к кодам регистратора неисправностей;
- доступ к текущей информации в ЭБУ;
- запись параметров во время ездовых испытаний;
- испытательное управление исполнительными механизмами.

Сканер осуществляет обмен данными с электронным блоком управления системы и имеет доступ к его памяти и внутренним ресурсам. Автосканером диагностируют электронные системы управления силовым агрегатом, антиблокировочные системы тормозов, системы управления подвеской автомобиля, подушками безопасности и т.д.

Информация, которую сканер может получить с автомобиля, определяется не сканером, а программным обеспечением бортового компьютера. Большинство автомобильных компаний выпускают специальные сканеры, предназначенные для работы только с конкретными моделями автомобилей. Имеются и универсальные сканеры, которые можно использовать с различными моделями автомобилей. Заменяемые программные картриджи и комплекты соединительных кабелей позволяют это делать.

Применимость сканеров определяется протоколом обмена. Например, все автомобили группы VAG имеют одинаковый протокол обмена между ECU и сканером. Поэтому для диагностики любого автомобиля этой группы (VW, Audi, Seat, Škoda) достаточно иметь один сканер. Стремление сделать сканеры универсальными привело к появлению сканеров со сменными картриджами и переходниками для разных диагностических разъемов.

После введения стандарта OBD-II все американские и большинство европейских производителей устанавливают на автомобиле одинаковый диагностический разъем. Протокол OBD-II позволяет считывать те параметры, которые непосредственно влияют на безопасность и токсичность отработавших газов. При этом протокол обмена производителя позволяет считывать гораздо большее количество данных.

- В зависимости от исполнения сканеры позволяют:
- считывать из памяти коды ошибок;

- классифицировать их на текущие и запомненные;
- расшифровывать коды в текстовом виде;
- отображать интерпретацию ECU текущих значений сигналов от датчиков и расчетных величин;
- активизировать некоторые исполнительные элементы системы управления двигателем (форсунки, регулятор холостого хода, клапан продувки адсорбера и др.);
- перезаписывать в память ECU значение некоторых коэффициентов (например, коэффициент коррекции топливоподачи и величину сдвига УОЗ на режиме мощностного обогащения).

В общем виде работу со сканерами можно распределить на следующие этапы:

- 1) подключение прибора к диагностическому разъему автомобиля;
- 2) выбор соответствующей марки и модели автомобиля в меню прибора;
- 3) установление связи прибора и ECU автомобиля;
- 4) определение комплектации системы управления автомобилем;
- 5) получение информации о состоянии систем автомобиля во всех режимах, предусмотренных производителем автомобиля и возможностями сканера.

Протокол OBD-II не заменяет в полном объеме протоколы изготовителя, однако позволяет в усеченном виде получать информацию от ECU. В частности это чтение кодов ошибок и получение информации о работе СУД в реальном масштабе времени.

Автомобильный осциллограф – это двухмерный электронный вольтметр, который показывает, как напряжение изменяется во времени.

Многие годы осциллографы применялись в автосервисе для контроля первичных и вторичных цепей зажигания, а также некоторых устройств системы электроснабжения автомобиля. Теперь используют портативные автомобильные осциллографы и для наблюдения низкоуровневых сигналов в электронных цепях управления. Осциллограф – универсальное средство при поиске непостоянных (нерегулярных) неисправностей.

В практике обслуживания автомобилей используются аналоговые и цифровые осциллографы. В цифровых осциллографах встроенный компьютер подвергает входной сигнал аналого-цифровому преобразованию. Полученные таким образом цифровые значения амплитуд напряжений в момент выборки выводятся на дисплей (обычно жидкокристаллический), точки соединяются между собой линиями.

Как и в других цифровых измерительных приборах, частота горизонтальной развертки автомобильного осциллографа невелика, около 7 Гц. Тем не менее цифровой осциллограф выдает детальную информацию о наблюдаемом сигнале. В автомобильных осциллографах обычно предусмотрены такие функции, как определение минимального и максимального напряжения сигнала, форма сигнала, запись данных, передача данных на компьютер.

Современный автомобильный осциллограф – это сложный электронный измерительный прибор, частично выполняющий функции компьютер-

ного мотор-тестера, позволяет автоматически тестировать (контролировать работоспособность) различные элементы электрооборудования и электроники по образцовым сигналам (по шаблонам). Так проверяются различные датчики, система электроснабжения, полупроводниковые элементы, относительная компрессия в цилиндрах и т.п.

USB Autoscope – осциллограф в комплекте с компьютером представляет широкие возможности для регистрации, сохранения и обработки результатов измерений, поиска неисправностей в различных электронных системах: электрических сигналов, зажигания, газораспределения и др.

Автомобильный цифровой мультиметр – это цифровой тестер с многосегментным дисплеем на жидких кристаллах, с высоким входным сопротивлением. Цифровой мультиметр является неотъемлемой частью диагностического оборудования. Выполняет функции нескольких измерительных приборов, измеряет силу тока, напряжение, частоту, длительность импульса.

Мультиметр удобен для контроля состояния электрических цепей, но для контроля их функционирования он обычно не применяется. На цифровом дисплее мультиметра применяется только низкая скорость обновления информации, что связано с особенностями человеческого зрения. Так как человеческий глаз не различает быстрое изменение цифр на дисплее, мультиметр показывает только средние или фиксированные значения электрических сигналов с низкой кадровой частотой обновления дисплея (обычно не более 4-х Гц).

Некоторые модели автомобильных мультиметров имеют квазианалоговый дисплей (помимо цифрового) и обладают возможностью записи минимального и максимального значений контролируемого сигнала. Имеется возможность обновлять показания до 40 раз в секунду. Но на некоторых моделях мультиметров квазианалоговый дисплей работает на той же частоте, что и цифровой.

Несмотря на невозможность наблюдения и измерения динамических процессов с помощью мультиметра, автомобильные цифровые мультиметры нашли широкое применение для диагностики неисправностей в электрических и электронных схемах. Мультиметры обладают универсальностью, простотой, быстрой подготовкой к работе и точностью измерений.

При диагностировании автомобильных электронных систем управления применяются и другие специализированные измерительные приборы: тестеры датчиков, тестеры форсунок и т.п.

8.5.4 Характеристики современных диагностических средств, выпускаемых фирмами Bosch, SUN, Nextech, Texa, Autologic

Системы контроля и диагностирования фирмы Bosch. Продукция концерна Bosch представлена полной линейкой универсальных системных тестеров KTS. Они подключаются к персональному компьютеру, стационарному или мобильному, и работают под управлением оригинального, полностью русифицированного программного продукта ESI.

Для работы с автомобильными бортовыми компьютерами выпускают-

ся приборы **KTS 520, KTS 550, KTS 570, KTS 650, FSA 720, FSA 740, FSA 750** для использования на персональном компьютере. Это универсальные приборы, с помощью которых легко определить неисправность в бортовом компьютере и получить всю необходимую информацию для ее устранения. Поставляются с измерительными адаптерами, адаптерами подключения. Реализуют функции автотестера и анализаторов (осциллографа, стробоскопа, тахометра).

Прибор **KTS 650** – новое поколение оборудования для диагностирования. Он разработан таким образом, чтобы исключить моральное и техническое старение приборов. Программное обеспечение для KTS 650, которое включает описание электронных систем управления, агрегатов, с фотографиями, методиками поиска и устранения неисправностей, электросхемы, и планы ТО, фирма Bosch разрабатывает и внедряет собственными силами. Портативность прибора KTS 650 дает возможность использовать его для диагностирования на выезде и проводить исследование в движении.

Для диагностирования блоков автомобильной электроники используются следующие протоколы обмена данными с автомобильными бортовыми системами: ISO-протокол для европейских автомобилей, SAE-протокол для американского и японского рынков, CAM-протокол BC – чтение кодов ошибок в режиме мерцания кодов.

Прибор KTS 650 считывает из электронных блоков управления список неисправностей, высвечивает значения величин, активизирует исполнительные механизмы и определяет все дефекты на соответствующих компонентах. Дает возможность классифицировать ошибки на случайные и статические. Благодаря возможностям программного обеспечения можно оценивать коэффициент состава смеси, наладить датчики после их замены, отрегулировать угол опережения зажигания и впрыскивания.

Все измерительные величины прибор может предложить в графическом виде (режим осциллографа). А наличие двухканального цифрового осциллографа дает возможность одновременно просматривать два важных для диагностирования сигнала. Встроенный мультиметр (ток, напряжение, сопротивление, пробой, обрыв, диодное напряжение) высвечивает результаты измерения нужного параметра. Эти параметры могут быть выданы также в графической форме. Свыше 40 марок автомобилей и свыше 25000 их вариантов могут быть целенаправленно и надежно проверены с помощью системы диагностирования блоков управления и информации фирмы Bosch. Это дает возможность провести комплексное ТО автомобилей всех моделей. Все данные можно распечатать на принтере как основу для калькуляции расходов и других работ.

Технические данные. Операционные системы Windows ME 128 МБ, 20 ГБ HDD; цветной TFT монитор 12,1" с режимом touch screen, промышленный стандарт, который обеспечивает широкий угол обзора, разрешение SVGA 800 х, 600; встроены мультимедийные средства – спикер, выход на телефоны, сетевая карта LAN (10/100 Мбит), PCMCIA-стандарт; статус-индикатор с использованием четырех светодиодов: ON/OFF, сеть, зарядка аккумуляторов, доступ к HDD; управление с использованием экранной кла-

виатуры; долговечные литиевые батареи, которые дают возможность использовать KTS 650 в автономном режиме до 2 часов.

Прибор KTS 650 выпускают полностью готовым к использованию. Это означает, что нет потребности подключать его, как KTS 520 и KTS 550 к IBM-совместимому компьютеру; KTS 650 работает уже сам по себе как мощный ноутбук промышленного выполнения с противоударным корпусом. Экран этого прибора представляет собой активную матрицу, которая выполняет роль клавиатуры. Нажимая на соответствующую пиктограмму, можно выполнить ту или другую операцию. Это значительное преимущество в условиях работы СТОА. В KTS 650 как отдельный модуль входит KTS 550, поэтому по техническим возможностям диагностирования автомобиля этот прибор аналогичен прибору KTS 550.

KTS 650 использует следующие протоколы обмена данными с автомобильными бортовыми системами:

- ISO-протокол для европейских автомобилей;
- SAE-протокол для американского и японского рынков;
- CAN-протокол;
- BS – чтение кодов ошибок в режиме мерцающих кодов.

Прибор KTS 520 – модуль, который подключается кабелем к диагностическому разъему автомобиля. Для того, чтобы модуль стал работоспособным, его обязательно нужно подключить к любому IBM-совместимому компьютеру, на котором поставлено программное обеспечение Esitronic. Иначе говоря, это преобразователь кодов IBM-компьютера в коды, понятные автомобильному блоку управления. В состав KTS 520 входит также мультиметр. Его можно использовать для снятия данных с разных автомобильных датчиков, например: датчик температуры двигателя, лямбда-зонд, расходомер воздуха, и т.п. Эти сигналы можно просматривать не только в цифрах, но и в графическом виде на экране монитора.

Прибор KTS 550 – такой же модуль, как и KTS 520, но вместо мультиметра в нем встроен двухканальный цифровой осциллограф с возможностью просмотра сигналов с амплитудой ± 200 В. Это полнофункциональный осциллограф со всеми возможностями выбора синхронизации, амплитуды и развертки. Наличие осциллографа значительно повышает диагностические возможности прибора. Остальные технические характеристики абсолютно аналогичны.

Электронные блоки управления в автомобиле диагностируют в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Чтобы очистить рабочие помещения от отработавших газов, используют многостовые системы вытяжки, соответствующие стандартам.

Система FSA 740 предназначена для диагностирования механических и электрических параметров двигателя, анализа работы бортовых компьютеров, оценки состава отработавших газов. Эта система пригодна для всех сфер использования: измерения, диагностирования, документирования результатов и учебы. Она достоверно и быстро анализирует неисправности с использованием двухканального цифрового осциллографа с уникальными возможностями. Постоянно совершенствуется ее программное обеспечение,

которое дает возможность без изменения базовой модели удовлетворять требования рынка.

Система FSA 740 измеряет частоту вращения с помощью датчика верхней мертвой точки, сигнала первого цилиндра или клеммы 1/15; угол установки зажигания с помощью датчика верхней точки (с автоматическим опознанием) или стробоскопа; угол замкнутого состояния в процентах или градусах и длительность замкнутого состояния в миллисекундах; длительность впрыска, определенную на форсунке или в другой пригодной для этого точке; напряжение относительно массы или какого-то другого потенциала; температуру с помощью температурного датчика. Система FSA 740 выполняет динамическое измерение компрессии через ток стартера; прямое сравнение измеренных значений с нормативными; рядное, растровое или одиночное представление напряжения искросоздания, первичное и вторичное, с распределительной или безраспределительной системой зажигания, а также сигналы в электронных автомобильных системах как функции тока или напряжения, которое расширяет возможности FSA к полноценному лабораторному осциллоскопу; диагностирование электронных блоков управления; газовый анализ (CO , C_nH_m , CO_2 , O_2), анализ сигналов от лямбда-зонда.

Особенности системы FSA 740 – полностью модульная структура; может контролировать компоненты на борту автомобиля (например, CAN-шины); имеет новый мощный цифровой осциллограф (частота тока 50 МГц); обеспечивает сохранение измеренных и выведение контрольных сигналов на экран монитора; длительное измерение токов, которые потребляются разными элементами на борту автомобиля с записью в интервале времени до 24 ч; имеет встроенный сигнал-генератор для имитирования сигналов разных датчиков (лямбда-зонд, расходомер воздуха, датчик температуры, и т.п.), сетевой вариант прибора, демонстрационный режим для учебы персонала; может исследовать отработавшие газы с помощью баз данных автомобилей, клиентов и измерений (опций). Прибор может диагностировать блоки управления: чтение памяти ошибок, действительных значений сигналов, из датчиков, настройка исполнительного оборудования, очистки памяти ошибок, обнуления интервалов сервиса, в объеме функций KTS 650; допускает подключение вспомогательного программного обеспечения, например каталога запасных частей, технической документации, схемы подключений и т.п.

Комплектность системы FSA 740: блок-датчик для измерения параметров двигателя: триггерная цанга первого цилиндра, измерительный разъем мульти-1, измерительный разъем мульти-2, датчики сигналов во вторичной цепи системы зажигания, датчики сигналов в первичной цепи системы зажигания, токовая цанга на 1000 А, температурный датчик, стробоскоп, датчик давления (сжатия воздуха); ПО русифицированное; TFT-монитор; системный блок; клавиатура; пульт ИК дистанционного управления; принтер; KTS 520 – модуль диагностирования бортовых компьютеров.

Вспомогательный комплект: датчик температуры воздуха, инфракрасный датчик температуры, датчик давления топлива, модуль газоанализа.

затора BEA, 050, модуль дымомера RTM 430.

Техническое диагностирование автомобильных двигателей с использованием наличного оборудования выполняют специалисты, владеющие современными информационными технологиями, со строгим соблюдением инструкции, которой комплектуется прибор.

Программные продукты ESI [tronic] состоит из программного и информационного разделов. Программный обеспечивает работу комплекса в режиме сканера и цифрового мультиметра (в версии 550 – еще и двухканального цифрового осциллоскопа) при исследовании бензиновых и дизельных двигателей, а также бортовых электронных систем легковых и грузовых автомобилей более 70 марок. На сегодняшний день он включает протоколы обмена для связи с без малого 10000 типами блоков управления. Информационный раздел представляет собой ежеквартально обновляемую базу данных. Она содержит огромный объем достоверной информации: сведения о применяемых на автомобиле запчастях, нормах времени на выполнение ремонтных операций, регулировочные данные, указания по поиску неисправностей, электрические схемы систем автомобиля и многое другое. Оба раздела программно взаимосвязаны, так что диагност в процессе работы автоматически получает доступ к инструкциям и актуальной справочной информации.

Сканеры Bosch традиционно эффективны в работе с автомобилями европейского производства, особенно с теми, на которые устанавливаются автомобильные компоненты, производимые на предприятиях концерна. Сканеры KTS показывают высокую эффективность при диагностике грузового автотранспорта также преимущественно европейских автопроизводителей (MAN, SAAB, Volvo, Scania, DAF). Программы для диагностики американских, японских и корейских автомобилей проработаны менее глубоко. К недостаткам сканеров нужно отнести то, что они полностью утрачивают работоспособность в случае невозобновления ежегодной, далеко не бесплатной подписки на программное обеспечение. Этого серьезного «минуса» лишена 505-я версия, по функциональным характеристикам идентичная KTS 520, но имеющая бессрочный код доступа к обновлению ПО. К сожалению, за бессрочное пользование прибором придется заплатить почти в два раза больше. Такова маркетинговая политика концерна.

В отличие от программно-аппаратных приборов 5-й серии, KTS 651 представляет собой портативный аппаратный тестер. Это полностью автономный прибор с цветным сенсорным 12-дюймовым дисплеем и органами управления. В его противоударный корпус встроены: мощный микропроцессор с оперативной памятью 128 МБ, жесткий диск емкостью 20 ГБ и DVD-привод для установки программного обеспечения ESI [tronic]. Тестер можно использовать как универсальный сканер, двухканальный мультиметр и осциллоскоп.

Прибор насыщен разнообразным вспомогательным оборудованием: мультимедийным пакетом, встроенным микрофоном, устройством для беспроводной трансляции данных. Так же, как и другие модели сканеров, KTS 651 адаптирован для работы в локальной сети. Предусмотрены широкие

возможности для подсоединения периферийных устройств (монитора, принтера внешних носителей памяти). Литиевый аккумулятор позволяет использовать прибор автономно на протяжении до 2 часов. С учетом небольших габаритов и массы (около 4 кг) «шестисотый» идеален для проведения тестирования электронных систем автомобиля на ходу. В общем, продумано все для того, чтобы KTS 651 органично вписался в структуру современного диагностического участка. Для его успеха на рынке СНГ остается лишь установить на прибор более демократичную цену.

Системы контроля и диагностирования фирмы SUN. В каталоге «Эквинет» – ее лучшие представители, прежде всего это «бестселлеры», сканеры SUN PDL 1000 и PDL 2000. Среди профессиональных диагностов они пользуются заслуженной репутацией одних из лучших мультибрендовых приборов, надежных, предельно простых в применении и обладающих богатыми функциональными возможностями. Этим они обязаны, прежде всего, качественно, детально проработанному программному обеспечению. ПО разрабатывалось с учетом потребностей автоспециалистов, использующих диагностические приборы SUN (Snap-On) в различных частях света. Оно состоит из нескольких пакетов, включающих протоколы обмена данными с бортовой электроникой автомобилей определенного сектора мирового рынка. На сегодняшний день доступны следующие программные пакеты:

- All Europe, предназначенный для исследования электронных систем практически всех (16 марок) автомобилей, официально продающихся в Европе. Европейский пакет содержит программы для более чем 5000 комбинаций модель/система управления двигателем. Наиболее глубоко «софт» проработан в отношении автомобилей VAG, Mercedes-Benz и BMW. Пакет включает программный модуль для диагностики большой группы автомобилей с использованием универсального протокола EOBD/OBD II;
- US Domestic, содержащий программы для диагностирования автомобилей «большой американской тройки» (Ford, GM, Chrysler/Jeep);
- US Asian с программами для автомобилей азиатского производства, поставляемых на американский рынок;
- Australian Asian с программным обеспечением для азиатских автомобилей (как с левосторонним, так и с правосторонним рулевым управлением), поступающих на австралийский рынок.

Программа загружается в сканер путем установки сменного картриджа. В современных сканерах SUN используются программируемые картриджи, что позволяет конфигурировать содержимое софта в соответствии с потребностями покупателя, а также обновлять и дополнять его. В комплект сканера входят кабели-адаптеры в составе, соответствующем выбранной программной конфигурации.

Тот же программный продукт используется не только в сканерах PDL 1000/2000, но и в диагностической информационной системе SUN MODIS.

MODIS – компактный прибор для диагностики двигателя и электронных систем автомобиля, сочетающий в себе несколько разносторонних

функций. В зависимости от текущих потребностей диагноста он может использоваться в качестве универсального графического сканера, 4-канального осциллоскопа с расширенными возможностями или цифрового мультиметра. Особенность MODIS – модульный принцип аппаратного построения. Прибор представляет собой базовое устройство, в которое установлены два съемных модуля. Один из них придает устройству свойства сканера, другой – осциллоскопа и мультиметра.

При использовании в качестве сканера возможности MODIS абсолютно идентичны сканерам PDL. С его помощью можно считывать коды неисправностей, расшифровывать их значение и удалять из памяти системы управления, управлять исполнительными элементами, активировать специальные режимы и сбрасывать сервисную индикацию, просматривать текущие параметры на цветном экране в графическом виде и сохранять их в памяти для последующего анализа. Цифровой осциллоскоп диагностической системы отличается высоким быстродействием (до 6 млн. преобразований в секунду) и может использоваться в двух режимах. В первом с его помощью можно одновременно просматривать до четырех высокочастотных сигналов в цепях датчиков и исполнительных устройств системы управления. Во втором – анализировать осциллограммы напряжения в системах зажигания, включая устройства типа COP с индивидуальными катушками. Мультиметр позволяет измерить величину постоянного и переменного напряжения, сопротивление, а также проверить работоспособность диодов и транзисторов.

Модульный принцип построения придает прибору гибкость в применении. В случае отказа одного из модулей прибор не утрачивает работоспособность полностью. К тому же благодаря модульной структуре и обновляемому программному обеспечению возможности диагностической системы в будущем могут быть расширены. Через развитые устройства коммуникации (VGA-, COM-, USB- и IR-порты) к прибору можно подключать любые периферийные устройства: газоанализатор, принтер, внешние датчики, увязывая все составляющие диагностического процесса в единый комплекс. Наличие PCMCIA-порта дает возможность использовать сетевую карту или модем для работы в составе локальной сети или соединения с Интернет. Небольшие габариты и масса, а также предусмотренная возможность питания от встроенного аккумулятора делают MODIS не только удобным для использования в условиях диагностического участка, но и позволяют применять его при ездовых испытаниях.

Диагностические приборы SUN можно рекомендовать тем, кто работает с автомобилями европейского производства, прежде всего с популярными немецкими марками. В комплекте с «американским пакетом» они уверенно справляются с тестированием любых американских автомобилей, произведенных как для внутреннего, так и для европейского рынков, а также для автомобилей, официально поставляемых на рынок США. Привлекательность сканеров SUN еще более возрастает ввиду проводимой концерном политики демократизации цен. Благодаря ей эти первоклассные диагностические инструменты стали значительно доступнее для потребителей.

Системы контроля и диагностирования фирмы Nextech. Фирма

Nextech начинала свою деятельность с разработки сканера Carman Scan Hi-Pro, дилерского прибора для диагностики автомобилей KIA и Hyundai. Выпущенная позднее мультибрендовая версия сканера Carman Scan I унаследовала от предшественника его архитектуру. Это – многофункциональный диагностический прибор, в корпусе которого находятся: универсальный сканер, 2-канальный запоминающий осциллоскоп, мультиметр и генератор импульсов для имитации сигналов датчиков. Встроенный генератор импульсов – довольно редкий, но весьма полезный «довесок». С его помощью можно контролировать исправность датчиков и логику работы системы управления.

Возможности применения прибора в качестве мультимарочного сканера определяются составом установленного в него «софта», дополненного соответствующим комплектом адаптеров для подключения к диагностическим разъемам. Для удобства пользователей программный продукт разбит на разделы по региональному признаку. В зависимости от потребностей покупателя могут быть установлены разделы «Корея», «Япония», «Европа» или любые их комбинации. Раздел корейских автомобилей включает программы диагностики Hyundai, KIA, Daewoo и Ssang Yong. Причем по первым двум моделям сканер выполняет все дилерские функции за исключением перепрограммирования иммобилайзера. Список японских марок включает буквально все от «А» (Acura) и до «Т» (Toyota). По мнению специалистов, на сегодняшний день программ для диагностики автомобилей корейского и японского производства лучше, чем у Nextech, просто нет. Российским сервисменам прибор интересен еще и тем, что в «европейской» комплектации он может работать как с немецкими и французскими автомобилями, так и с продукцией автозаводов (ВАЗ, ГАЗ и УАЗ), в том числе оснащенных последними версиями ЭБУ Bosch и Январь.

Помимо Carman Scan I фирма Nextech производит еще два прекрасных инструмента для системной диагностики – Carman Scan II и Carman Scan VG. Возможности всех «карманов» с точки зрения сканирования бортовых электронных систем идентичны, поскольку в них используется один и тот же софт. Carman Scan II представляет собой просто универсальный сканер, без каких либо «излишеств». Тем, кому они не нужны, это дает возможность приобрести отличный прибор по минимальной цене. В отличие от модели Carman Scan II, прибор Carman Scan VG, наоборот, полон «излишествами», притом, весьма полезными. По сути, это специализированный портативный компьютер с цветным 7-дюймовым сенсорным дисплеем, 386-м процессором, жестким диском на 40 Гб и всевозможными портами для подключения периферийных устройств и интегрирования в сеть.

Carman Scan VG – это и универсальный сканер, и 4-канальный запоминающий осциллоскоп, и мультиметр, и генератор сигналов датчиков. Причем прибор обладает практически всеми функциями профессионального мотор-тестера. С его помощью можно выполнять тест «баланс мощности по цилиндрам» и исследовать системы зажигания различных типов. Благодаря емкому жесткому диску диагностическая станция дает возможность пользователю формировать архив измерений и осуществляет его информационную

поддержку. Встроенная система помощи содержит информацию о месте расположения и принципе работы того или иного элемента системы управления, методике его контроля, схемах подключения приборов, типовые осциллограммы, численные значения измеряемых сигналов и другие полезные данные.

Все модели сканеров фирмы Nextech имеют русифицированный интерфейс. Их программное обеспечение постоянно совершенствуется и обновляется ежеквартально. Зарегистрированные пользователи приборов получают бесплатный доступ к обновленным версиям ПО на официальном Интернет-сайте производителя. Бесспорным достоинством этих приборов является самая демократичная цена.

Системы контроля и диагностирования фирмы Теха. Итальянская фирма Теха занимается автомобильной диагностикой с 1992 года и производит универсальные диагностические приборы для независимых автосервисов под торговой маркой Axone. Приборы Axone отличает самое современное аппаратное исполнение, в основе которого лежит очень гибкая, модульная структура. К примеру многофункциональная система Axone 2000 в базовой комплектации представляет собой мультибрендный сканер, поддерживающий все европейские протоколы, включая EOBД и CAN. Программное обеспечение сканера главным образом ориентировано на работу с европейскими автомобилями и прежде всего с автомобилями концерна Fiat. При желании к прибору дополнительно можно приобрести:

- комплект мультиметра с цифровым, аналоговым и графическим отображением измеряемых параметров;
- комплект осциллоскопа для отображения сигналов в цепях низкого и высокого напряжения;
- комплект для контроля аккумуляторной батареи (напряжением до 42 В);
- комплект измерения давления с цифровым и графическим режимом отображения;
- комплект модемной связи для получения обновлений «софта» через телефонную линию.

Каждый комплект состоит из съемного модуля с набором необходимых коннекторов и датчиков. Прибор можно подключить к компьютеру. Установив на компьютер фирменное ПО, диагност получает поддержку программы самодиагностики, составной частью которой является база данных. Кроме этого, программа дает возможность использовать различные режимы отображения результатов тестирования, сохранять их в памяти и выводить на печать.

На сегодняшний день фирма Теха предлагает, пожалуй, лучшее решение для системной диагностики грузового транспорта европейского производства. Для этих целей служит прибор Axone 2000 Motor Truck. По конструктивному исполнению и архитектуре он идентичен модели Axone 2000 и отличается лишь составом диагностического «софта», который дает возможность выполнять глубокую электронную диагностику грузовиков, автобусов и специальной техники.

Флагманом приборов Теха является новейшая диагностическая система Axone 3 Mobile. В отличие от приборов модификации Axone 2000, которые могут быть подключены к компьютеру, Axone 3 Mobile сам является специализированным портативным компьютером. Оригинальный корпус, большой активный экран, встроенная видеокамера, современные устройства беспроводной связи стандартов GSM и Bluetooth, литиевый аккумулятор – такой комплектации позавидуют современные ноутбуки! На жесткий диск «мобайла» устанавливается оригинальное программное обеспечение, которое включает программы для электронной диагностики легковых и грузовых автомобилей, а также интегрированную справочно-информационную систему. «Флагман» может играть роль нескольких диагностических инструментов (мультимарочного сканера, осциллоскопа с функциями мотор-тестера, тестера АКБ, универсального измерителя). Изменение «амплуа» достигается установкой соответствующего съемного модуля. Диагностические возможности системы могут быть расширены подключением приборов газоанализа, связь с которыми осуществляется по радиоканалу.

Современное исполнение, гибкая модульная структура, позволяющая постепенно наращивать возможности диагностического комплекса, эффективная работа с грузовой техникой и приемлемый ценовой диапазон являются достоинствами продукции Теха.

Системы контроля и диагностирования фирмы Autologic. Приборы, о которых говорилось выше, являются универсальными с точки зрения марок обслуживаемых автомобилей и предназначены в основном для мультибрендовых СТО. Независимым автосервисам, специализирующимся на обслуживании автомобилей одного производителя, компания «Эквинет» предлагает продукцию британской фирмы Autologic. Она включает серию специализированных сканеров, каждый из которых предназначен для диагностики бортовой электроники автомобилей одной марки. Так, можно приобрести сканеры для работы с продукцией Mercedes-Benz, BMW, Jaguar и Land Rover. При стоимости существенно меньшей, чем дилерские модели (Star Diagnosis, GT-1 или Rover test Book T4), они ничем не уступают им в части функциональных возможностей. С их помощью можно кодировать и перепрограммировать все контрольные модули, программировать иммобилайзеры и ключи, выполнять адаптацию любых компонентов и дополнительных аксессуаров. Сканеры Autologic официально разрешены для применения дилерами Mercedes-Benz и BMW в качестве второго прибора. Программное обеспечение всех сканеров ежегодно обновляется. На оборудование предоставляется двухлетняя гарантия. Небольшой недостаток сканеров – англоязычный интерфейс. Надо отметить, что приобретение такого прибора значительно выгоднее, чем нередко практикующаяся покупка бывшего в употреблении дилерского сканера.

Контрольные вопросы

- 1 Какая существует классификация средств диагностирования?
- 2 Перечислите основные типы стационарного диагностического оборудования.

- 3 Классифицируйте средства диагностирования по функциональному назначению.
- 4 Какие средства диагностирования относятся к встроенным?
- 5 Какие средства диагностирования относятся к смешанным?
- 6 Приведите классификацию средств по виду предоставляемой информации?
- 7 Приведите примеры средств диагностирования, устанавливаемых на автомобиле.
- 8 Приведите примеры информационно-советующих диагностических систем.
- 9 Какие существуют системы диагностирования?
- 10 Приведите перечень групп минимально необходимого (но достаточного) диагностического оборудования и систем.
- 11 Составьте перечень переносных средств контроля и диагностирования автомобилей.
- 12 Какие возможности диагностирования мотор-тестеров? Какие диагностические параметры автомобиля можно контролировать мотор-тестером?
- 13 Какие возможности сканеров в диагностировании неисправностей? Какую информацию можно получать с автомобиля с помощью сканера?
- 14 В какой последовательности (этапы) следует работать со сканером?
- 15 Что представляет собой протокол EOBD/OBD II?
- 16 Каковы возможности автомобильных осциллографов в диагностировании технических систем автомобиля?
- 17 Какие диагностические параметры можно определить (контролировать) с помощью осциллографа?
- 18 Какие возможности мультиметров в диагностировании технических систем автомобиля?
- 19 Опишите возможности диагностических средств фирм Bosch и SUN.
- 20 Приведите особенности диагностической системы KTS-520, KTS-650 и FSA-740.

9 ЗАДАЧИ И ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

9.1 Диагностические задачи

Техническая диагностика рассматривает любой объект как потенциальный источник неисправностей (отказов), которые должны быть выявлены и локализованы.

Диагностическими задачами определения технического состояния являются (рис. 9.1):

- контроль объекта диагностирования на соответствие требованиям норм;
- определения места и вида неисправности;
- прогнозирование технического состояния.

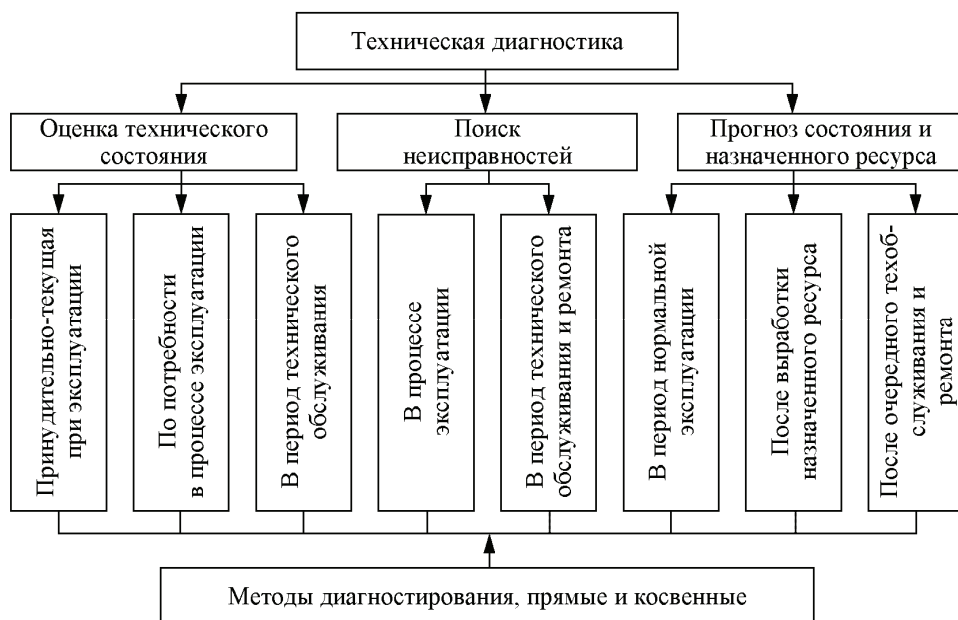


Рис. 9.1. Диагностические задачи

Для решения этих задач изучают, находят, классифицируют отказы и неисправности агрегатов, узлов, их признаки и параметры, разрабатывают методы и средства их определения с целью назначения необходимых профилактических и ремонтных воздействий на объект с целью поддержки высокого уровня его надежности в эксплуатации и прогнозирования ресурса его исправной работы.

Основными понятиями технической диагностики считают: дефект, неисправность, объект диагностирования, техническое состояние, диагно-

стическая задача, технические средства диагностирования, система диагностирования.

Основное назначение диагностики в технических системах состоит в повышении эксплуатационной надежности и сохранения заданного (проектного) ресурса машин за счет более раннего обнаружения неисправности и оптимизации процессов профилактического обслуживания. Под технической диагностикой понимают теорию, методы и средства обнаружения и поиска неисправностей в системах агрегатов, механизмов и управления процессами в машинах.

Задача технического диагностирования формулируется как задача определения диагностических параметров, позволяющих определить неисправность в объекте. Множество диагностических параметров считается эффективным, если оно удовлетворяет следующим требованиям:

- полного описания всех классов неисправностей;
- наибольшей чувствительностью к изменению значений структурных параметров;
- минимальности состава;
- доступности для контроля и измерения;
- минимума стоимости и времени контроля всех параметров;
- достаточной степени разделимости при распознавании отдельных дефектов.

Принято выделять следующие задачи диагностирования на стадиях доводки объекта и эксплуатации:

- обнаружение дефекта (неисправности) – определение факта наличия дефекта 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 (неисправности) – определение вида, величины, места и времени возникновения дефекта. Следует за обнаружением дефекта и включает в себя локализацию и идентификацию дефекта.
- локализация (поиск) дефекта (неисправности) – определение вида, места и времени проявления дефекта; следует за обнаружением дефекта. Показателем качества решения этой задачи является глубина поиска дефектов. 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 классов эквивалентных (не различимых в рамках данной процедуры диагностирования).
- идентификация дефекта (неисправности) – определение величины дефекта и его поведения во времени; следует за локализацией дефекта. Показателем качества решения этой задачи является точность

определения величины дефекта.

Техническое диагностирование допускает измерение, контроль и испытание механизмов автомобиля и отдельных блоков управления его технических систем. 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.

Задачами диагностирования являются проверка исправности, работоспособности и правильности функционирования объекта, также задачи поиска дефектов, которые нарушают исправность, работоспособность или правильность функционирования. Строгая постановка этих заданий допускает, во-первых, прямое или не прямое задание класса возможных (рассматриваемых, заданных, наиболее достоверных) неисправностей и, во-вторых, наличие формализованных методов построения алгоритмов диагностирования, реализация которых обеспечивает выявление неисправностей (дефектов) из заданного класса с необходимой полнотой или поиск последних с необходимой глубиной.

Обнаружение и поиск неисправностей являются процессами определения технического состояния объекта и объединяются общим термином «диагностирование»; диагноз является результатом диагностирования.

Техническое диагностирование – процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью. Диагностирование завершается заданием – выводом о необходимости проведения исполнительской части операций ТО или ремонта.

Диагностирование дает возможность:

- оценивать техническое состояние (исправность и работоспособность) автомобиля (car) в целом и отдельных его агрегатов (aggregate) и узлов без разборки;
- обнаружить неисправности, которые нарушают исправность (good condition) и/или работоспособность (capacity) автомобиля;
- прогнозировать остаточный ресурс или вероятность безотказной работы автомобиля в межконтрольный период.

Общей целью технической диагностики на автомобильном транспорте является повышение надежности автотранспортных средств.

Основная задача диагностирования – распознать техническое состояние в условиях неопределенности с минимальными материальными и энергетическими потерями.

Для повышения эффективности эксплуатации автомобилей требуется индивидуальная информация о их техническом состоянии после изготовления (поступления в эксплуатацию) до и после обслуживания или ремонта. При этом необходимо, чтобы получение указанной информации было дос-

тупным, не требовало бы разборки агрегатов и механизмов и больших затрат труда. Индивидуальная информация о скрытых и назревающих отказах позволяет предотвратить преждевременный или запоздалый ремонт и профилактику, а также проконтролировать качество выполняемых работ.

Средством получения такой информации является техническая диагностика автомобилей, изучающая признаки неисправностей автомобиля, методы, средства и алгоритмы определения его технического состояния без разборки, а также технологию и организацию использования систем диагностирования в процессах технической эксплуатации машинного или подвижного состава.

Различают диагностирование периодическое и непрерывное. Первое осуществляют через определенные периоды наработки объекта перед ТО или ремонтом автомобиля, а второе – при помощи встроенных на автомобиле диагностических средств в процессе его эксплуатации.

По характеру взаимодействия между объектом и средством диагностирования различают функциональное и тестовое диагностирование (рис. 9.2).

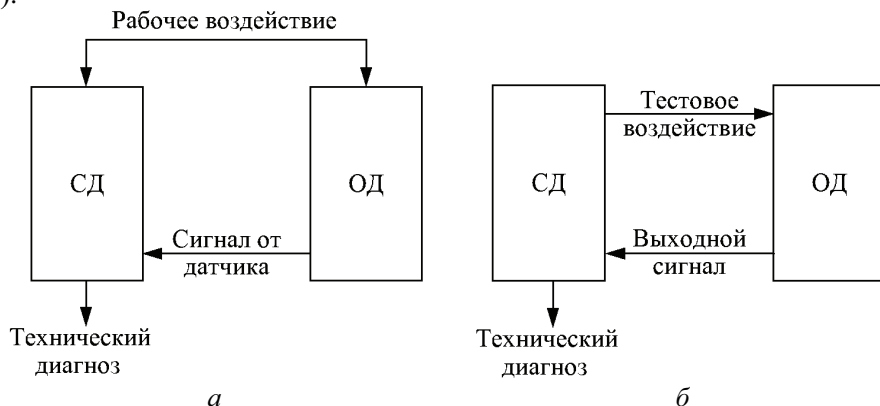


Рис. 9.2. Виды диагностирования: а – функциональное, б – тестовое; СД – средство диагностирования; ОД – объект диагностирования

Функциональный контроль осуществляется в процессе непосредственного использования объекта контроля по назначению, когда на него поступают только рабочие влияния, предусмотренные алгоритмом функционирования объекта. Во многих случаях рабочие влияния могут подаваться и на автоматизированные системы контроля (рис. 9.3, 9.4).

В системах обоих видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные (тестовые или рабочие) воздействия и выдают результат диагностирования – объект исправен или неисправен, работоспособен или неработоспособен, функционирует правильно или неправильно, имеет такой-то дефект и т.п. Системы тестового диагностирования необходимы для проверки исправности и работоспособности, а также поиска дефектов, нарушающих исправность или работоспособность объекта. Системы функционального диагностирования необходимы для проверки

правильности функционирования и для поиска дефектов, нарушающих правильное функционирование объекта.



Рис. 9.3. Схема функционального контроля с использованием АСК

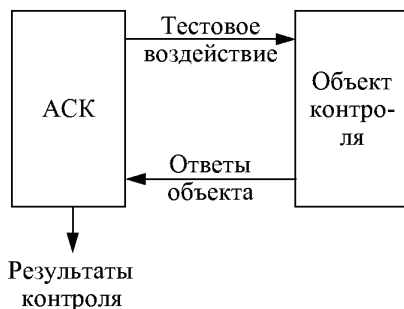


Рис. 9.4. Схема тестового контроля с использованием АСК

Функциональный контроль с использованием АСК обеспечивает возможность немедленного реагирования системы контроля рабочими процессами и управления объектом на нарушение правильности функционирования, обеспечивает переключение режимов работы объекта, выключение элементов, которые отказали и т.п. В результате повышается безопасность и эффективность эксплуатации автомобиля. Недостатком этого типа контроля является то, что рабочие влияния не могут выбираться из условия оптимизации процесса контроля и не всегда обеспечивается необходимая глубина контроля.

9.2 Тестовое диагностирование

Развитие тестовых методов. Для дискретных объектов одним из основных заданий технической диагностики остается задача построения тестов. Динамика развития методов построения тестов сопровождалась соответствующим развитием средств построения тестов и диагностического моделирования дискретных объектов. Сначала преобладал детерминированный подход к построению тестов при вентильном представлении структур объектов. Ускорению процедур построения тестов содействует применение вероятностного подхода с сохранением моделирования с целью оценки эффективности получаемых тестов.

Для начального периода развития технической диагностики дискретных объектов характерным было стремление получать оптимальные или оптимизированные решения (в частности, минимальные по длине тесты) на основе представления комбинированных объектов таблицами функций неисправностей, а последовательных объектов – таблицами переходов-выходов. Основной моделью дефектов был класс постоянных неисправностей, а

основными методами построения тестов – методы перебора вариантов (методы получения покрытия, методы теории экспериментов над автоматами).

Для второго периода развития характерен отказ от отмеченных «рафинированных» постановок задачи построения тестов, переход к структурным и структурным аналитическим моделям дискретных объектов и к новым методам обработки этих моделей, отказ от оптимизации тестов. Все это было вызвано, главным образом, увеличением размерности практических задач.

Третий период развития связывают с появлением больших и сверхбольших интегральных схем, микропроцессорных наборов и других изделий высокого уровня интеграции. Высокая размерность задачи привела к необходимости функционального представления дискретных объектов на макроуровне, рассмотрению функциональных неисправностей вместо постоянных, широкого применения вероятностного подхода к построению тестов.

Современные системы диагностирования объединяют, как правило, оба подхода – детерминированный и вероятностный. Интерес к детерминированному построению тестов сохраняется до сих пор. Применение мощных быстродействующих вычислительных машин позволило существенно поднять «уровень» размерности решаемых задач построения тестов и диагностического моделирования. Последующих успехов в этом направлении позволяют достичь проблемно ориентированные многопроцессорные вычислительные системы, специализированные на решении задач диагностического обеспечения сложных дискретных объектов.

Методы тестового диагностирования применяются для механических, газо-, гидродинамических и электрических систем на логическом уровне и применения инструментов.

При тестовом диагностировании на объект (автомобиль, агрегат, систему) подаются специальные тестовые воздействия механические, электрические, гидравлические и другие воздействия. С помощью датчиков фиксируют реакцию объекта в виде диагностического сигнала. Этот вид диагностирования применяется тогда, когда необходимо проверить исправность функционирования или обнаружить неисправность, влияющую на работоспособность проверяемого объекта. Методы тестового диагностирования представлены на рис. 9.5.

Результаты тестовых или рабочих воздействий (ответы) во всех видах систем диагностирования от объекта поступают на входы средств диагностирования. Ответы объекта могут сниматься с основных выходов (то есть с тех выходов, которые используются объектом по его назначению) и с дополнительных (специально предназначенных для диагностирования). Все выходы (основные и дополнительные) представляют собой контрольные точки объекта.

Диагностирование охватывает совокупность операций контроля, которые выполняются в определенной последовательности. От того, насколько быстро и просто эти точки контроля дают возможность получить информацию, в большой степени зависит эффективность диагностирования.

Для решения задачи тестового диагностирования динамических сис-

тем привлекаются методы, основанные на результатах теории чувствительности. Относительно линейных аналоговых систем разработаны методы дешифровки результатов физических экспериментов над такими объектами с целью как выявления, так и поиска их неисправных блоков. Тестовыми воздействиями при этом являются гармоничные входные сигналы. Методы, которые получили общее название методов интегральной диагностики, основаны на анализе переходных процессов, которые вызваны специальными входными влияниями, и применяются для диагностирования относительно простых «неделимых» объектов. При этом путем обработки результатов диагностирования удастся определять наличие скрытых дефектов, которые влияют, например, на показатели долговечности изделий.

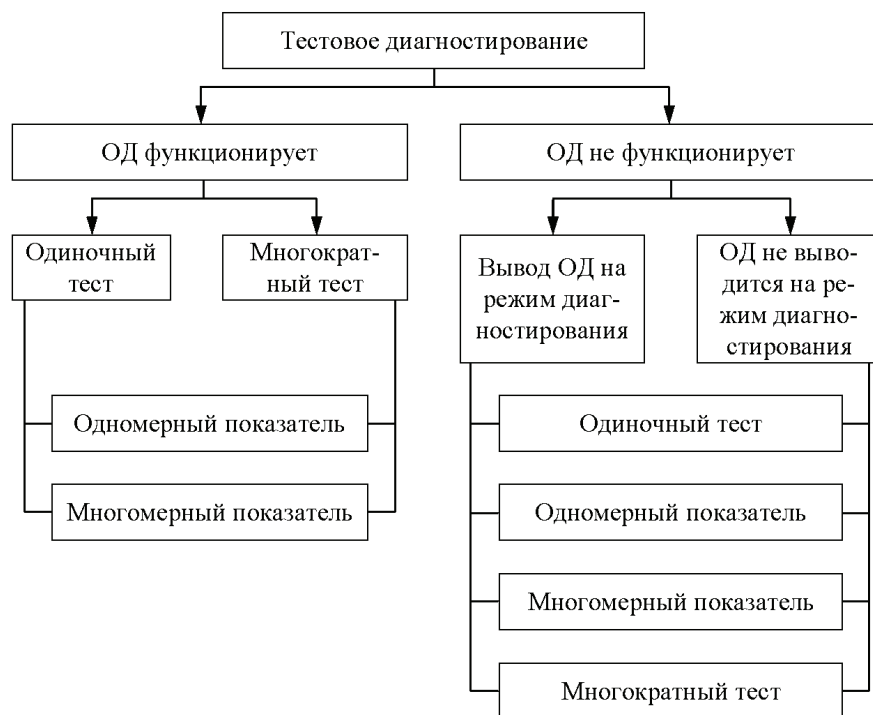


Рис. 9.5. Методы тестового диагностирования

При диагностировании реализуются специальные алгоритмы, состоящие из элементарных этапов контроля. Окончательный диагноз ставится по полученным результатам элементарного контроля механических, гидравлических, пневматических и электронных систем. При этом используются эвристические подходы, диагностические модели аналитических описаний или графо-аналитических представлений основных свойств объекта и разработанные на их основе алгоритмы диагностирования в виде совокупности последовательных операций.

Тестовое диагностирование осуществляют как при функционировании

торое подается или поступает на объект, и совокупностью контрольных точек, с которых снимают ответы объекта на это воздействие.

В автоматизированных системах диагностирования часть функций формирования тестов или анализа ответов полагается на оператора. Для объектов диагностирования, которые работают по изменяемой программе (объектов вычислительной техники), содержание тестов и анализы ответов полностью или частично могут быть реализованы программно.

Существует широкий спектр средств тестового диагностирования: от самых простых внешних или встроенных – до универсальных многофункциональных внешних средств. Последние часто предназначены не только для диагностирования, но и для решения других задач наладки сложных объектов. Такие средства содержат управляющую ЭВМ, имеют развитые устройства связи с объектом и снабжены соответствующим программным обеспечением.

Для реализации алгоритма диагностирования средства диагностирования должны иметь источники воздействий (в системах тестового диагностирования), измерительные устройства, устройства связи и обработки информации.

Тестовое диагностирование осуществляют одиночным воздействием, например одиночным импульсом (то есть в результате одного элементарного контроля), или многократным воздействием (серией импульсов), то есть в результате совокупности элементарных этапов контроля. Многократное воздействие характерно для тестового диагностирования дискретных объектов, когда на вход подается серия (последовательность) импульсов. При тестовом диагностировании возможен одномерный случай, когда оценивают один показатель, или многомерный, когда оценивают более одного показателя.

Результатом элементарной проверки являются конкретные значения сигналов от объекта из соответствующих контрольных точек. Диагноз (окончательный вывод о техническом состоянии объекта) устанавливается в общем случае по совокупности полученных результатов элементарных проверок.

Любая система диагностирования является специфической системой управления или контроля. Специфика заключается в цели управления (контроля), которая состоит в определении технического состояния объекта диагностирования.

Многомерные случаи специфичны для дискретных объектов, когда на вход подают и с выхода снимают векторные величины. К многомерному сводится и случай, когда на выходе объекта оценивают один выходной сигнал по нескольким показателям (например, амплитуда и частота).

Для сложного многофункционального объекта, состоящего из нескольких взаимосвязанных элементов, можно использовать комбинированное диагностирование – сочетания разных методов при диагностировании различных элементов. При этом допустимо применение для одного объекта как функционального, так и тестового диагностирования.

Целью анализа результатов контроля является установление диагноза.

Результаты контроля представляются в виде значений сигналов в контрольных точках, а результаты диагностирования должны быть представлены в другой, более удобной для практического использования форме. В простейшем случае данные диагностирования или их расшифровка представляют собой результаты сравнения значений сигналов в контрольных точках с заданными эталонными значениями этих сигналов. Операцию расшифровки полученных сигналов можно проводить с использованием вычислительных устройств или автоматизированных схем.

9.3 Диагностирование по функциональным параметрам

Функциональное диагностирование заключается в обработке информации характеризующей качество функционирования объекта диагностирования. Когда определяются параметры работоспособности узла, агрегата, системы по выполнению основных функций.

Функциональный подход к диагностике требует анализа не только выходных информационных сигналов, но и внутренних процессов, происходящих в механической, электрической или поточесодержащей системах машин. Существует много деталей и узлов, ухудшение структурных параметров которых (износ или расположение тесно связано с выполнением основных функций механизмом). Это такие параметры, как снижение точности работы, расхода энергоносителей, потеря мощности, качества тормозных механизмов и другие. На рис. 9.7 приведена классификация методов функционального диагностирования.

К функциональным методам контроля двигателей относится измерение диагностических параметров, которые непосредственно характеризуют мощность и расход топлива, колебания давления в системах подачи топлива, оценку дымности и токсичности отработавших газов. Работоспособность системы смазки оценивается давлением масла в магистрали, а степень пригодности масла – по количеству осадка в роторе центрифуги за определенный промежуток времени. Эффективность работы узлов системы охлаждения оценивают как по значению, так и по перепаду температур на входе и выходе из радиатора.

Для сцепления такой комплексной оценкой будет измерение скольжения при определенном моменте сопротивления. Для гидроусилителя важно оценить эффективность его действия по усилию на рулевом колесе и быстродействию.

Функциональное диагностирование осуществляется в процессе функционирования объекта в рабочем режиме. По функциональному назначению средства технической диагностики подразделяют на комплексные для диагностирования автомобиля и средства для углубленного диагностирования.

Задачи контроля работоспособности по комплексным параметрам состоят в выявлении (без указания места и причины) определенной совокупности дефектов при диагностировании по обобщенным параметрам: мощности, топливной экономичности, безопасности движения и влияния на окружающую среду. При отклонениях от нормальных значений параметров

выполнения основной функции необходимости начинается поиск места, вида и причины конкретного дефекта. Во всех этих случаях выбирают наиболее простые способы контроля, позволяющие ответить лишь на вопрос, работоспособен объект или нет, при этом необходимо затратить минимум времени и средств именно на контроль работоспособных объектов.



Рис. 9.7. Методы функционального диагностирования

Наибольшее распространение получили методы диагностирования по эффективным параметрам рабочих процессов: по герметичности рабочих объемов; по геометрическим параметрам; по тепловому состоянию; по колебательным процессам; по составу эксплуатационных материалов и отработавших газов; по периодически повторяющимся процессам или циклам (стробоскопический метод) и пр.

Метод диагностирования по периодически повторяющимся процессам основан на использовании стробоскопического эффекта, сущность которого заключается в том, что вращающаяся деталь кажется неподвижной при освещении ее кратковременными вспышками с частотой, равной (или кратной) частоте вращения детали. Этим методом можно диагностировать узлы и детали автомобилей, совершающие возвратно-поступательные и качательные движения. Широкое применение метод находит для определения правильности установки угла опережения зажигания, контроля пробуксовки

колес и пр.

При функциональном диагностировании на основные входы объекта диагностирования поступают рабочие воздействия согласно его рабочему алгоритму функционирования, а сигналы диагноза снимаются с объекта, используя контрольные точки (рис. 9.8).

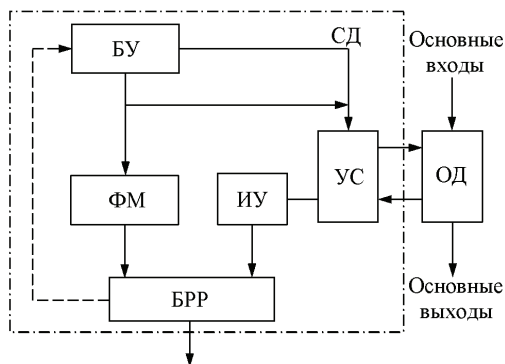


Рис. 9.8. Структурная схема функционального диагностирования:
 БУ – блок управления; ИВ – источник воздействия; ФМ – физическая модель; ИУ – измерительное устройство; УС – устройство связи объекта диагностирования (ОД) с системой диагностирования СД; БРР – блок расшифровки результатов диагностирования

Техническое диагностирование производят по алгоритму функционирования ОД фиксируется последовательность выполнения всех операций или временные интервалы и продолжительность выполнения операций или то и другое. Выбор метода определяет специфика ОД и особенности построения алгоритма его функционирования. При функциональном ТД на вход ОД должны поступать нормальные рабочие сигналы и он должен функционировать в нормальных условиях.

ТС ОД в процессе его функционирования оценивается по различным внешним признакам. В качестве параметров обычно используются выходные

показатели (параметры технической характеристики) объекта, отражающие его соответствие назначению. Так, для системы питания дизеля это будут цикловая подача и ее фазы, скорость нарастания и колебание давления топлива в аккумуляторе, несоответствие заданного давления, создаваемого насосом. Для трансмиссии – мощность механических потерь, для гидроцилиндра – тяговое усилие на штоке, для реле-регулятора – регулируемое напряжение, для тормозов – эффективность торможения по сопутствующему нагреву отдельных деталей или вообще тепловому полю, создаваемому ОД при его функционировании. Искажение этого поля свидетельствует о том, что состояние объекта изменилось. Нагрев элементов ОД выше допустимого характеризует возникновение к нему дефекта. Состояние электротехнических и электронных объектов оценивается по электромагнитному полю, создаваемому ими при функционировании, искажение которого свидетельствует об изменениях ТС ОД. Большие возможности для оценки ТС ОД с поврежденными элементами вращательного и поступательного движения имеют виброакустические методы.

Анализ виброакустического поля ОД позволяет обнаружить ненормальности в его работе, вызванные изменением его ТС. О состоянии механических объектов при их функционировании судят и по различным косвенным признакам. Так в ОД с трущимися деталями изнашивание сопровож-

ждается увеличением концентрации металлических включений в смазочном материале. Фиксируя эти изменения, судят о степени изнашивания трущихся деталей и, следовательно, об изменении ТС ОД. Информацию о ТС ОД дает расход (потребление) энергии.

В качестве тестовых могут быть использованы входные воздействия, которые являются рабочими при применении объекта по назначению. Это имеет место при организации тестового диагностирования аналоговых объектов, в том числе тогда, когда последние представлены их логическими моделями или графами причинно-следственных связей. Составленные таким способом тесты называются функциональными. Функциональные тесты чаще всего пригодны только для проверки работоспособности объектов, так как полнота обнаружения и глубина поиска неисправностей (дефектов), которая ими обеспечивается, обычно недостаточна для решения задачи проверки исправности и поиска дефектов.

При диагностировании с помощью функциональных тестов нет необходимости в специальном генераторе тестов. Анализаторы ответов могут быть оборудованы выносными зондами и адаптерами, которые позволяют снимать ответы объекта на тесты воздействия с внутренних контрольных точек последнего. Это, в частности, имеет важное значение при поиске неисправностей (дефектов). Средства тестового диагностирования, как правило, выполняются внешними, однако не исключаются случаи применения встроенных в объект средств.

При выводе объекта диагностирования на заданный режим работы необходимую информацию получают от сигналов датчиков, характеризующих диагностические параметры. Сигналы преобразуются (модулируются) в электрические, например, с помощью аналого-цифрового преобразователя и аналогового мультипликатора, поступают непосредственно в средства отображения информации и считываются оператором или в микропроцессор (микропроцессоры), где с учетом информации, содержащейся в блоке памяти, осуществляется анализ, а в ряде случаев и прогноз. Полученная информация передается в средства отображения.

В ряде диагностических приборов на дисплее может выдаваться рекомендация по конкретному перечню работ, которые необходимо выполнить по данному автомобилю. В блоке памяти могут содержаться сведения о предыдущем контроле данного автомобиля, что позволяет проследить динамику изменения диагностических параметров и дать прогноз наработок до предельно допустимого и предельного значений параметров технического состояния.

Средства функционального диагностирования дискретных объектов являются чаще всего встроенными средствами контроля. Существуют формализованные методы синтеза схем контроля для произвольных дискретных устройств. Обычные (не самопроверяющиеся) средства контроля имеют тот недостаток, что для проверки их исправности или работоспособности необходимо периодическое или эпизодическое тестирование с имитацией неисправностей контролируемых объектов. Этому недостатка лишены самопроверяющиеся средства контроля, которые наряду с неисправностями контро-

лируемых объектов должны выявлять собственные неисправности (из заданного класса). Двухвыходные схемы встроенного контроля самопроверяются. Известны подобные схемы с одним выходом, исправность (работоспособность) которых проверяется автоматически путем самого простого их тестирования при подаче на дополнительный вход двоичного сигнала, который периодически изменяется. Высокая размерность задачи при диагностировании решается достаточно удовлетворительно в результате выделения в сложном объекте его относительно простых функционально самостоятельных частей. Для каждой части строится своя локальная система диагностирования. Выходы локальных систем могут быть использованы «на месте», например, для индикации неисправных, функционально законченных, частей, а также для получения обобщенного сигнала о техническом состоянии объекта в целом.

Для решения задачи функционального диагностирования аналоговых объектов, которые представляют собой системы с обратными связями, находят применение методы, которые основаны на введении дополнительных (избыточных) переменных для получения при исправном состоянии объекта постоянных значений сигналов в организованных специальных контрольных точках, например, уровней вибрации и шума.

Хотя в принципе функциональное диагностирование предназначено, в первую очередь, для проверки правильности функционирования объектов на протяжении всего процесса их использования по назначению, оно может осуществляться как непрерывно, так и периодически. Периодичность работы средств функционального диагностирования может также определяться характеристиками надежности объектов.

Контрольные вопросы

- 1 Каковы задачи диагностирования объектов технических систем?
- 2 Каковы основные понятия технической диагностики?
- 3 В каких случаях множество диагностических параметров считается эффективным?
- 4 Что включается в понятие обнаружение неисправности, определение вида и места возникновения неисправности и локализации неисправности?
- 5 Каково назначение диагностирования в системе ТО автомобиля?
- 6 Как осуществляется тестовое диагностирование?
- 7 Как осуществляется функциональное диагностирование?
- 8 Приведите методы тестового диагностирования.
- 9 Приведите методы функционального диагностирования.

10 ПРОЦЕССЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ДИАГНОЗА

10.1 Структурная схема диагностирования

Диагностирование автомобиля в целом, ее систем и сборочных единиц должно проводиться в определенной последовательности. Условно процесс диагностирования грузового автомобиля можно разделить на пять уровней (рис. 10.1).

Последовательный принцип поиска неисправностей, одновременно устанавливающий и номенклатуру диагностических параметров, реализуется несколькими способами [18]:

- 1 От начала структурной схемы объекта к ее концу.
- 2 По убывающей вероятности – от более вероятной причины к менее вероятной. Способ применяется при известных вероятностях возникновения конкретных неисправностей.
- 3 По возрастающей трудоемкости – от менее трудоемкого определения причин к более трудоемкому.
- 4 От более вероятных и менее трудоемких к менее вероятным и более трудоемким. Это обобщающий принцип, предусматривающий алгоритмизацию в соответствии с неравенством

$$\frac{\tau_1}{1 - P_1} \leq \frac{\tau_2}{1 - P_2} \leq \dots \leq \frac{\tau_n}{1 - P_n},$$

где τ_i – затраты, связанные с проведением диагностирования по 1-му параметру; P_i – вероятность возникновения неисправности, соответствующей сигналу i -го параметра.

Первый уровень (см. рис. 10.1) включает общее диагностирование машины по выходным параметрам, оценивающим техническое состояние двигателя, трансмиссии, движителя, рабочего оборудования и систем (например, расход топлива, производительность и тяговая мощность). На втором уровне диагностируются двигатель, электрооборудование, трансмиссия, движитель, рабочее оборудование и системы машины. В третий уровень диагностирования включены сборочные единицы, приборы и системы двигателя, трансмиссии, движителя, рабочего оборудования. Четвертый уровень включает диагностирование подвижных сопряжений. На последнем (пятом) уровне рассматриваются отдельные детали.

Предлагаемая последовательность позволяет уменьшать трудоемкость выявления неисправностей и прогнозирования работоспособности машины, то есть при ее общем диагностировании измеряются параметры, характеризующие техническое состояние отдельных систем и сборочных единиц. Например, такой параметр, как тяговая мощность, оценивает и мощность двигателя, и потери в трансмиссии, и состояние движителя. Если параметры оценки технического состояния машины в целом находятся в допустимых

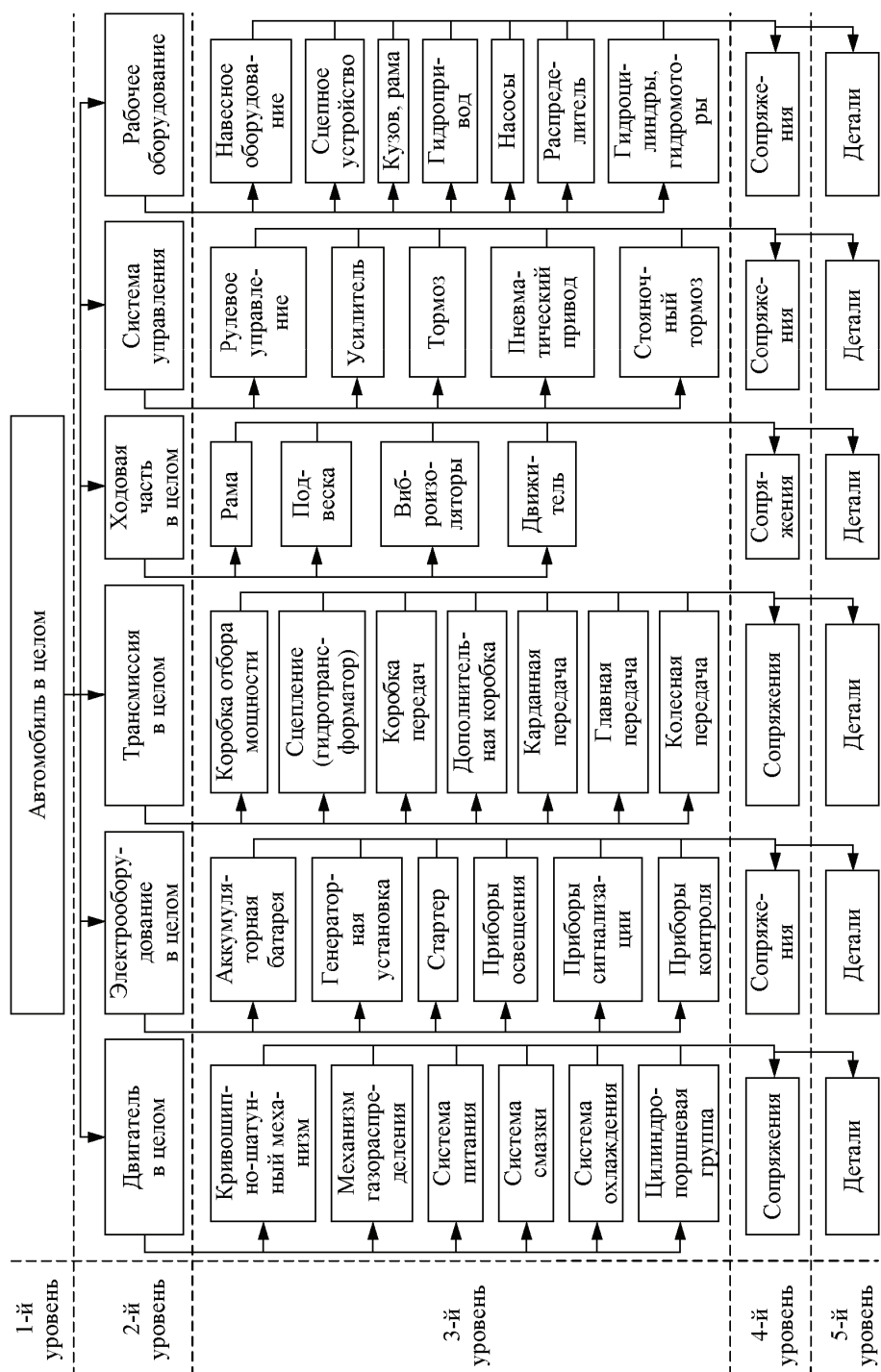


Рис. 10.1. Структурная схема диагностирования

пределах, то выполнение операций по следующим уровням нецелесообразно. Если на первом уровне контролируемые параметры превышают допустимые значения, то на втором уровне выявляется неисправность, то есть оценивается техническое состояние отдельно двигателя, трансмиссии, движителя и т.д. Например, при снижении тяговой мощности проверяются мощность двигателя, механические потери в трансмиссии и потери в движителе. На третьем уровне уже проводится поэлементная диагностика или двигателя, или трансмиссии, или движителя для выявления технического состояния их сборочных единиц и систем.

В эксплуатации важно оценить трудозатраты на локализацию неисправности с тем, чтобы, например, сравнить различные методы и выбрать оптимальный. Обычно оператор-диагност, отыскивая неисправность в технической системе, ведет поиск, сужая область, заключающую ее. Сначала он определяет систему (С) в ней – агрегат (А), в агрегате – узел (У) и, наконец, – элемент (Э). Тогда трудоемкость поиска будет равна сумме трудоемкостей, затрачиваемых на контроль каждого тракта,

$$\tau_{\Pi} = \tau_C + \tau_A + \tau_U + \tau_{\text{Э}}. \quad (10.1)$$

Общая трудоемкость локализации τ_{Σ} неисправности включает еще и трудоемкость $\tau_{\text{УС}}$ устранения отказа

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\Pi} + \tau_{\text{УС}}.$$

Практика показывает, что, независимо от условий эксплуатации однотипных ТС, относительные коэффициенты

$$\psi_C = \frac{\tau_C}{\tau_{\Sigma}}; \quad \psi_A = \frac{\tau_A}{\tau_{\Sigma}}; \quad \psi_U = \frac{\tau_U}{\tau_{\Sigma}}; \quad \psi_{\text{Э}} = \frac{\tau_{\text{Э}}}{\tau_{\Sigma}} \quad (10.2)$$

практически постоянны. Это позволяет, используя номограмму при известном нормативном τ_{Σ}^H найти действенное скорректированное значение τ_g при изменении, например, технологии диагностирования.

От традиционного контрольного осмотра современное диагностирование отличается, во-первых, объективностью и достоверностью оценки технического состояния автомобилей, которое достигается применением инструментальных методов проверки, во-вторых, возможностью определения выходных параметров (параметров эффективности) агрегатов систем автомобилей (мощности, топливной экономичности, тормозных качеств, и так далее) и, в-третьих, наличием условий для повышения надежности и организованности функционирования производства ТО и ремонта автомобилей за счет более эффективного оперативного управления им.

Диагностирование технического состояния любого объекта осуществляется теми или другими средствами диагностирования. Средства могут быть аппаратными или программными, средством диагностирования может также выступать человек-оператор или контролер. Средства и объект диагностирования что взаимодействуют между собой образуют систему диагно-

стирования.

Как правило, используются два способа диагностирования. При первом в процессе диагностирования на объект диагностирования (ОД), который не находится в рабочем состоянии, осуществляются определенные механические, электрические, гидравлические и другие воздействия и с помощью датчиков фиксируется его реакция в виде диагностического сигнала P_i .

При втором способе объект диагностирования выводится на заданный режим работы, с помощью датчиков от него принимаются сигналы, которые характеризуют диагностические параметры P_i . Эти сигналы превращаются (модулируются) в электрические, улучшаются (очищаются от «шума»), например, с помощью аналого-цифрового преобразователя и аналогового мультипликатора и дальше поступают непосредственно на средства отображения информации и считываются оператором или, в более сложных диагностических приборах, к микропроцессору (микропроцессорам), где с учетом информации, которая содержится в блоке памяти (запоминающее устройство), осуществляется анализ, а в ряде случаев прогноз и полученная информация передаются на средства отображения.

10.2 Разработка алгоритмов поиска неисправностей

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 деградационных 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. 10.2.

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.

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.



Рис. 10.2. Схема решения диагностических задач

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 прило-

жение 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 называются 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 анализи-

руется 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, быстрдействие 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.

Быстрдействие 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.

10.3 Процесс диагностирования и постановки диагноза

При эксплуатации автомобильной техники необходимо применение ранней диагностики, позволяющей обнаружить неисправности с упреждением по времени, которое допускает длительное и безопасное продолжение

эксплуатации. На практике содержание и режимы проведения профилактических и ремонтных работ, как правило адресные, и определяются надежностью элементов: провести смазывание конкретного соединения или узла, проверить затяжку конкретного крепежного соединения, отрегулировать зазор (люфт, ход) конкретного механизма, заменить конкретную деталь или агрегаты и др.

Диагноз про явно неудовлетворительную работу технического устройства по основным производственным показателям ставится легко, но всегда с недопустимым опозданием. Содержание жалобы владельца автомобиля часто является интуитивным и грубо поставленным диагнозом (наличие какой-то неполадки).

В системах технической диагностики ставится более сложная задача: не только установление факта работоспособности, но и нахождение местоположения отказа (локализация неисправностей). Это достигается специальными методами и 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.

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.

Основным выходом процесса диагностики является информация о характере и месте неисправности. При диагностике рассматриваются абстрактные модели на основе эмпирических исследований конкретных технических систем.

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.

Упрощенная схема процесса диагностирования показана на рис. 10.3.

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 (см. раздел 4).

Постановка диагноза неисправности или сложных технических систем автомобиля, как правило, ставится не по одному, а по нескольким диагностическим параметрам. Определение диагностических параметров проводят в заданном скоростном, нагрузочном и других заданных режимах.

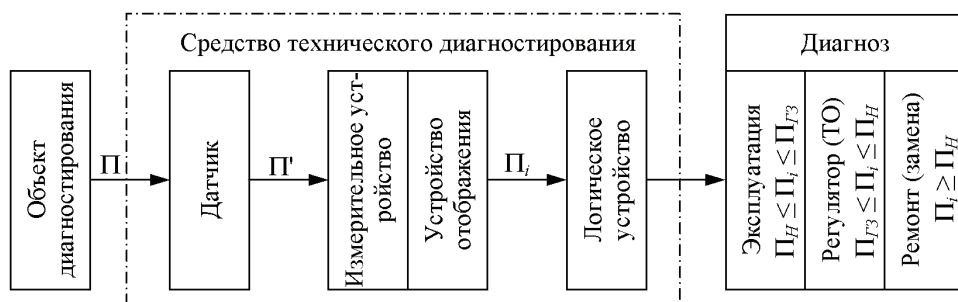


Рис. 10.3. Схема процесса диагностирования

Как показано на рис. 10.3, из объекта диагностирования, выведенного на заданный режим, с помощью специального датчика (механического, гидравлического, пьезоэлектрического, индукционного и тому подобное) принимается сигнал, который отображает диагностический параметр Π , который характеризует, в свою очередь, значение структурного параметра S .

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

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.

Диагностирование осуществляется в процессе работы самого автомобиля, его агрегатов и систем на заданных скоростных и тепловых режимах (функциональное диагностирование) нагрузок или при использовании внешних приводных устройств (роликовых стендов, подкатных и переносных приспособлений), с помощью которых на автомобиль подаются тестовые воздействия (тестовое диагностирование). Эти воздействия должны обеспечивать получение максимальной информации о техническом состоянии автомобиля при оптимальных трудовых и материальных расходах.

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. В неавтоматизированных СТД процесс постановки диагноза осуществляется оператором.

В зависимости от задачи диагностирования и сложности объекта диагноз может различаться глубиной. Для оценки работоспособности агрегата, системы, автомобиля в целом используются выходные параметры, на основании которых устанавливается общий диагноз типа «да», «нет» («пригодный», «непригодный»).

Для определения потребности в ремонтно-регулировочной операции нужен более глубокий диагноз, основанный на локализации конкретной неисправности. Постановка диагноза в случае, когда придется пользоваться одним диагностическим параметром, не вызывает особенных методических трудностей и практически сводится к сравнению измеренной величины диагностического параметра с нормативом.

Работоспособность – состояние изделия, при котором он может выполнять заданные функции с параметрами, значения которых отвечают технической документации, то есть находятся в интервале $\Pi_H - \Pi_{II}$ (см. рис. 10.4). На рис. 10.4 приведены обозначения для случая совпадения структурного (S) и диагностического параметра (Π).

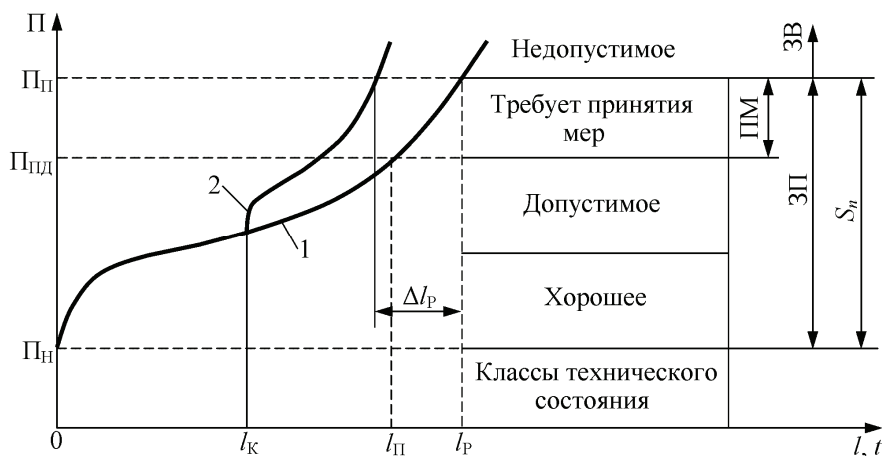


Рис. 10.4. Схема изменения ресурсных параметров технического состояния:

1 – без разборки; 2 – после разборки; Δl_p – снижение ресурса; ЗР – зона работоспособности (допустимый прирост параметров); ЗО – зона отказов; ЗМ – зона принятия решений для предотвращения отказов; $\Pi_{ПД}$ – предельно допустимое значение параметра; l_p – ресурс изделия; l_n – ресурс предупреждения; Π_H – номинальное (исходное) значение параметра; Π_{II} – предельное значение параметра; S_n – предельный зазор (см. рис. 5.11); l_K – пробег до контрольной разборки

Наработка изделия к предельному состоянию Π_{II} 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 (см. рис. 10.4), 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:

$$P_i = [P_n \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_{пд} \rightarrow P_n].$$

Различают отказы автомобиля и его элементов (агрегатов, систем, деталей).

Итак, из всей совокупности параметров технического состояния (конструктивных P и диагностических S) особое значение для эксплуатации имеют четыре:

- $P_0 = P_n$, $S_0 = S_n$ – номинальное или начальное значение, которое определяется проектно-конструкторской документацией и качеством изготовления изделия;
- P_n , S_n – предельное значение, превышение которого приводит к отказу изделию и недопустимое;
- $P_{пд}$, $S_{пд}$ – предельно допустимое значение, которое предшествует предельному и сигнализирует пользователю о необходимости принятия мер из возобновления технического состояния;
- P_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.

Техническое состояние автомобиля определяется совокупностью переменных свойств его элементов, которые характеризуются текущим значением конструктивных параметров P_i (табл. 10.1) [26]. Обычно текущие значения конструктивных параметров связывают с наработкой.

Таблица 10.1

Конструктивные элементы автомобилей и их параметры P

Конструктивный элемент автомобиля	Количество	Конструктивный параметр
Агрегат, система	15...20	Кинематическая схема, степень подвижности, структурная формула
Узел, механизм	70...90	Вид соединения, передач, сопротивление и уплотнение Взаимное размещение деталей и узлов Присоединительные размеры, зазоры, люфты, ходы
Деталь	1500 0...2 5000	Размер и конфигурация Вид материала, прочность Качество и точность обработки поверхности Характер взаимодействия и взаимного перемещения Электрическое, гидравлическое сопротивление и др.

Из практических соображений в зоне работоспособности выделяют так называемую предотказную зону ПМ принятия мер (см. рис. 10.4), в на-

чале которой (при $l = l_{\Pi}$) параметр технического состояния достигает своего предельно допустимого $\Pi_{\text{ПЗ}}$ значения. Зона ПМ составляет значительно меньшую часть величины ЗП, для ресурсных параметров приблизительно – 1/4...1/5 часть ЗП (см. раздел 3). Значение этого параметра называют также предупредительным. Попадание изделия в эту зону свидетельствует о приближении отказа и необходимости принятия профилактических мероприятий по его предупреждению, то есть для поддержки работоспособности.

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 (см. рис. 10.4) параметры технического состояния изменяются от номинальных Π_n , присущих новому изделию, к предельным $\Pi_{\text{П}}$, при которых последующая эксплуатация изделия по техническим, конструктивным, экологическим или по другим причинам является недопустимой.

Величина номинальных, предельных и предельно допустимых $\Pi_{\text{ПД}}$ значений параметров технического состояния устанавливаются законами, государственными стандартами, постановлениями правительства, нормативно-техническими и проектно-конструкторскими документами, систематизируются в изданиях справочников, в том числе и международных.

Техническое состояние определяется текущим значением конструктивных параметров (размеры, зазоры, ходы и т.д.) с использованием прямого или косвенного метода. При определении текущего значения конструктивных параметров различают определенные диагностические параметры и виды средств диагностирования.

При измерениях диагностических параметров неизбежно регистрируются помехи, предопределенные конструктивными особенностями диагностируемого объекта, характеристиками прибора и его точностью. Это затрудняет постановку диагноза и снижает его достоверность.

Как правило, изменение конструктивного параметра может быть зафиксировано несколькими различными диагностическими параметрами, из которых целесообразно избрать наиболее эффективный по свойству однозначности, чувствительности, стабильности, информативности и системности (см. подраздел 5).

Информативность является комплексным свойством, которое сочетает все предыдущие состояния и характеризует снятие неопределенности при определении технического состояния объекта диагностирования и сводит к минимуму возможности, используя принятый диагностический параметр, принять фактически неисправный по данному техническому параметру объект диагностирования за исправный (ошибки первого рода) и наоборот (ошибки второго рода).

10.4 Контроль технического состояния по нормативным параметрам

Нормативные параметры. Нормативные значения номинальных, допустимых и предельных параметров механизмов, деталей и сопряжений автомобилей частично представляются в эксплуатационной документации. Ниже приведены некоторые виды нормируемых параметров:

- зазоров в сопряжениях подшипников, зубчатых передач и других деталей;
- допустимого дисбаланса карданных валов;
- толщины фрикционных накладок;
- свободного и полного хода педали;
- цилиндропоршневой группы двигателей;
- кривошипно-шатунного механизма двигателя;
- системы смазки двигателя;
- теплового зазора топливной системы двигателя;
- контроля топливных насосов;
- контроля свечей зажигания;
- характеристик распределителей зажигания;
- контроля датчиков системы управления двигателя;
- тормозного пути;
- износа деталей тормозной системы;
- колебаний кузова автомобиля;
- допустимого люфта рулевого колеса;
- параметров установки колес;
- параметров подвески и ходовой части;
- дисбаланса колес с шинами и без шин;
- значений давления воздуха в шинах;
- параметров герметичности гидросистем;
- параметров объемной подачи масла насосами;
- параметров контроля генераторов тока и стартеров.

Нормы на допустимые значения эксплуатационных диагностических параметров приведены в работе [13]. В табл. 10.2, 10.3 приведены некоторые нормы периодичности диагностирования и нормы пробега автомобилей до капитального ремонта.

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 сравнению измеренной величины диагностического параметра с нормативом.

Таблица 10.2

Нормативы периодичности технического обслуживания подвижного состава

Тип подвижного состава	Нормативы периодичности технического обслуживания не менее, км		
	ЕО	ТО-1	ТО-2
Автомобили легковые	Один раз в рабочие сутки независимо от числа рабочих смен	5000	20000
Автобусы		5000	20000
Автомобили грузовые, автобусы на базе грузовых автомобилей или с использованием их основных агрегатов		4000	15000
Автомобили-самосвалы карьерные		2000	10000
Прицепы и полуприцепы		4000	16000
Прицепы и полуприцепы тяжеловозы		3000	12000

Таблица 10.3

Нормы пробега подвижного состава до капитального ремонта, тыс. км

Подвижной состав и его основной параметр	Марка, модель	Норма пробега
Автомобили легковые		
Особо малого класса (рабочий объем двигателя до 1,2 л включительно)	ЗА3-1102 «Таврия»	125
Малого класса (свыше 1,2 до 1,8 л)	ВА3-210430, ВА3-2115	150
Среднего класса (свыше 1,8 до 3,5 л)	ГА3-3110, ГА3-3111	400
Автобусы:		
Особо малого класса (длина до 5 м включительно)	ГА3-32213, ГА3-2217	350
Малого класса (свыше 6,0 до 8,0 м)	КАВ3-3976, ЗиЛ-325030	400
Среднего класса (свыше 8,0 до 10,0 м)	КАВ3-39765, ЛАЗ-42072	500
Большого класса (свыше 10,5 до 12,0 м)	ЛИАЗ-525625, МАРЗ-52661	500
Особо большого класса (свыше 12,0 м)	АКА-6226 (на шасси Мерседес-Бенц 0405G)	400
Автомобили грузовые общего назначения		
Особо малой грузоподъемности (от 0,5 до 1,0 т)	УАЗ	150
Малой грузоподъемности (свыше 1,0 до 3,0 т)	ЗиЛ-5301АО	175
Средней грузоподъемности (свыше 3,0 до 5,0 т)	ЗиЛ-432730, МАЗ-437040	300
Большой грузоподъемности (свыше 5,0 до 6,0 т)	ЗиЛ-431410	450
Большой грузоподъемности (свыше 8,0 до 8,0 т)	КамАЗ-5320, ЗиЛ-534330	300

10.5 Постановка диагноза по нормативным значениям диагностических параметров

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

пробега автомобиля. На основе допустимого норматива ставят диагноз о состоянии объекта и принимают решение о необходимости текущего ремонта или регулировок.

Методы диагностирования по нормативным параметрам основаны на сопоставлении текущих значений измеренных параметров износов, зазоров, углов, утечек жидкостей и газов, скоростей, нагрузок мощности, временных параметров, уровню вибрации и др. с установленными нормами стандартов, техническими условиями и эксплуатационной документацией.

Предельный норматив Π_{Γ} 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 приведены в технической документации на автомобиль, а нормы периодичности ТО и пробега подвижного состава приведены в табл. 10.2, 10.3.

Значение Π_{Γ} соответствует новому или технически исправному объекту. В процессе эксплуатации Π_{Γ} 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_{Γ} из начального значения Π_0 и допустимого приращения или снижения $\Delta\Pi$ то есть

$$\Pi_{\Gamma} = \Pi_0 + \Delta\Pi. \quad (10.1)$$

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. 10.5).

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. 10.4). 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 Π_{Γ} .

Под ошибкой первого рода понимают признание исправного объекта неисправным, а под ошибкой второго рода понимается пропуск неисправ-

ного, 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. 10.6).

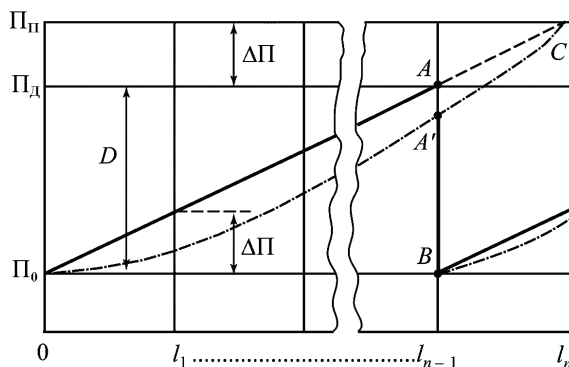


Рис. 10.5. Схема формирования диагностических нормативов при линейной зависимости параметра P от пробега l :

P_d – допустимое приращение параметра; AB – профилактическое восстановление объекта; l_i – периодичность планового диагностирования; ΔP – приращение параметра за межконтрольный пробег; точка C – аварийное состояние объекта; n – количество диагностических операций за $l_p \approx l_n$; $l_p \sim 1$

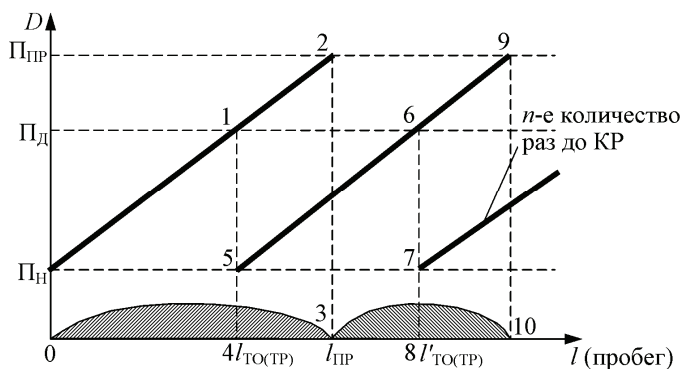


Рис. 10.6. Характер изменения диагностических нормативов в зависимости от пробега машин

Если при текущем диагностировании автомобиль достигает нормативного значения P_d (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 назначения 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 Π_i и сравнении их с величинами $\Pi_{\text{н}}$, $\Pi_{\text{д}}$ и $\Pi_{\text{пр}}$. При этом различают три возможных варианта постановки диагноза:

- а) когда Π_i равно или больше $\Pi_{\text{пр}}$, то есть $\Pi_i \geq \Pi_{\text{пр}}$, и в этом случае объекту следует выполнить ремонт;
- б) когда $\Pi_i \geq \Pi_{\text{д}}$, но меньше $\Pi_{\text{пр}}$, и тогда объекту следует выполнить ТО или ТР;
- в) когда Π_i меньше $\Pi_{\text{д}}$, то есть $\Pi_i < \Pi_{\text{д}}$, и тогда объект может продолжить эксплуатацию без проведения ТО или ТР.

Значения снижения диагностического функционального параметра	Классы качественной и количественной оценки технического состояния		Значения повы- шения диагно- стического ресурсного параметра
	Диапазон снижения	Диапазон повышения	
<div><div>П_н</div><div>↓</div><div>П_п</div></div>		Недопустимое	<div><div>П_п</div><div>↑</div><div>П_н</div></div>
		Требуется принятия мер	
		Допустимое	
		Хорошее	
	Допустимое	Отличное	
	Требуется принятия мер		
Недопустимое			

Рис. 10.7. Нормы и классы качественной оценки технического состояния функциональных и ресурсных элементов: $\Pi_{\text{н}}$ – номинальные (исходные) нормативные диагностические параметры; $\Pi_{\text{п}}$ – предельные диагностические параметры

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. 10.4, 10.7, где P_d соответствует классу «Требуется принятия мер».

10.6 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_P разбивается на зоны (см. рис. 10.7). К нормативным значениям диагностических параметров относятся: «хорошее», «допустимое», «требуется принятия мер», «недопустимое» – граничное значение.

Номинальное (исходное) значение параметра P_H соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Предельные – «недопустимые» значения структурных и функциональных параметров соответствует 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. 10.7). Для функциональных диагностических параметров нормативные значения могут определяться как исходное – «нормативное» (P_H), «допустимое», «требуется принятие мер» и предельное – «недопустимое» (P_P). Здесь верхняя граница допустимого значения диагностического параметра «требуется принятие мер» представляет собой ужесточенную величину предельного значения, при которой обеспечивается допустимое с экономических соображений техническое состояние машины.

Классификационные диапазоны предельного приращения (P_P) диагностического параметра в эксплуатации чаще всего определяют с разностью интервалов между близлежащими областями (зонами) в 20 % изменения ресурсного параметра и 10 % функционального параметра (см. рис. 10.7).

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.

10.7 Постановка диагноза по комплексу диагностических параметров

Постановка диагноза, когда производится поиск неисправности у сложного механизма или электронной системы 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. При анализе совокупности признаков у диагноста интуитивно возникает «догадка» о наиболее вероятном диагнозе. 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.

Диагностическая матрица, приведенная в табл. 10.4, представляют собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами P и возможными неисправностями D объекта.

Таблица 10.4

Элементарная матрица диагнозов и диагностических параметров

Диагнозы (неисправности)	Диагностические параметры				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
D_1	1	1	1	1	0
D_2	1	1	1	0	0
D_3	1	1	1	0	1

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 – Π_1 , большим содержанием углеводородов (C_nH_m) в выхлопных газах – Π_2 , большим содержанием СО в выхлопных газах – Π_3 , загрязнением карбюратора – Π_4 . Износ топливных жиклеров (D_2) сопровождается: повышенным расходом топлива – Π_1 , большим содержанием C_nH_m в выхлопных газах – Π_2 , большим содержанием СО в выхлопных газах – Π_3 . Неправильная регулировка холостого хода (D_3) сопровождается указанными ранее признаками Π_1, \dots, Π_3 и неустойчивой работой двигателя на холостом ходу – Π_5 . Описание диагнозов удобно свести в матрицу, обозначая наличие признака «1», а отсутствие – «0» (табл. 10.4).

Говоря об отсутствии или наличии некоторого диагностического признака, имеем в виду, что диагностический параметр меньше или больше выбранного допустимого значения диагностического параметра Π_d (ведь работающий двигатель всегда имеет какой-то расход топлива, какую-то температуру и т. д.).

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 табл. 10.5.

Таблица 10.5

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. 10.4 диагнозам, в табл. 10.5 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_nH_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 – рассмотрим ее типичный вывод [5, 32, 48].

Пусть в урне находится N шаров, среди которых n_i – пустотелые, из них n_1^* – белые и n_2 – сплошные, из них n_2^* – белые (остальные пустотелые и сплошные шары черные).

Вероятность вынуть пустотелый шар (события A)

$$P(A) = n_1/N.$$

Вероятность вынуть белый шар (события B)

$$P(B) = \frac{n_1^* + n_2^*}{N}.$$

Вероятность, что вынутый пустотелый шар окажется белым,

$$P_A(B) = \frac{n_1^*}{n_1}.$$

Вероятность, что вынутый белый шар окажется пустотелым,

$$P_B(A) = \frac{n_1^*}{n_1^* + n_2^*}.$$

Вероятность, что шар будет белым и пустотелым (совместное наблюдение двух событий определяется произведением вероятностей),

$$P(BA) = P(B) \cdot P_B(A) = \frac{n_1^* + n_2^*}{N} \cdot \frac{n_1^*}{n_1^* + n_2^*} = \frac{n_1^*}{N}.$$

Вероятность, что шар будет пустотелым и белым,

$$P(AB) = P(A) \cdot P_A(B) = \frac{n_1}{N} \cdot \frac{n_1^*}{n_1} = \frac{n_1^*}{N}.$$

Поскольку $P(BA) = P(AB)$, можно записать

$$P(B) \cdot P_B(A) = P(A) \cdot P_A(B),$$

отсюда формула Байеса

$$P_A(B) = \frac{P(B) \cdot P_B(A)}{P(A)}.$$

Применительно к диагностике формулу Бейеса можно записать

$$P_{ij}(D_i) = \frac{P(D_i) \cdot P_{Di}(\Pi_j)}{P(\Pi_j)},$$

где $P_{ij}(D_i)$ – вероятность D_i -го диагноза при наблюдении Π_j -го параметра; $P(D_i)$ – вероятность D_i -го диагноза; $P_{Di}(\Pi_j)$ – вероятность наблюдения Π_j -го параметра при диагнозе D_i ; $P(\Pi_j)$ – вероятность наблюдения Π_j -го параметра по всем диагнозам.

Поясним записанную формулу наглядным примером. К врачу на прием пришел больной с высокой температурой. С какой вероятностью у больного грипп? Если в данный момент в городе наблюдается эпидемия гриппа, то вероятность диагноза велика. Если данный вирус не сопровождается высокой температурой, это снижает вероятность постановки диагноза «грипп». Если в поликлинику практически все приходят с высокой температурой (знаменатель формулы велик), то это тоже снижает вероятность постановки диагноза «грипп».

При постановке диагноза по комплексу признаков, формула будет записываться аналогично, но вместо единичного параметра Π_j будет рассматриваться комплекс параметров Π_j^* .

Вероятность совместного наблюдения независимых признаков, составляющих анализируемый комплекс диагностических параметров, можно выразить произведением вероятностей наблюдения каждого параметра при рассматриваемом диагнозе

$$P_{Di}(\Pi_j^*) = P_{Di}(\Pi_1) \cdot P_{Di}(\Pi_2) \cdot P_{Di}(\Pi_3) \cdot \dots \cdot P_{Di}(\Pi_n).$$

Если в комплексе некоторые признаки отсутствуют, то в произведение ставят вероятность отсутствия диагностического параметра

$$P_{Di}(\tilde{\Pi}_j) = 1 - P_{Di}(\Pi_j).$$

Вероятность наблюдения комплекса признаков по всем диагнозам определяют по формуле полной вероятности (как математическое ожидание)

$$P(\Pi_j^*) = \sum_{i=1}^m P(D_i) \cdot P_{Di}(\Pi_j^*).$$

Используя данные табл. 7.8, рассчитаем вероятности диагнозов для заданного ранее комплекса диагностических параметров

$$\Pi^* = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5\}.$$

$$P_{\Pi}(D_1) = \frac{0,05 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,8}{0,05 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,1 \cdot 0 \cdot 0,8 + \dots} \dots$$

$$\dots \frac{\dots}{\dots + 0,55 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1} = 0,849.$$

$$P_{\Pi^*}(D_2) = 0; \quad P_{\Pi^*}(D_3) = 0,00477; \quad P_{\Pi^*}(D_4) = 0,146.$$

На основе проведенных расчетов, можно сказать, что для автомобиля с набором признаков, соответствующих заданному комплексу диагностических параметров, наиболее вероятным является первый диагноз: негерметичен запорный клапан поплавковой камеры карбюратора. Практически невероятен износ жиклеров, маловероятно, что у карбюратора не отрегулирована система холостого хода. Если первый диагноз не подтвердится при проверке карбюратора, то вторым по значимости будет четвертое предположение: причина плохой работы двигателя кроется в чем-то другом [14].

Естественно, что в реальных системах диагностирования подобные расчеты должны проводиться микропроцессорной схемой автоматически. Система диагностирования должна предусматривать процесс «обучения», то есть корректирования матрицы вероятностей по мере накопления опытных данных. С этой целью в памяти ЭВМ следует хранить не только вероятности $P(D_i)$ и $P_{D_i}(\Pi_j)$, но и общее число объектов N , по которым определялись вероятности диагнозов $P(D_i)$, а также N_{ij} – число объектов с признаком Π_j при диагнозе D_i .

Если поступает новый объект с диагнозом D_i , то проводят корректировку прежних априорных вероятностей (присваивают новое значение) следующим образом:

$$P(D_i) = \frac{N_i}{N+1} = \frac{N_i}{N} \cdot \frac{N}{N+1} = P(D_i) \cdot \frac{N}{N+1} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad i \neq k;$$

$$P(D_k) = \frac{N_k + 1}{N+1} = P(D_k) \cdot \frac{N}{N+1} + \frac{N}{N+1} \quad \text{при } i = k.$$

После этого присваивается новое значение числу объектов $N = N + 1$.

Корректировку вероятностей признаков проводят только для строки с диагнозом D_k следующим образом:

$$P_{Dk}(\Pi_j) = \frac{n_{kj}}{N_{kj} + 1} = \frac{n_{kj}}{N_{kj}} \cdot \frac{N_{kj}}{N_{kj} + 1} = P_{Dk}(\Pi_j) \cdot \frac{N_{kj}}{N_{kj} + 1},$$

если признак Y_j у нового объекта отсутствует;

$$P_{Dk}(\Pi_j) = \frac{n_{kj} + 1}{N_{kj} + 1} = P_{Dk}(\Pi_j) \cdot \frac{N_{kj}}{N_{kj} + 1} + \frac{1}{N_{kj} + 1},$$

если признак Π_j у нового объекта присутствует.

В этих расчетах N_{kj} – общее число объектов, по которым рассчитывалась вероятность наблюдения признака; n_{kj} – число объектов, у которых признак Π_j наблюдался.

Итак, после диагностирования очередного автомобиля и подтверждения фактического диагноза по результатам разборки узла или каким-либо другим образом, диагност вносит коррективы в диагностическую матрицу. В результате такой процедуры диагностическая система «обучается», «набирается опыта», что имитирует рост профессионального мастерства человека, занимающегося диагностированием.

10.8 Постановка диагноза по методу последовательного анализа

Как правило, первым диагностом технического состояния автомобиля является его водитель, который в процессе эксплуатации автомобиля следит за возникающими шумами, вибрациями и другими проявлениями процессов функционирования агрегатов и систем. После появления некоего «необычного» признака, внимание водителя сосредотачивается на техническом состоянии автомобиля – идет накопление информации о частоте повторного появления того же признака или других признаков, которые могут выступать в качестве диагностических параметров.

Профессиональный диагност так же начинает проводить обследование автомобиля с наиболее информативных признаков, последовательно перебирая их, при необходимости многократно повторяя испытания, до момента установления диагноза.

Часто диагностика сводится к проверке гипотезы о состоянии некоторого объекта, которое выражается двумя диагнозами: D_1 – объект исправен, D_2 – объект неисправен. Вероятности диагнозов отвечают очевидному условию:

$$P(D_1) + P(D_2) = 1.$$

При наблюдении комплекса признаков вероятность диагноза может быть выражена формулой Байеса [5, 32, 48]:

$$P_{\Pi^*}(D_i) = \frac{P(D_i) \cdot P_{D_i}(\Pi^*)}{P(\Pi^*)}.$$

Под комплексом признаков здесь понимается или последовательно получаемый набор различных диагностических параметров, или последовательность нескольких значений одного параметра, контролируемого в процессе диагностирования.

Для распознавания состояний D_1 и D_2 следует составить отношение вероятностей этих диагнозов при наблюдаемом комплексе диагностических параметров по формуле Байеса. Примеры решения таких задач диагностирования приведены в работах [5, 48].

Контрольные вопросы

- 1 В какой способ реализуется последовательный принцип поиска неисправностей автомобиля?
- 2 Перечислите уровни последовательности диагностирования автомобиля.
- 3 Приведите схему решения диагностических задач.
- 4 На основе каких схем строится процесс поиска неисправностей?
- 5 Как оптимизировать алгоритм поиска неисправностей?
- 6 На чем базируется логическая алгоритмизация поиска неисправности?
- 7 Приведите общую схему процесса диагностирования и постановки диагноза.
- 8 Приведите упрощенную схему автоматизированных средств технической диагностики.
- 9 Кем назначаются номинальные (исходные), предельные и допустимые величины диагностических параметров?
- 10 Приведите нормативные значения тормозной и рулевой системы автомобиля.
- 11 Как производится постановка диагноза по нормативным значениям диагностических параметров?
- 12 Какие варианты технических решений могут быть приняты при достижении объектом нормативных значений?
- 13 Как можно разрабатывать нормы классов качественных значений ресурсных и функциональных состояний объекта диагностирования?
- 14 Какие виды технического состояния объектов диагностирования принимаются для определения нормативных значений диагностических параметров?
- 15 Как производится постановка диагноза по комплексу диагностических параметров?
- 16 Как производится постановка диагноза технического состояния объекта диагностирования по методу последовательного анализа.

11 ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ САМОКОНТРОЛЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ОТКАЗОВ

11.1 Самоконтроль технических систем автомобиля

В настоящее время устройства обработки аналоговых сигналов вытесняются устройствами обработки и представления сигналов в цифровой форме. Для этого в средствах технического диагностирования широко используется микропроцессорная техника, в том числе одноплатные и однокристалльные микроЭВМ. Микропроцессорные устройства дают возможность обрабатывать данные по довольно сложным алгоритмам, осуществлять операции сравнения полученных данных с эталонными, представлять информацию в форме, наиболее удобной для восприятия. Введение в состав приборов вычислительно-управляющих устройств значительно усложнило их структуру, но и увеличило технические возможности. К этому же привели характерные для современной аппаратуры увеличение объема данных, подлежащих сбору и обработке, рост числа каналов, в которых накапливается информация, повышение числа параметров сигналов, поступающих от датчиков.

При построении современной аппаратуры широкое распространение получил магистрально-модульный метод в соответствии с которым измерительные приборы komponуются из конструктивно завершенных и совместимых друг с другом элементов или модулей, в свою очередь, информационно объединяющихся через специальные системы связи (интерфейсы). Значительный объем электронных устройств в системах диагностирования реализуется на больших интегральных схемах (БИС), поэтому для обеспечения надежной и безотказной работы приборов и быстрой локализации дефектных элементов необходимо осуществлять периодическое тестирование (самодиагностирование) этих БИС как автономно, так и в составе аппаратуры диагностирования. В первую очередь это относится к микропроцессорам, оперативным и постоянным запоминающим устройствам, операционным усилителям, аналого-цифровым и цифро-аналоговым преобразователям и другим элементам и блокам.

Встроенные системы диагностирования являются главным направлением компьютеризации автомобиля. Благодаря им происходит перераспределение и автоматизация функций, ранее принадлежащих водителю и механику АТП (СТО), а также выработка рекомендаций по режимам технического обслуживания на базе диагностической информации.

Решение этих проблем заключается во включении функций «самоконтроля» в электронную систему. Реализация этих функций основана на возможностях электронных систем, которые используются в автомобиле для непрерывного контроля и определения неисправностей с целью хранения этой информации и диагностирования.

Повышению надежности мехатронных систем способствует применение постоянно действующей, встроенной системы диагностирования. Эта

система содержит в себе пассивное и активное диагностирование. Пассивное диагностирование – сбор информации о состоянии автомобиля и микроконтроллера и активное проведение различных тестовых операций. По результатам диагностирования осуществляется предупредительная сигнализация и мероприятия по сохранению работоспособности электронных систем.

Диагностирование может проводиться как при неработающем объекте, так и при нормальном его функционировании. Методы диагностирования основаны на проверке правильности работы электрической сети автомобиля, измерении характеристик сигналов в заданных точках на заданных режимах работы и сравнении этих характеристик с установленными нормативными значениями, а также на анализе отзыва при подаче тестирующих сигналов [57].

Возможности «самоконтроля» предусматривают:

- идентификацию системы и ECU;
- распознавание, хранение и считывание информации о систематических и единичных нарушениях работы;
- считывание текущих реальных данных, которые включают условия окружающей среды и спецификации;
- моделирование функций системы;
- программирование параметров системы.

Отдельные программы для испытательного блока хранятся в подключенных модулях, в то время как корректировка и передача данных в системе осуществляются посредством интерфейса данных.

Самоконтроль, например двигателя, характеризуется выполнением нескольких требований:

- 1 Контроль за работой сложных систем и узлов. Конструкция двигателя, который все больше усложняется, делает возможности самоконтроля достаточно важными для обнаружения и устранения неисправностей. Целью является интегрирование всей системы в процесс диагностики.
- 2 Защита узлов и деталей, которые подвергаются особому риску в случае появления неисправностей. В качестве примера можно привести защиту каталитического нейтрализатора, который реагирует на пропуски зажигания в двигателе. Система реагирует на определенную частоту появления пропусков зажигания и отключает подачу топлива в неисправный цилиндр для предотвращения перегрева нейтрализатора.
- 3 Работа в аварийной ситуации в соответствии с величинами, принятыми «по умолчанию». Например, в случае выхода из строя датчика нагрузки (который определяет массовый расход воздуха) генерируется сигнал его замены, которая базируется на значениях частоты вращения коленчатого вала и положении дроссельной заслонки.
- 4 Информирование водителя о неисправностях системы диагностики с помощью индикаторных ламп, дисплеев и акустических приборов предупреждения.

- 5 Хранение точной информации. Система хранит в ECU предупредительную информацию и данные об отдельных неисправностях. Также в запоминающем устройстве сохраняются данные об условиях работы двигателя на момент обнаружения ошибки.
- 6 Доступ к сохраненным данным про ошибки. Данные, которые хранятся в памяти системы самоконтроля во время работы автомобиля, могут быть переданы на диагностический стенд с дисплеем через последовательно подключенный многоканальный вход (порт).
- 7 Индикация данных об ошибках в форме мигающего сигнала на приборном щитке. Это помогает обслуживающему персоналу ускорить диагностику путем сужения поля возможных источников неисправностей.

Возможным дефектам присвоены определенные коды, которые при диагностировании и наличии данного дефекта заносятся в память электронного блока управления и выносятся на индикаторы панели приборов автомобиля. В ряде систем определить код дефекта можно по чередованию вспышек сигнальной лампы через определенные интервалы времени.

В большинстве систем цифровой код может быть выведен на жидкокристаллический экран. В наиболее сложных системах на экран может быть выведена информация не только о дефекте, но и о перечне необходимых мер, которые должен употребить водитель в связи с появлением дефекта или для его устранения.

«Самоконтроль» предназначена для оперативного считывания информации о неисправностях и отказах, накопленных в процессе текущей эксплуатации автомобиля. Для накопления информации о неисправностях используется встроенный диагностический блок управления, который способен запомнить не менее 3...4 неисправностей одновременно.

Функция самоконтроля заложена в электронный блок управления и может быть применена для штатного электронного контроля работы узлов автомобиля: двигателя, автоматической коробки передач, антиблокировочной системы ведущих колес и системы стабилизации движения автомобиля, контроля климата и т.д.

Коды неисправности запоминаются при обнаружении сигнала неисправности. Сигнал может незамедлительно отображаться при нажатии испытательной кнопки на диагностическом блоке. Блок управления снабжается памятью для запоминания кода неисправности и адаптивной программой, которая способна сохранять информацию в течение заданного времени.

Для поиска неисправностей в контролируемых системах требуется подсоединение специального измерительного блока – диагностического ключа, позволяющего определить место и характер неисправности. Диагностический ключ подсоединяется к диагностическому блоку. Считывание и запись кодов неисправностей, обнаруженных в контролируемой системе, производится с соблюдением необходимых мер, предусмотренных эксплуатационной документацией на автомобиль. Распознавание и устранение неисправностей производится в соответствии с таблицей кодов неисправностей.

11.2 Диагностические системы управления рабочими процессами и реализация самоконтроля

Доминирующая роль, которую играют электронные системы в автомобиле, вынуждает уделять повышенное внимание проблемам, связанным с их обслуживанием. Кроме этого, из-за того, что основные функции автомобиля все больше зависят от электронных систем, эти системы должны удовлетворять достаточно жестким требованиям по надежности.

Современные системы контроля рабочими процессами оснащены встроенными диагностическими системами с функциями: «самоконтроль», «самодиагностирование», функциональные и контрольные испытания. Распознавание неисправностей происходит путем непрерывного циклического процесса сравнения показателей датчиков и систем на любых режимах работы с заложенными в блоках управления матрицами рабочих значений данных параметров. Несоответствие полученного рабочего значения, требуемого для заданного режима работы, распознается как неисправность.

Условия реализации самоконтроля. Как правило, объект самоконтроля находится в пассивном состоянии, в котором он ничем не проявляет свою внутреннюю суть, в том числе – свои неисправности. Чтобы заставить объект проявить свои преимущества или недостатки, его необходимо активизировать, то есть перевести в другое, образно говоря, «прозрачное» состояние, более удобное для рассматривания 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 и авиационной техники [2, 6, 58] такими признаками являются технические параметры, определяющие 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.

Множество условий реализации самоконтроля состоит из двух под-

множеств, которые отображают методическое и инструментальное обеспечение задач самоконтроля. Подмножество методических условий требует ответов на следующие вопросы:

- 1 Как активизировать – в какое из «прозрачных» состояний необходимо перевести объект?
- 2 Что оценить – что признаки активизированного объекта необходимо оценить?
- 3 Как решить – которое решающее правило необходимо применить?

Подмножество инструментальных условий требует ответов на следующие вопросы:

- 1 Чем активизировать – какими средствами активизировать объект?
- 2 Чем оценить – какими средствами оценить признаки активизированного объекта?
- 3 Чем решить – какими средствами реализовать решающее правило?

Следовательно, мера участия собственных средств объекта в реализации самоконтроля может быть различной. В крайнем случае, если собственные средства объекта обеспечивают все три условия реализации самоконтроля (активизацию объекта, оценку признаков и принятие решения), имеем независимый от внешних средств полноценный самоконтроль. В другом крайнем случае, если все три условия обеспечиваются внешними средствами, самоконтроль переходит в контроль. Промежуточные варианты можно отнести к контролю или к зависимому самоконтролю, принимая во внимание то, какие средства считать приоритетными. Как правило приоритет предоставляют средствам реализации решающего правила.

Рассмотрим, например, условия контроля состояния здоровья человека по его температуре. Первое условие – это активизация объекта путем установления контакта его тела с термометром. Второе условие – оценка температуры тела путем отсчета показаний прибора. Третье условие – реализация решающего правила: «если температура ниже или равняется 37°C , человек здоров, если выше – болен». В зависимости от того, кем обеспечивается выполнения перечисленных условий (субъектом самоконтроля или другим лицом), описанный эксперимент можно отнести в одном случае к самоконтролю, в другом – к контролю. Итак, граница между контролем и самоконтролем довольно условная, и основные отличия между ними лежат не в методическом, а в ресурсном плане, поскольку самоконтроль имеет более ограниченные ресурсные возможности, чем контроль. Поэтому реализация самоконтроля часто связана с поиском нестандартных приемов, дополнительными затратами на создание средств, которые компенсируют ресурсный дефицит. Но понесенные затраты обязательно окупаются, поскольку наличие самоконтроля обеспечивает высокую готовность объекта и экономию средств на его эксплуатацию.

Типичные операции по организации самоконтроля. Одними из первых работ, в которых описывались способы самопроверки технических систем, были работы по вычислительной технике. Первенство здесь поясняется тем, что средства вычислительной техники больше, чем какие-либо другие, приспособлены к реализации описанных условий самоконтроля, в

особенности это касается реализации третьего условия – принятия решения. Кроме того, учитывая сложность средств вычислительной техники, высокую вероятность ее отказов и сбоев, очень быстро пришло осознания того, что поддержка на надлежащем уровне показателей надежности и достоверности этих средств невозможно без применения самоконтроля.

В одной из первых работ указанного направления сформулирована типичная технология организации самоконтроля сложных систем, которая состоит из трех последовательно выполняемых операций [39].

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. 11.1) [6]. 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. 11.1, разделена на девять подсистем. Из них нулевая, первая и вторая – диагностические. Остальные – те, которые проверяются с помощью диагностических систем. Пунктиром показаны дополнительно организованные каналы связи.

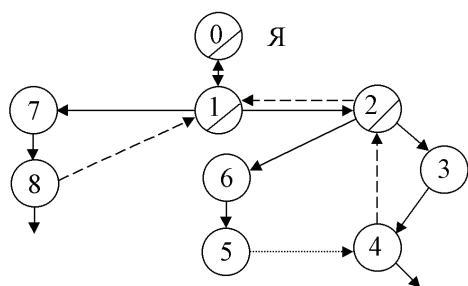


Рис. 11.1. Деление системы на ряд иерархических подсистем

Вторая операция – выделение и контроль «ядра». Старейшая в иерархии подсистема, которая названа в приведенной работе «ядром» (hard core), проверяется заранее и, как правило, вручную, с помощью внешних средств. Она не должна иметь отказов в стартовом состоянии перед началом самоконтроля и за своей сутью служит основой всех следующих операций самоконтроля. Объем технических средств «ядра» выбирают минимальным учитывая сложность его проверок.

Третья операция – распространение проверок от «ядра» к подсистемам. С помощью технических средств «ядра» проводится проверка старшей после «ядра» подсистемы, а за нею – подсистемы низшего уровня и т.д. Например, в системе, изображенной на рис. 11.1, «ядро» (подсистема 0) проверяет диагностическую подсистему 1, а и – подсистемы 7 и 8. Диагностиче-

ская подсистема 2, которая проверяет подсистемы 3, 4, 5, 6, перед этим сама проверяется с помощью подсистем 1 и 0.

11.3 Эффективность и достоверность контроля технического состояния автоматизированных систем контроля

Определение требований к характеристикам достоверности самоконтроля автоматизированной системы контроля. Во время разработки АСК возникают вопросы – какими должны быть предельные значения характеристик достоверности самоконтроля и какими критериями нужно руководствоваться, чтобы установить допустимые пределы этих характеристик.

Известно, что требования к инструментальной достоверности контроля определяются допустимыми уровнями триады ее характеристик: вероятностью P работоспособного состояния контролируемого объекта, риском A производителя и риском B заказчика. Из них вероятность P свидетельствует о качестве объекта контроля, а вероятности A и B характеризуют качество контроля этого объекта выбранным средством контроля [6].

Хотя при самоконтроле нельзя выделить отдельно объект и средство контроля, поскольку каналы АСК в процессе самоконтроля могут быть такими, которые сами проверяют, как и такими, что их проверяют другие каналы, но решающие правила при самоконтроле остаются такими же, как при контроле. Поэтому достоверность принятого при самоконтроле решения оценивают аналогичными характеристиками: качество самой АСК оценивают вероятностью P_C ее работоспособного состояния, а качество ее самоконтроля – безусловной вероятностью A_C первого рода, безусловной вероятностью B_C второго рода или же комплексным показателем – достоверностью D_{KC} результата «годный» при самоконтроле. Как правильно выбрать допустимые значения вероятностей P_C , A_C , B_C , D_{KC} ?

Поскольку задача самоконтроля подчинена главной задаче – обеспечению заданной достоверности контроля – логично будет определять допустимые значения характеристик достоверности самоконтроля, исходя из требований к достоверности контроля. В частности, работоспособным следует считать такое состояние АСК, при котором в ней отсутствуют внезапные отказы, а погрешности ее каналов таковы, которые вызваны ими риски A и B не превышают допустимых значений при заданной вероятности P работоспособного состояния объекта контроля.

В целом значение рисков A и B зависят от множества состояний, в которых может находиться АСК во время ее использования для контроля.

Эффективность контроля. Достоверность – это комплексная характеристика контроля, которая зависит от многих факторов: точности измеряемых параметров, глубины контроля надежности АСК и объекта контроля, законов распределения контролируемых параметров, выбранных допустимых пределов и т.д. Но и эта интегральная характеристика контроля, несмотря на ее многогранность, не может претендовать на роль всеобъемлющей. В частности, ею нельзя оценить влияние контроля на качество функ-

ционировании контролируемых объектов.

Этот недостаток достоверности контроля как обобщающего показателя качества контроля обусловил необходимость введения более общей характеристики контроля, которую называли эффективностью. Под эффективностью контроля чаще всего понимают отношение эффективности 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, которые влияют на эффективность работы объекта.

Эффективность контроля можно оценивать различными показателями в зависимости от того, какое качество контроля ставится на первый план. На практике применяют технические, экономические, временные, информационные и другие критерии эффективности контроля в зависимости от функционального назначения объекта. Рассмотрим два из них – технический и экономический.

Эффективность работы объекта $E(t)$ определим как вероятность выполнения объектом поставленного задания на должном уровне в заданное время и в конкретных условиях. Этот показатель при отсутствии обслуживания является монотонно нисходящей функцией времени. На рис. 7.14 показано, как изменяется во времени эффективность объекта, который периодически проходит техническое обслуживание с применением контроля. Отказы объекта, обнаруженные во время контроля, немедленно устраняются, в результате чего эффективность скачкообразно растет, а затем опять монотонно падает к следующему моменту технического обслуживания, который повторяется с периодом T .

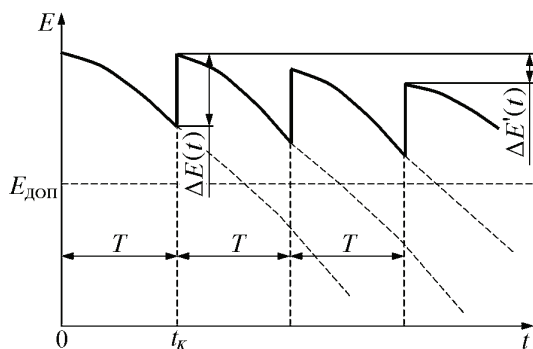


Рис. 11.2. Эффективность работы объекта, который периодически обслуживается с применением контроля:

$\Delta E(t)$ – снижение возможности восстановления

который получают в результате его обслуживания, можно определить по формуле [39]

$$\Delta E(t) = E(t/t_K) - E(t), \quad t \geq t_K, \quad (11.1)$$

Количественное значение эффективности для реальных объектов в процессе их выпуска из заводов-производителей и в процессе эксплуатации могут оказаться существенно меньше от необходимой величины $E_{\text{доп}}$, в результате чего и возникает необходимость периодического контроля технического состояния объекта и возобновления его эффективности путем проведения соответствующих ремонтно-профилактических мероприятий.

Выигрыш $\Delta E(t)$ в эффективности работы объекта,

где $E(t/t_K)$ – эффективность работы объекта при условии, что в момент t_K было проведено его обслуживание; $E(t)$ – та же эффективность при условии, что обслуживание не проводилось.

Этот выигрыш, показанный на рис. 11.2 в виде скачка эффективности работы объекта, является самой простой и естественной оценкой эффективности обслуживания в целом.

Очевидно, что прирост эффективности, определенный по формуле (11.1), зависит не только от операции контроля. Но если допустить, что объем и качество ремонтно-профилактических работ, выполняемых после проведения контроля, будут фиксированными, то выражение (11.1) можно использовать в качестве критерий эффективности контроля.

На практике удобно пользоваться нормируемым техническим показателем эффективности, который определяется следующим соотношением

$$E_{\text{нт}} = \frac{E(t/t_K) - E(t)}{E_{\text{и}}(t/t_K) - E(t)}, \quad t \geq t_K, \quad (11.2)$$

где $E_{\text{нт}}$ – нормируемый технический показатель эффективности контроля; $E_{\text{и}}(t/t_K)$ – эффективность работы объекта после идеального (безошибочного) контроля.

При этом возможные значения критерия $E_{\text{нт}}$ будут лежать в диапазоне от 0 до 1. Нулевое значение эффективности отвечает отсутствию контроля, а единица – идеальному контролю.

Относительная форма показателя эффективности позволяет сравнивать потенциальные возможности различных видов контроля. Очевидно, что качество контроля тем выше, чем ближе значение показателя эффективности к единице.

Но критерий (11.2) имеет существенный недостаток, а именно: его трудно вычислить, 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:

$$E(t) = E_O(t) \cdot P(t), \quad (11.3)$$

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 (11.3) в формулу (11.2), получим

$$E_{\text{нт}} = \frac{E(t/t_K) - P(t)}{E_{\text{и}}(t/t_K) - P(t)}, \quad t \geq t_K, \quad (11.4)$$

Эта формула свидетельствует о том, что для оценки эффективности контроля можно использовать относительный выигрыш в надежности объекта, который достигается в результате применения контроля. Исходные

данные для вычисления этого критерия получить значительно проще, поскольку здесь идет речь о конкретной характеристике объекта – его надежности.

Достоверность контроля. Одной из важнейших характеристик прогнозирующего контроля является достоверность его результатов, которая служит мерой объективности принятых при контроле решений и представляет собой обобщенную характеристику информационных, измерительных и прогнозных свойств АСК. Достоверность выражается количественными показателями, состав и физическая суть которых зависит от цели контроля и применяемых правил решения задачи.

По нормативной документации достоверность контроля технического состояния – это степень объективного соответствия результата контроля действительному техническому состоянию объекта. Другими словами – это мера доверия к полученному результату контроля.

Различают методическую, инструментальную и полную достоверность контроля. Методическая достоверность зависит от метода контроля (параметрический, динамический), от полноты контроля, от назначенных допусков на диагностический параметр. Инструментальная достоверность зависит от точности каналов АСК, от характеристик устройств объекта контроля и т.д. Полная достоверность находится перемножением количественных значений методической и инструментальной [6].

На формирование достоверности контроля влияет большое количество факторов. Наиболее существенным из них является точность измерения контролируемых параметров, полнота контроля, надежность и помехостойкость работы всех устройств и элементов АСК, надежность объекта контроля, которая может быть представлена законами распределения его параметров. На достоверность влияют также установленные границы допусков на параметры, принятая методика измерения параметров, способы накопления, регистрации и отображения результатов контроля, методы самоконтроля АСК, уровень квалификации и подготовленности оператора и др.

Следовательно, достоверность является слишком общей характеристикой АСК и требования, которые предъявляются к этой характеристике, являются исходными для обоснования отдельных характеристик АСК.

Основными задачами обеспечения заданной достоверности контроля и точности АСК являются следующие:

- 1 Оценка показателей инструментальной достоверности контроля по известным характеристикам параметров объекта и известным погрешностям каналов контроля АСК;
- 2 Оценка точности каналов контроля по известным погрешностям функциональных устройств, входящих в состав каналов.

Обе задачи по сути своей являются задачами анализа качества АСК как инструмента контроля. Они дают ответ на вопрос, удовлетворяет ли спроектированное средство контроля за своими точностными характеристикам заданным требованиям относительно достоверности контроля. А если нет? Тогда возникает еще одна задача, обратная относительно первых двух, – задача синтеза, а именно: какие характеристики точности должны иметь кана-

лы контроля, чтобы удовлетворить требованиям относительно достоверности контроля.

Характеристики достоверности самоконтроля точно так же, как и характеристики достоверности контроля, зависят от выбранных правил решения и критериев работоспособности АСК. Задача самоконтроля – установить, находится ли АСК в работоспособном состоянии (нет ли внезапных отказов в любом из ее каналов, находятся ли погрешности каналов в пределах, обеспечивающих заданные характеристики достоверности контроля при заданном качестве объекта контроля).

Показатели достоверности контроля. Для определения количественных критериев оценки достоверности контроля исходят из позиций общей теории проверки статистических гипотез.

Будем считать, что параметр X характеризует качество объекта контроля, которое оценивается при его контроле. Под действием разнообразных производственных и эксплуатационных факторов значения этого параметра от объекта к объекту и с течением времени случайным чином изменяется. В результате этого параметр X можно рассматривать как случайную величину с плотностью распределения $f(t)$. Для значений параметра X определена область допусков (a, b) так, что при выполнении условия

$$a \leq x \leq b \quad (11.5)$$

объект считается работоспособным.

В соответствии с условием (11.5) могут существовать две объективных гипотезы:

- \bar{E} – объект находится в состоянии отказа по параметру X ;
- E – объект работоспособен по этому параметру.

Вероятности указанных гипотез (или событий) можно вычислить по следующим формулам:

$$P(E) = \int_a^b f(x) dx; \quad P(\bar{E}) = \int_{-\infty}^a f(x) dx + \int_b^{\infty} f(x) dx. \quad (11.6)$$

В процессе контроля неминуемы ошибки, в результате которых вместо истинного значения случайной величины X наблюдается реализация другой случайной величины, – результата измерения Y :

$$Y = X + T,$$

где T_i – также случайная величина – погрешность измерения.

Решение относительно работоспособности объекта по этому параметру принимается, исходя уже из неравенства

$$a' \leq y \leq b', \quad (11.7)$$

в которой область допусков (a', b') в общем случае не совпадает с областью (a, b) .

В соответствии с условием (11.7) возможны два результата контроля

(или два события) [6]:

- F – объект по результатам контроля признан пригодным по параметру X ;
- \bar{F} – объект по результатам контроля признан непригодным по этому параметру.

Вследствие ошибки контроля возможны следующие варианты событий:

- EF – событие, которое заключается в том, что действительно пригодный объект признан по результатам контроля пригодным:

$$a \leq x \leq b, \quad a' \leq y \leq b';$$

- $\bar{E}F$ – событие, которое заключается в том, что действительно непригодный объект признан пригодным:

$$x < a \quad \text{или} \quad x > b, \quad a' \leq y \leq b';$$

- $E\bar{F}$ – событие, которое заключается в том, что действительно пригодный объект признан непригодным:

$$a \leq x \leq b, \quad y < a' \quad \text{или} \quad y > b';$$

- $\bar{E}\bar{F}$ – событие, которое заключается в том, что действительно непригодный объект признан непригодным:

$$x < a \quad \text{или} \quad x > b, \quad y < a' \quad \text{или} \quad y > b'.$$

11.4 Бортовая диагностика

В основу системы диагностирования и контроля параметров автомобилей изложен стандарт OBD-II. Некоторые производители автомобилей дополняют этот стандарт. Требования OBD-II определяются стандартами:

- SAEJ1850, ISO9141-2 или ISO15031-3 – связи;
- SAEJ1962 соединение разъемов, описание стандартного разъема DLC (Data Link Connector) для подключения диагностического оборудования;
- SAEJ1978 – диагностическая установка (сканирующий прибор для системы OBD-II);
- SAEJ1979 – описание содержания протоколов проверки (1...9);
- SAEJ1930 – стандарт маркирования систем и их компонентов;
- SAEJ2012 – структура и формат текста, выводимого содержания неисправностей.

Неисправности любого узла системы приводят к включению индикатора M1. Стандартом OBD предусмотрено три состояния индикатора неисправностей (M1). Он может гореть постоянно, не гореть или мигать.

В стандарте ISO 15 031-5 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 хв.¹, температура двигателя 83 °С 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 про локализованный узел или агрегат (неисправность) (табл. 11.1).

Обзор кодов неисправностей. Примеры:

- P 0 122 – очень слабый сигнал от датчика положения дроссельной заслонки.
- P 0 123 – очень сильный сигнал от датчика положения дроссельной заслонки.
- P 0 130 – не работает λ -зонд 1.
- P 0 100 – не работает расходомер воздуха.

Значение кода неисправности P0 прописано в стандарте ISO 15 031-6 и приведено в этом издании. Расшифровка кода неисправности P1 в этом

стандарте не предусмотрена.

Режим «Стоп-кадр». Информация об условиях эксплуатации и условиях окружающей среды необходима для определения неисправностей, связанных с образованием отработавших газов, а также фиксируется в виде так называемого режима «Стоп-кадр» (Режим 2). Массив информации, записанный в виде «Стоп-кадра», заменяется массивом информации, записанной в виде «Стоп-кадра» с высоким приоритетом, если код этой неисправности последовательно вносится в память запоминающего устройства.

Таблица 11.1

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 за SAE
	1	Заводской код неисправности
	2	Код неисправности за SAE
	3	Заводской код неисправности
3	1	Измерение топлива и воздуха
	2	Измерение топлива и воздуха
	3	Система зажигания
	4	Дополнительная регуляция ВГ
	5	Регуляция (контроль) скорости и холостого хода
	6	Компьютерные и выходные сигналы
	7	Коробка передач
4 и 5	От 0 до 99	Обозначение узлов и агрегатов

Накопление информации о неисправностях. Неисправность может классифицироваться как предполагаемая, так и установленная (гарантированная).

Информация о неисправности, определенной как установленная, выводится в режиме проверки 3, а о неустановленной – в режиме 7. 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. 11.3).

При прохождении автомобилем государственного 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.

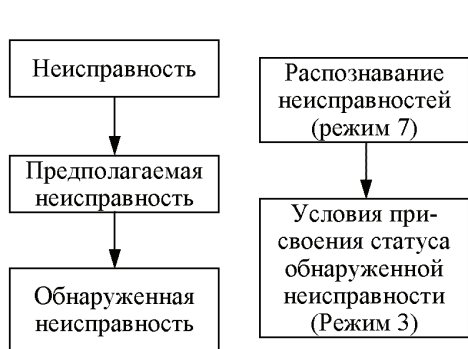


Рис. 11.3. Алгоритм поиска неисправностей

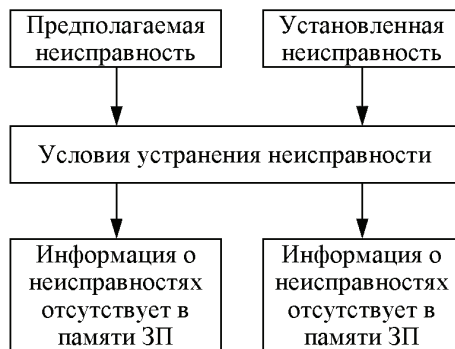


Рис. 11.4. Алгоритм устранения неисправностей

Устранение неисправностей. Если причина неисправности исчезла, то информацию о неполадке можно удалить из памяти запоминающего устройства. Тогда говорят о «устранении неисправности». в этом случае для каждой неисправности установлены свои «условия устранения» (рис. 11.4).

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.

Неисправности автомобиля распознается системой самоконтроля, а данные о них вводятся в память соответствующих регистраторов. Вывод данных из регистратора неисправностей производится по команде «02».

При присоединении диагностических средств предусмотрен центральный разъем (рис. 11.5).

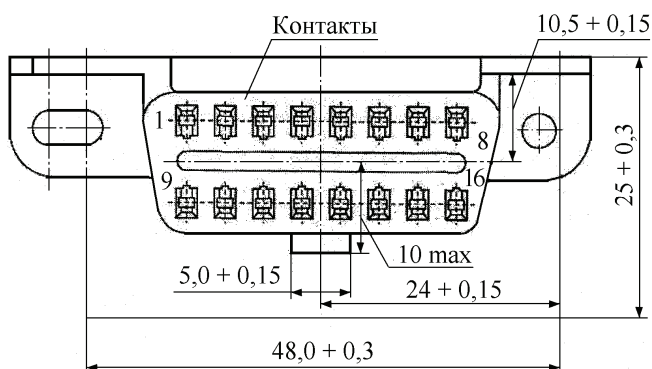


Рис. 11.5 16-контактный диагностический разъем OBD-II (назначение контактов по стандарту J1962): 2 – J1850 Bus+; 4 – Chassis Ground; 5 – Signal Ground; 6 – CAN High (ISO 15765); 7 – ISO 9141-2 K-Line; 10 – J1850BUS-; 14 – CAN Low (ISO 15765); 15 – ISO 9141-2 L-Line; 16 – Battery Power

Любой сканер может быть подключен к разъему и получить доступ к системным данным. Семь из 16 контактов имеют установленное стандартом назначение. Остальные находятся в распоряжении производителя. Контакты 7 и 15 используются в европейских системах диагностики для передачи данных по стандарту ISO 9141 (KWP 2000). Для передачи данных по стандарту SAE J1850 (американские производители) используются контакты 2 и 10 (табл. 11.2).

Для стандартов OBD-II и EOBD в настоящее время действуют следующие способы передачи информации:

- 1 по стандарту ISO 9141-2 – используется европейскими автопроизводителями с низкой скоростью (5 Бод);
- 2 по стандарту ISO 14230-4 (KWP 2000) – используется европейскими автопроизводителями – с высокой и низкой скоростью;
- 3 по стандарту SAE J1850 (американские автопроизводители) со скоростью 10,4 кБод для изготовителей GM и 41,6 кБод для изготовителей Ford.

Таблица 11.2

Разъем OBD-II

Контакт	Назначение
1, 3, 6, 8, 9, 11...14	Определяется производителем
2	Линия шины +, SAE J1850
4	Земля
5	Земля для сигналов
7	Линия K, ISO 9141
10	Линия шины -, SAE J1850
15	Линия L, ISO 9141
16	Плюс аккумулятора

Проверка вышеперечисленных блоков управления осуществляется через устройство-переходник (рис. 11.6). Концы переходной коробки вставляются в гнезда, в которые вставляются разъемы универсального кабеля.

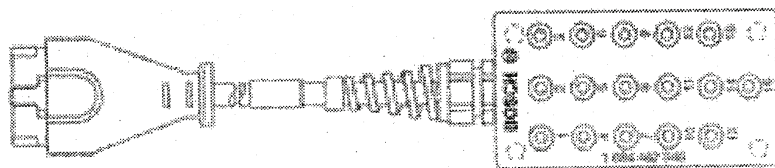


Рис. 11.6. Устройство-переходник

Клеммы 3, 11 и 12 также не задействованы при диагностике автомобиля. На этих клеммах рабочий контур OBD II-DV определяет шину автомобиля (шина является проводкой, к которой могут подключаться различные блоки управления). В этом рабочем контуре европейские автопроизводители

ли и производители комплектующих замещают друг друга.

Диагностические разъемы могут быть установлены на автомобилях, не оборудованных блоками управления с возможностью диагностирования. Таким образом, наличие диагностического разъема на автомобиле не может гарантировать возможность диагностирования транспортного средства, используя специальное программное обеспечение.

Под контролем системы само контроля находятся следующие компоненты системы управления, представлены на рис. 11.7 (на примере двигателя W8 Motronic).

Текущий контроль датчиков. Для того, чтобы удостовериться в наличии нормального напряжения питания и в том, что выходной сигнал датчика находится в допустимых пределах (например, для температурного датчика это диапазон от -40 и к $+150^{\circ}\text{C}$), работа датчиков отслеживается встроенными диагностическими устройствами.

Сигналы наиболее важных датчиков, насколько это возможно, дублируются. Это означает, что в случае нарушения работы может быть использован другой подобный сигнал или может быть выполнено два-три выбора.

Определение неисправностей возможно осуществлять в пределах специальной области наблюдения за работой датчиков. В случае систем с программами обратной связи (например, контроль давления) возможно также диагностировать отклонение заданного диапазона регуляции.

Путь прохождения сигнала может считаться неправильным, если неисправность присутствует больше заданного периода времени. Если один раз этот период был превышен, то неисправность сохраняется в памяти электронного блока контроля вместе с параметрами условий, при которых она случилась (например, температура охлаждающей жидкости, частота вращения коленчатого вала двигателя и др.). Для многих неисправностей возможна перепроверка датчика, если путь прохождения данного сигнала будет определен при отслеживании якобы при отсутствии неисправности в рассмотренном периоде времени.

Принцип работы системы электронного управления заключается в следующем [26]. Электронный блок контроля оценивает сигналы, полученные от внешних датчиков, и ставит ограничение по допустимому уровню напряжения. Используя эти входные данные и программируемые матрицы, которые хранятся в памяти, микропроцессор рассчитывает длительность и угол опережения (момент начала) впрыска и превращает эти данные в сигналы для характеристик как функции времени, которые потом адаптируются к движению поршней. Учитывая высокие динамические нагрузки двигателя и большую частоту вращения, нужны высокие вычислительные возможности микропроцессора, чтобы отвечать требованиям точности вычислений. Исходные сигналы используются для запуска задающих каскадов, которые передают соответствующую мощность для всех исполнительных устройств (например, электромагнитных клапанов), включая поводы для таких функций двигателя, как рециркуляция отработавших газов и перепускание газов мимо турбины турбокомпрессора, а также для дополнительных функций, таких как реле свеч накаливания и кондиционер. Задающие каскады

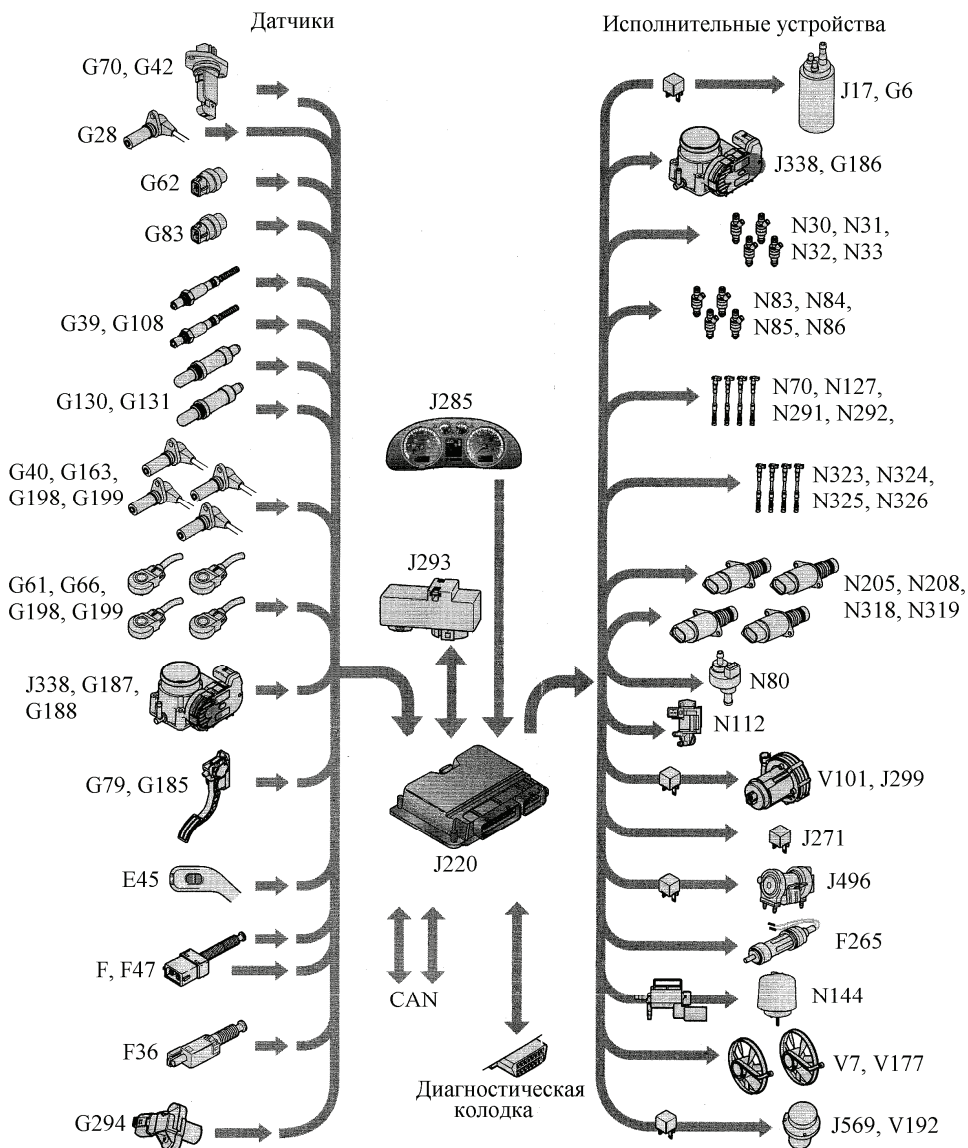


Рис. 11.7. Схема контролируемых датчиков, исполнительных устройств системой самоконтроля. Датчики: G70 – измеритель массового расхода воздуха; G42 – датчик температуры воздуха на впуске; G28 – датчик частоты вращения коленчатого вала; G62 – датчик температуры охлаждающей жидкости; G83 – датчик температуры охлаждающей жидкости на выходе из радиатора; G39 – датчик кислорода; G108 – датчик кислорода II; G130 – датчик кислорода (после нейтрализатора); G131 – датчик кислорода II (после нейтрализатора); G40, G163, G300, G301 – датчики Холла 1...4; G61, G66, G198, G199 – датчики детонации 1...4; J338 – блок управления дроссельной заслонкой; G187, G188 – датчики угла поворота 1...2 электропривода дроссельной заслонки;

Продолжение рис. 11.7. Датчики: G79, G185 – модуль педали акселератора с датчиками 1...2 положения педали акселератора; E45 – переключатель системы регулирования скорости (CPC) автомобиля с кнопкой E227; F – выключатель сигнала торможения; F47 – датчик CPC на педали тормоза; F36 – датчик на педали сцепления; G294 – датчик давления в системе усилителя тормозного привода (только на автомобилях с автоматической коробкой передач). **Исполнительные устройства:** J285 – блок управления с дисплеем в комбинации приборов; J293 – блок управления вентилятором 2 системы охлаждения; J220 – блок управления двигателем; J17 – реле топливного насоса; G6 – топливный насос; J338 – блок управления дроссельной заслонкой; G186 – электропривод дроссельной заслонки; N30, N31, N32, N33, N83, N84, N85, N86 – форсунки цилиндров 1...8; N70, N127, N291, N292, N323, N324, N325, N326 – индивидуальные катушки зажигания цилиндров 1...8; N205, N208 – клапаны 1...2 управления впускными распределительными валами; N318, N319 – клапаны 1...2 управления выпускными распределительными валами; N80 – электромагнитный клапан 1 системы улавливания паров бензина активированным углем; N112 – клапан управления подачей вторичного воздуха; V101 – двигатель насоса подачи вторичного воздуха; J299 – реле включения насоса подачи вторичного воздуха; J271 – реле в цепи питания системы Motronic; J496 – реле дополнительного электронасоса охлаждающей жидкости; V36 – электронасос охлаждающей жидкости; F265 – датчик температуры системы электронного регулирования системы охлаждения; N144 – электромагнитный клапан управления упругими элементами подвески силового агрегата; V7 – двигатель основного вентилятора системы охлаждения; V177 – двигатель дополнительного вентилятора системы охлаждения; J569 – реле усилителя тормозного привода; V192 – вакуумный насос усилителя тормозного привода (только на автомобилях с автоматической коробкой передач)

защищаются от разрушения и повреждений из-за короткого замыкания и электрической перегрузки. Сигналы о таких нарушениях в работе как обрыв электрического кольца передаются обратно микропроцессору.

Диагностические функции задающих каскадов электромагнитных клапанов также определяют сигнальный код неисправности. Кроме того определенное число выходных сигналов посылаются другим системам автомобиля через интерфейс. Электронный блок контроля также отслеживает работу всей системы топливоподачи в пределах рамок концепции безопасности.

Реакция в случае наличия неисправности происходит следующим способом. Если выходной сигнал датчика выходит за допустимые пределы, то происходит переключение на значение сигнала по умолчанию. Эта процедура применяется к следующим входным сигналам:

- напряжение аккумуляторной батареи;
- температура охлаждающей жидкости, воздуха на впуске, моторного масла;
- давление наддува;
- атмосферное давление и расход воздуха на впуске.

В случае нарушения важных для движения функций осуществляется переключение на заменяющие функции, которые позволяют водителю доехать, например, до автосервису. Если один из потенциометров в модуле положения педали акселератора оказывается неисправным, то для расчетов могут использоваться сигналы другого потенциометра при условии их правдоподобности или работа двигателя может быть переключена на режим постоянной малой частоты вращения.

11.5 Бортовой контроллер связи CAN

Все электронные системы автомобиля, например: система впрыскивания, система зажигания, АБС и система управления коробкой передач, оснащены отдельными цифровыми блоками управления. Каждый блок управления, в свою очередь, оснащен собственными датчиками и приводами. Необходимо синхронизировать работу отдельных блоков управления. Например, во время переключения передач крутящий момент двигателя должен уменьшаться путем изменения угла опережения зажигания. Другим примером является также антипробуксовочная система, которая уменьшает крутящий момент на ведущих колесах, предотвращая их пробуксовку. Датчики могут использоваться всеми блоками управления – это очень полезная особенность системы. Следовательно, одним из важнейших элементов работы автомобиля является обмен данными между блоками управления. Объем передаваемых данных постоянно увеличивается. Для передачи данных нужны простые средства, которые не должны усложнять электрическую и электронную системы, а также занимать много места.

Существует два способа передачи данных в автомобиле [26].

1. Посредством одиночных проводов. Передача каждого типа данных между различными блоками управления осуществляется отдельными проводами. Как следствие, увеличение количества типов данных приводит к увеличению количества проводов и клемм в разъемах блоков управления. Использование такого способа передачи данных может быть практичным только в том случае, если количество элементов, между которыми осуществляется обмен информацией, ограничено. На следующей схеме изображен обмен данными с использованием этого принципа, где для каждого типа данных предназначен отдельный провод. В данном случае для передачи информации необходимо использовать пять проводов (рис. 11.8).

2. Посредством шины данных CAN. В случае использования этого способа передачи данных необходимо всего два провода (рис. 11.9). Одинаковые данные передаются двумя двунаправленными проводами. Количество их не изменяется в зависимости от количества блоков управления и типов данных. Использование шины данных CAN является наиболее практичным способом передачи большого объема данных между несколькими блоками управления.

Передачу информации шиной данных CAN можно сравнить с конференцией по телефону. Один из компонентов, например блок управления, передает по проводам сообщение в систему, тогда как другие узлы получают информацию и анализируют ее. Если полученная информация оказалась полезной для любого из компонентов, он использует ее. Другими компонентами эта информация не используется и они остаются в режиме ожидания.

Очевидно, что к этому обмену данными, аналогичному конференции по телефону, могут одновременно быть подключены два и больше узлов.

Шина данных CAN является примером такого типа организации обмена данными между блоками управления. Она используется для объединения отдельных блоков управления в единую систему. Чем больше информации

имеет блок управления о всей системе, тем более точно он может отобразить каждую отдельную функцию.

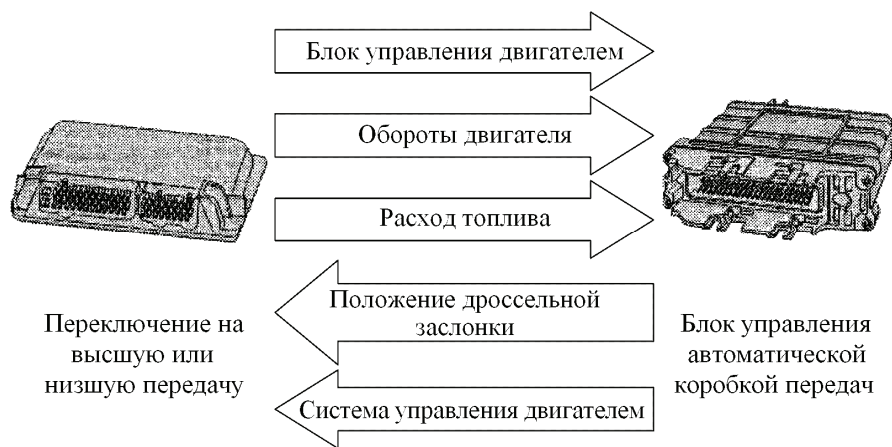


Рис. 11.8. Способ передачи данных с использованием одиночных проводов



Рис. 11.9. Способ передачи данных с использованием шины CAN

На сегодняшний день существует три класса или разновидности шин, которые сложились в зависимости от выполняемых функций.

CAN Class C – это шина силового агрегата и систем активной безопасности. Это наиболее быстрый канал со скоростью передачи данных 500 кбит/с, для связи между главными блоками управления (двигатель – трансмиссия – ABS – системы безопасности). Именно здесь особенно важна скорость реагирования, способность мгновенно обрабатывать колоссальные объемы информации.

CAN Class B – служит для связи менее важных модулей и блоков, которые входят в состав систем контроля климата или, например, кузовной электроники. В данном случае скорость передачи уже не играет такую роль

и объемы передаваемых данных не так важны, поэтому по CAN Class B информация передается со скоростью до 100 кбит/с.

CAN Class A – к нему относятся наименее значительные блоки, и скорость передачи здесь составляет до 10 кбит/с. В большинстве случаев применения CAN этих скоростей вполне хватает для обеспечения полноценного функционирования автомобильных электронных систем. Все абоненты шины своевременно получают и обрабатывают информацию, которая поступает. Они адекватно взаимодействуют друг с другом, и поэтому автовладелец не чувствует никаких неудобств в процессе движения и, что главное, в аварийной ситуации вовремя срабатывают подушки безопасности, натягиваются ремни безопасности и т. д., то есть все блоки действуют согласованно, а контролирующие устройства обеспечивают бесперебойное функционирование всей системы в целом.

Таким образом можно сделать вывод о преимуществах использования шины данных CAN:

- значительно упрощается проводка;
- обеспечивается высокая скорость обмена данными между блоками управления;
- освобождается дополнительное свободное место благодаря компактности блоков управления и их разъемов;
- снижается количество ошибок благодаря непрерывной проверке передаваемых сообщений блоками управления;
- для того, чтобы прибавить дополнительную информацию в протокол передачи данных, необходимо лишь внести необходимые изменения в программное обеспечение.
- шина данных CAN является общепризнанным мировым стандартом, который обеспечивает возможность обмена данными по шине между блоками управления разных производителей.

Шина CAN состоит из следующих компонентов (рис. 11.10):

- контроллер;
- трансивер;
- два терминала шины данных;
- двое проводов шины данных.

Все узлы шины данных встроены в блоки управления за исключением проводов шины данных.

Контроллер шины CAN получает данные от микрокомпьютера блока управления. Он обрабатывает их и передает трансиверу шины CAN. Аналогично контроллер принимает сигналы от трансивера шины CAN, обрабатывает их и передает микрокомпьютеру блока управления.

При использовании шины данных приемник не определяется. Информация передается по шине данных и, как правило, принимается и анализируется всеми компонентами.

Трансивер шины CAN – это приемник и передатчик, объединенные в одно устройство. Он служит для преобразования данных от контроллера шины CAN в электрические сигналы и передачи их по проводам. Аналогично он также принимает данные и превращает их для контроллера шины CAN.

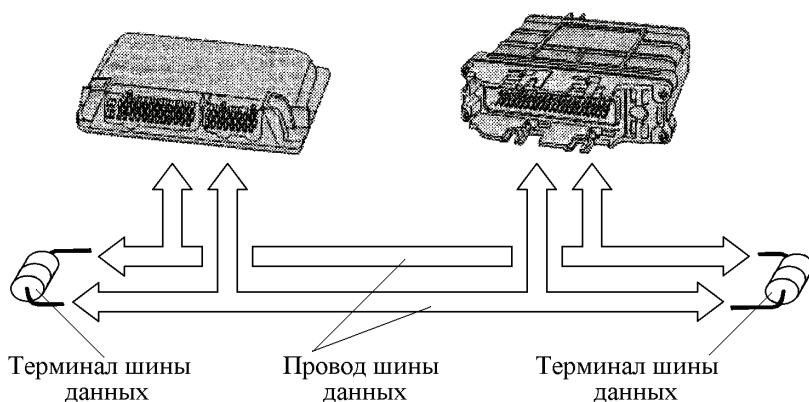


Рис. 11.10. Компоненты шины данных

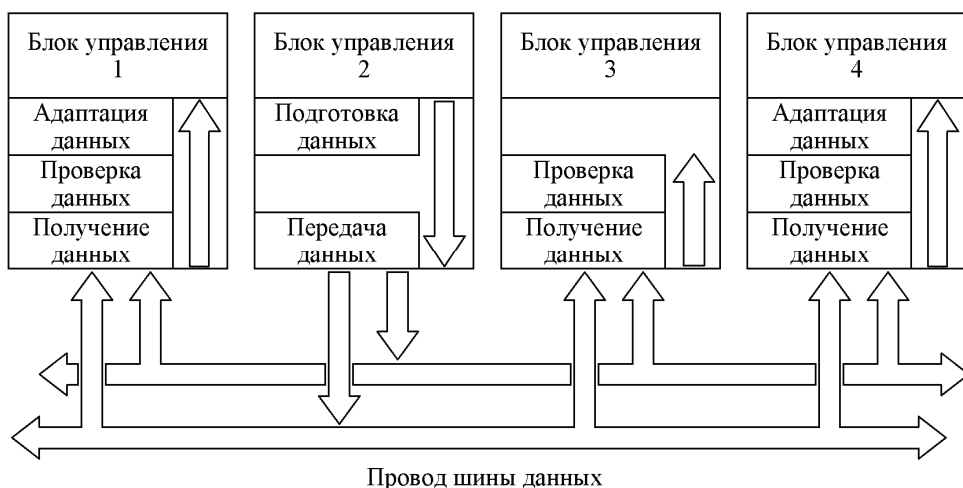


Рис. 11.11. Алгоритм передачи данных

Терминал шины данных – это резистор. Он предотвращает обратную передачу данных от концов проводов шины, которая может привести к фальсификации последующих данных. Провода шины данных являются двунаправленными и служат для передачи данных.

Процесс передачи данных состоит из следующих этапов (рис. 11.11):

- подготовка данных. Точкой отправления сообщения (данных) всегда является блок управления. Он передает данные, которые подлежат отправлению, собственному контроллеру шины CAN;
- передача данных. Трансивер шины CAN получает данные от контроллера, превращает их в электрические сигналы и отправляет их дальше шиной;
- получение данных. Все блоки управления, объединенные через шину данных, после передачи выполняют функцию приемника.

Если двум блокам управления нужно отправить сообщение одновременно, первым отправляет сообщение блок управления с высшим приоритетом. Например, данные системы АБС имеют высший приоритет, чем данные коробки передач;

- проверка данных. Блоки управления проверяют, являются ли полученные данные необходимыми для их функционирования, или нет;
- адаптация данных. Если полученные данные важны, они подвергаются адаптации и обработке, иначе они игнорируются.

Передача данных в шине CAN выполняется по протоколу в виде обмена сообщениями между блоками управления через очень короткие промежутки времени. Протокол состоит из последовательности битов информации, которые передаются друг за другом. Число битов в протоколе передачи данных зависит от размера поля данных.

Помехоустойчивость и диагностирование шины данных. В автомобиле источниками помех (препятствий) являются узлы, которые генерируют во время работы искры, а также кольца питания, которые включаются и размыкаются.

Другими источниками помех являются, например, мобильные телефоны и радиостанции, то есть препятствия могут создавать любые объекты, которые генерируют электромагнитные волны. Поле помех, которые генерируются такими источниками, может ухудшать передачу данных, а также приводить к искажению передаваемых данных.

Два неэкранированных провода объединены в витую пару для предотвращения искажения помехами передаваемых данных. Провода CAN-шины, как правило, оранжевого цвета. Они носят условное название «Can-High» и «Can-Low».

Визуальное отличие Can-High от Can-Low – наличие на проводе Can-High черной полосы. Can-Low – оранжево-коричневый.

Именно этими проводами и проводится обмен данными между блоками управления.

В статическом состоянии дифференциальные сигнальные линии (рис. 11.12) находятся под потенциалом, приблизительно равном 2,5 В (максимальное напряжение по шине CAN – 5 В). Такое состояние называется рецессивным и соответствует «1». В доминантном состоянии, когда линии Can-High и Can-Low расходятся, формируется «0». Это позволяет контроллеру, который считывает сигнал, всегда знать, где единица, а где ноль (доминантный бит «0» подавляет рецессивный бит «1»).

Подключение модулей электронной системы автомобиля к шине происходит с помощью специального устройства – трансивера, основным элементом которого является дифференциальный усилитель. В сущности, это приемник сигналов, установленный на входе. После обработки сигналов, которые поступили из линий Can-High и Can-Low, он передает их непосредственно на электронный модуль автомобиля.

Дифференциальный усилитель формирует выходное напряжение как разность между напряжением на проводах High и Low шины CAN. Таким образом исключается влияние величины базового напряжения (напряжение

в рецессивном состоянии) или любого другого напряжения, вызванного, например, внешними помехами.

Как правило работы по проверки работы CAN-шины начинают с измерения сопротивления между проводами шины. Необходимо иметь в виду, что CAN-шины системы «Комфорт» и информационно-командной системы, в отличие от шины силового агрегата, постоянно находятся под напряжением, поэтому для их проверки следует отключить одну из клемм аккумуляторной батареи.

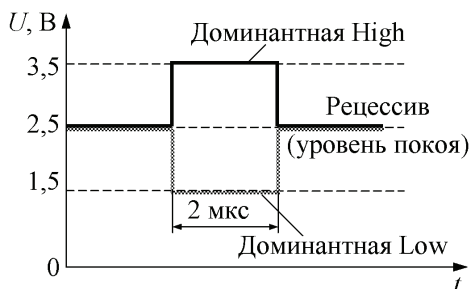


Рис. 11.12. Графика сигналов на линии CAN-шины

Основные неисправности CAN-шины в основном связаны с замыканием или обрывом линий (или резисторов нагрузок на них), снижением уровня сигналов на шине, нарушениями в логике ее работы. Диагностирование неисправностей CAN-шины проводится с помощью специализированной диагностической аппаратуры (анализаторы CAN-шины), осциллографа (в частности, со встроенным анализатором шины CAN) и цифрового мультиметра.

Основные функции, которые должны обеспечиваться анализатором шины CAN:

- поддержка различных версий спецификаций шины CAN;
- обеспечение высокой производительности даже на максимальной скорости работы шины CAN (1 Мбит/с);
- активный и пассивный режимы работы;
- выявление и мониторинг кадров ошибки;
- прием и отображение принятых данных в последовательной форме в реальном времени;
- наличие фильтра объектов, который конфигурируется: указания получаемых идентификаторов по точному значению идентификатора или определением маски фильтра;
- запуск и остановка фильтра при срабатывании триггеров «до и после»;
- посылание сообщений в сеть, в том числе и циклическое;
- вычисление и отображение величины загрузки шины в данный момент и на протяжении периода времени;
- сохранение всей принятой и переданной информации на жесткий диск.

Для достижения большей универсальности анализатор должен обеспечивать работу с несколькими моделями микроконтроллеров различных фирм-производителей. Для проработки интерфейса анализатора и в связи с еще недостаточным распространением шины CAN необходимо имитировать работу сети, используя предварительно подготовленные файлы.

Контрольные вопросы

- 1 Объясните понятия «самоконтроль» и «самодиагностика». Что каждое из понятий в себя включает?
- 2 Какие возможности предусматривает самодиагностика?
- 3 Каким требованиям должна отвечать «самодиагностика» на примере двигателя?
- 4 Приведите условия реализации самоконтроля объекта диагностирования.
- 5 Приведите типичные операции по организации самоконтроля.
- 6 Определите требования к характеристикам достоверности самоконтроля электронной системы контроля диагностических параметров.
- 7 Приведите схему снижения эффективности работы объекта, который периодически обслуживается с применением диагностики.
- 8 Какие существуют задачи обеспечения заданной достоверности контроля и точности автоматических систем?
- 9 Приведите требования стандартов к системам диагностики ОВД-II?
- 10 Как представляются коды неисправности? Приведите пример цифровых и буквенных символов.
- 11 Как устроен диагностический разъем в автомобилях?
- 12 Зачем применяются устройства-переходники?
- 13 Расскажите о принципах работы схемы электронного управления.
- 14 Как осуществляется реакция системы диагностирования при появлении неисправности?
- 15 Расскажите, как устроен бортовой контроллер связи CAN.
- 16 Расскажите, как осуществляется помехоустойчивость диагностической шины данных.
- 17 Из каких элементов состоит шина CAN?
- 18 Как осуществляется передача данных в шине CAN?
- 19 Какие функции обеспечиваются анализатором шины CAN?
- 20 Каково назначение самоконтроля?
- 21 Какие требования необходимо выполнять при самодиагностике?
- 22 Опишите условия реализации самоконтроля.
- 23 Приведите операции по организации самоконтроля.
- 24 Представьте в общем виде матрицу диагнозов и диагностических параметров.
- 25 Что положено в основу постановки диагноза по методу последовательного анализа диагностических признаков.
- 26 Чем отличаются понятия «контроль» и «диагностирование»?
- 27 Чем отличаются «самоконтроль» и «самодиагностика»?
- 28 Что понимается под эффективностью самоконтроля?
- 29 Приведите основные понятия, определяющие достоверность контроля.

12 ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА АТП И СТО

12.1 Структура систем диагностирования и технического обслуживания на предприятиях автомобильного транспорта

В зависимости от производственных функций предприятия автомобильного транспорта подразделяются на автотранспортные, автообслуживающие и авторемонтные.

Автотранспортное предприятие (АТП) осуществляет перевозку грузов и пассажиров, а также все производственные функции по ТО, ремонту, хранению и снабжению подвижного состава.

По своему назначению АТП делятся на грузовые, пассажирские (автобусные и легковые), смешанные и специальные (скорой медицинской помощи, коммунального обслуживания и др.).

По организации производственной деятельности АТП, автотранспортных служб подразделяются на: комплексные, которые осуществляют транспортную работу, все виды ТО и ТР и хранение подвижного состава, кооперированные, деятельность которых осуществляется с учетом централизации производства транспортной работы, а также централизации (полной или частичной) работ по ТО и ТР.

Наиболее распространены комплексные АТП с количеством автомобилей 200...400 единиц. К кооперированным АТП относятся автокомбинаты. Они насчитывают 700...1000 и более единиц подвижного состава и состоят из основного предприятия и нескольких филиалов (на 150...200 и более единиц), расположенных на других территориях – в районе обслуживания перевозками. На основном предприятии выполняются наиболее трудоемкие и сложные виды технического обслуживания (ТО-2), диагностики и ТР всего подвижного состава, а также все виды ТО, ремонт и хранение той части подвижного состава, которая базируется на основном предприятии. В филиалах производятся хранение подвижного состава, техническое обслуживание в объеме ЕО и ТО-1 и несложный ТР. Автокомбинаты способствуют приближению подвижного состава к потребителям, сокращению нулевых пробегов, а также ликвидации малоэффективных мелких предприятий.

Автообслуживающее предприятие является специализированным АТП, выполняющим лишь производственные функции по ТО и ремонту подвижного состава.

К автообслуживающим предприятиям относятся базы централизованного обслуживания, станции технического обслуживания (СТО), гаражи-стоянки (гостиницы для автотуристов-мотели, лагеря для автотуристов – кемпинги), а также автозаправочные станции.

Авторемонтные предприятия являются также специализированными предприятиями, производящими ремонт (восстановление) автомобилей и агрегатов.

К ним относятся авторемонтные и агрегатно-ремонтные заводы и базы

централизованного ремонта узлов агрегатов, авторемонтные мастерские, шиноремонтные мастерские или заводы, аккумуляторные зарядно-ремонтные станции и специализированные цехи.

Специализированные мастерские и цехи выполняют ремонт узлов и механизмов автомобиля, а также окрасочные, кузовные и другие работы, обслуживая эксплуатационные предприятия в централизованном порядке.

Базы централизованного технического обслуживания (БЦТО) предназначены для централизованного выполнения сложных видов ТО и крупного текущего ремонта подвижного состава, эксплуатируемого небольшими по размеру АТП.

В объем ремонтных работ, выполняемых базами, входит замена агрегатов, требующих капитального ремонта, на агрегаты, отремонтированные на авторемонтном предприятии и находящиеся в централизованном оборотном фонде базы. Кроме того, на базах может быть организован централизованный ремонт отдельных механизмов, узлов, агрегатов и приборов автомобилей.

Величина базы измеряется количеством приписанных к ней автомобилей, которое, по современным данным, должно примерно составлять от 1000 до 2000 автомобилей. В зависимости от типа приписанного подвижного состава базы могут быть предназначены для грузовых автомобилей, автобусов или легковых автомобилей. Базы централизованного технического обслуживания являются основой перспективного развития АТП.

Станции технического обслуживания (СТО) имеют своим назначением обслуживание автомобилей индивидуальных владельцев, выполнение как отдельных работ, так и всего объема (по видам) ТО, ремонт автомобилей и снабжение их запасными частями, принадлежностями и эксплуатационными материалами.

Гаражи-стоянки (Г-С) являются предприятиями для хранения автомобилей. Иногда они выполняют техническое обслуживание автомобилей и снабжение их эксплуатационными материалами.

Гаражи-стоянки общего пользования предназначены преимущественно для хранения автомобилей индивидуальных владельцев. Такие стоянки могут быть домовыми, квартальными и районными, устраиваемыми в виде специальных зданий или открытых площадок. Стоянки этого типа строят также для временного хранения автомобилей в местах большого их скопления и для разгрузки улиц и площадей города (например, у стадионов, вокзалов). К этому типу предприятий относятся автогостиницы (мотели) и кемпинги – гаражи-стоянки для временного хранения автомобилей туристов.

12.2 Формы организации диагностирования

Основными задачами технической диагностики автомобилей является определение исправности и работоспособности объекта диагностирования, нахождение отказов, выявление неисправностей (дефектов) и их локализация, прогнозирование остаточного ресурса.

Одной из основных проблем диагностирования массовых транспорт-

ных машин на АТП и СТО является недостаточная приспособленность машин к бортовому и стационарному диагностированию. Большинство транспортных машин не имеют универсальных устройств сопряжения со средствами технического диагностирования. В связи с этим предприятия определяют под свои машины разные производственные структуры стационарных диагностических линий и комплексов.

По форме организации производства подразделяется:

- на централизованное, при котором работы одного или нескольких видов диагностирования централизованы в масштабе региона, транспортного объединения, комбината или выполняются централизованным техническим обслуживанием;
- децентрализованное, при котором все работы производятся на предприятиях базирования транспортных машин; распределенное, при котором одна часть работ централизована, а другая выполняется децентрализованным методом (см. рис. 6.1, 12.1).

Организационная структура комплексов диагностирования характеризуется специализацией постов и степенью совмещения диагностирования с техническим обслуживанием, что позволяет разделить методы диагностирования:

- специализированные, при которых работы по отдельным воздействиям технического диагностирования транспортных машин производятся на отдельных специализированных участках;
- комплексные, при которых все диагностические работы на предприятии выполняются на универсальном диагностическом посту с комплексным (комбинированным) стендом;
- совмещенные, при которых все диагностические работы выполняются на постах технического обслуживания и текущего ремонта с помощью передвижных средств диагностирования.

По последовательности выполнения работ (относительно других работ технического обслуживания и текущего ремонта) диагностирование можно подразделить на предварительное, которое выполняется перед проведением остальных работ технического обслуживания и текущего ремонта; заключительное, которое выполняется после проведения названных работ; сопутствующее, операции которого сопутствуют выполнению регулировочных работ в процессах технического обслуживания и текущего ремонта.

По периодичности проведения диагностирование может быть плановым – производится в обязательном порядке всем машинам, запланированным на техническое обслуживание; непрерывным – осуществляется непрерывно в процессе движения машины или работы отдельного ее агрегата (например при его обкатке); выборочным – проводится дополнительно к плановому диагностированию и реализуется путем выборочных проверок объектов транспортных машин не на участках (постах) диагностирования, а в дорожных условиях – на постах экспресс-диагностирования.

По типу основных средств диагностирование может классифицироваться как

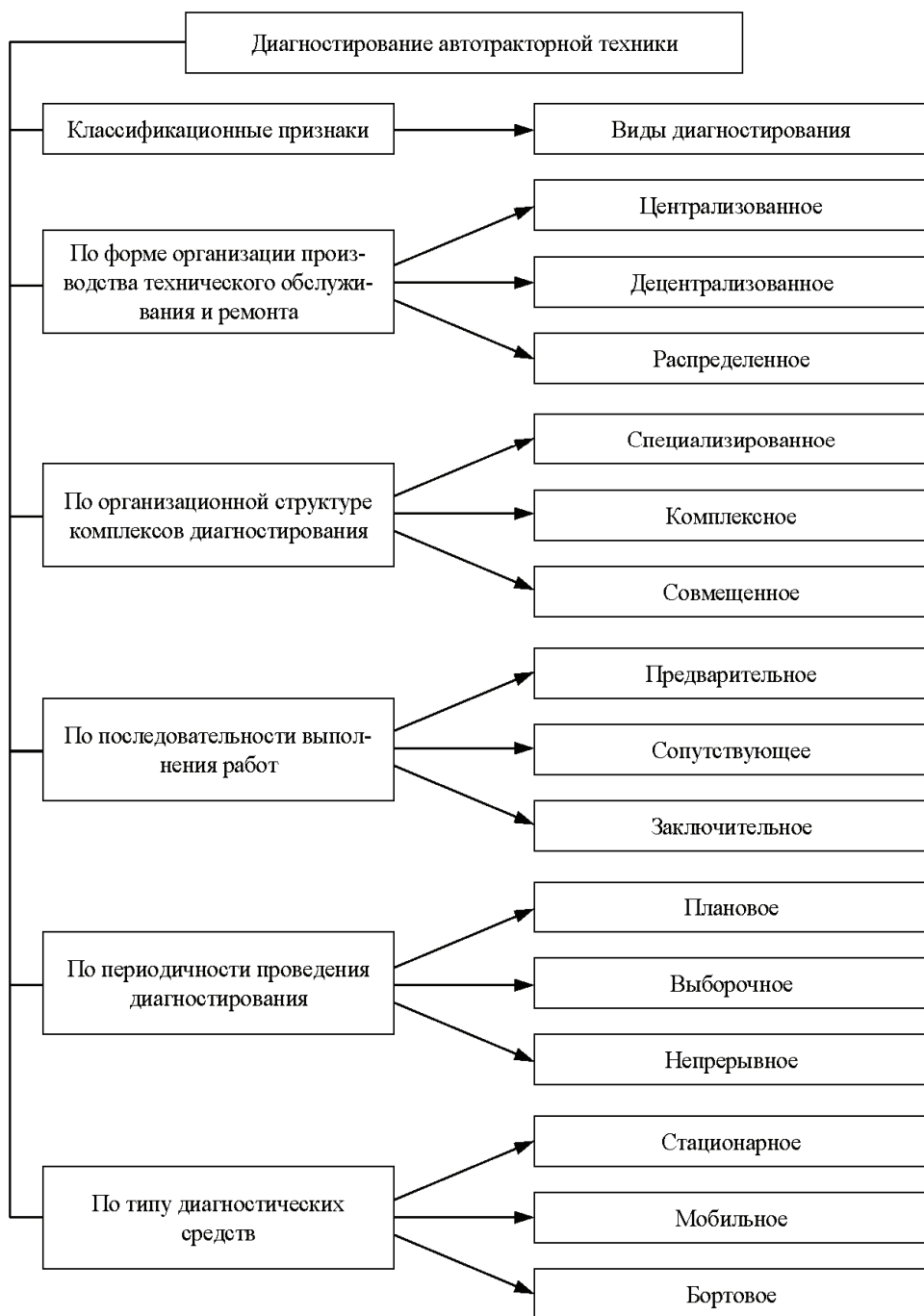


Рис. 12.1. Классификация видов диагностирования по организационным признакам

- стационарное – производится внешними средствами диагностирования транспортных машин в стационарных условиях;
- бортовое – осуществляется встроенными или установленными на машине средствами диагностирования;
- мобильное – выполняется с помощью передвижных станций и средств диагностирования автотракторной техники.

12.3 Средства диагностирования

Эффективность оценки работоспособности машины во многом зависит от средств контроля технического состояния. Встроенные средства обеспечивают непрерывный контроль систем и сборочных единиц. В настоящее время на машинах обычно имеется 6...9 средств контроля, но вместе с тем существуют уже машины и с 20 элементами сигнализации предельного состояния систем или сборочных единиц.

Из-за разной оснащенности существующих АТП и СТО типами транспортных машин и средствами диагностирования для оценки работоспособности транспортных машин можно использовать переносные и стационарные средства «малой» диагностики, представленные в табл. 12.1. Выбор современных средств диагностирования: осциллографов, мотор-тестеров, мультиметров, сканеров, стендов для контроля двигателей, ходовой части, трансмиссии, подвески и освещения представлен в работе [19, 22].

Многие диагностические средства, включенные в табл. 12.1, входят в комплект линейной диагностической службы. С помощью этих передвижных диагностических установок можно диагностировать тракторы, автомобили, строительные и дорожные машины по более 100 наиболее часто измеряемым параметрам.

При организации технической эксплуатации используется переносной диагностический комплект КИ-13901Ф, который входит в состав средств мастера-наладчика. Переносной комплект целесообразно использовать на участках диагностирования и пунктах технического обслуживания машин. С его помощью можно замерить 36 параметров. Наиболее полную и объективную информацию о работоспособности машины получают при одновременном измерении совокупности параметров, учете показаний приборов в кабине, а также сведений о работе машины под нагрузкой.

Для оценки технического состояния внутренних рабочих поверхностей деталей, расположенных в корпусах сборочных единиц, применяются методы эндоскопии с использованием гастроскопов, эндоскопов и фиброскопов волоконного и линзового типа.

Комплексная оценка работоспособности машин на диагностических площадках осуществляется с помощью передвижных стендов с беговыми барабанами [19], передвижной диагностической лаборатории ПЛ-2 тормозной установкой мощностью 125 кВт. Эта лаборатория позволяет оценивать техническое состояние всех систем двигателя внутреннего сгорания, трансмиссии, движителя, системы управления и гидропривода. В ПЛ-2 применен комплекс полуавтоматической измерительной аппаратуры, позволяющей

Основные диагностические средства

Диагностическое оборудование	Марка или модель	Назначение
1	2	3
Машина в целом		
Тормозные стенды	КИ-8930, КИ-8960, САК-И-670, IW-7, DYNATEST 312, 8630 «Bem Muller»	Определение тяговых и тормозных усилий, расхода топлива, состояния трансмиссий и электрооборудования машин в стационарных условиях
Измеритель мощности цифровой	ИМД-Ц	Измерение мощности и частоты вращения коленчатого вала
Топливомеры	КИ-4818, КИ-13967М	Определение часового и удельного расхода топлива
Измерители дымности цифровой	ИДЦ-1, КИ-28040, КИ-28070 М2	Измерение дымности выхлопных газов
Системы двигателя внутреннего сгорания		
Компрессометры	КИ-861, КИ-28125	Определение компрессии в цилиндрах двигателя
Вакуум-анализатор	КИ-5315М	Измерение разрежения в цилиндре
Универсальные автостетоскопы	КИ-28136, КИ-28154	Оценка технического состояния сопряжений по стукам
Устройство для измерения зазоров в кривошипно-шатунном механизме	КИ-114М	Определение суммарного зазора в верхней головке шатуна и шатунном подшипнике
Индикаторы расходов газов	КИ-4887-11, КИ-28126М, КИ-13671М, КИ-17999М	Оценка технического состояния цилиндропоршневой группы по количеству газов, прорывающихся в картер
Прибор для измерения герметичности цилиндров	К-69М	Определение технического состояния гильзы, поршневых колец, сопряжения «гнездо-клапан» и прокладки головки блока
Приспособление для проверки герметичности воздушного тракта	КИ-4870	Проверка загрязненности и разгерметизации воздухоочистителя двигателя внутреннего сгорания
Устройства для контроля топливной аппаратуры	КИ-4801, КИ-28132	Проверка перепада давления до и после фильтров грубой очистки
Приспособления для контроля форсунок	КИ-9917, КИ-562М, КИ-16301М	Проверка давления и качества распыливания топлива
Комплект контроля качества ТСМ	КИ-28105.1, КИ-28067.01	Оценивается сортность и качество ТМС
Индикатор загрязненности ТСМ	КИ-28067	Предназначен для количественной оценки чистоты ТСМ
Устройство для контроля топливного насоса высокого давления	КИ-4802	Проверка максимального давления, развиваемого секцией насоса, и герметичности нагнетательного клапана
Приспособления для проверки масляного насоса	КИ-4858, КИ-28156	Контроль масляного насоса и клапана системы смазки

Продолжение таблицы 12.1

1	2	3
Трансмиссия		
Индикатор ресурса подшипников	НПП-12	Определение ресурса подшипников
Технический эндоскоп	ZOND	Выявление неисправностей визуальным осмотром
Люфтомеры	КИ-4813, КИ-4832, КИ-13909	Измерение углового люфта одного из валов (входного или выходного) при заторможенном втором
Приспособления для контроля силовой передачи	КИ-4850, ELKON DS-320	Проверка осевого и радиального зазора в сопряжениях силовой передачи
Двигатель		
Приспособления и приборы для контроля двигателя: – гусеничного – пневмоколесного	КИ-13903, КИ-8913 КИ-650, М-2182	Проверка провисания гусеничной цепи и износа гусеничных звеньев Контроль сходимости передних колес
Стенд	КИ-4872	Контроль установки передних колес
Гидросистема		
Приборы для определения работоспособности гидросистемы	КИ-1097Б, КИ-28084М, ТДР13-142, КИ-28097М	Определение давления и расхода жидкости в сборочных единицах гидропривода
Гидротестер	ГТ-2 ГТП-3-6	Определение объемных потерь в сборочных единицах гидропривода Определение работоспособности гидропривода СДМ
Электрооборудование		
Вилка нагрузочная	ЛЭ-2	Определение степени разряженности аккумуляторных батарей
Приборы	КИ-1093	Контроль стартера и генератора с регулятором напряжения без снятия с машины
Стенды	Э-205, КИ-968, Э-214, мод. 537	Контроль электрооборудования без снятия и со снятием с машины
Прибор	Э-204, КИ-28163	Проверка состояния контрольно-измерительных приборов
Система управления		
Приборы	КИ-402, КИ-28163	Контроль свободного хода рулевого колеса
Динамометр	ДПУ-0,02-2	Определение усилия на рычагах управления и рулевом колесе
Тормозные стенды	К208М, К486, ТС-1, 7551 «Motokov», BSA-200 «Bosch», 8424 «Bem Muller»	Определение технического состояния тормозных систем

1	2	3
Передвижные, стационарные и переносные модули средств по контролю, регулировке и ремонту СДМ		
Передвижной ремонтно-диагностический пост на базе ГАЗ-3307, ЗИЛ-5301, «Газель» и др.	КИ-28016	Выполнение работ по диагностированию, ТО и ремонту СДМ
Стационарный пост тех-сервиса СДМ	КИ-28065М, КИ-13919М	Выявление и устранение неисправностей при ТО и ремонтах
Переносной модуль средств диагностирования	КИ-28092, КИ-28092М	Диагностирование при ТО и ремонтах

измерение и индикацию значений контролируемых параметров в цифровой форме и требуемой размерности.

12.4 Варианты планирования станции диагностирования

В крупных АТП, где нужна большая пропускная способность, станции диагностики строят в виде поточных линий со специализированными постами. Обычно на 1-м посту выполняют подготовительные работы: в мокрую погоду или зимой сушат колеса, обдувая их горячим воздухом (для этого в полу могут быть устроены подводящие каналы от калорифера с вентилятором, закрытые сверху решетками, на которые устанавливают колеса). Здесь же проверяют и доводят до нормы давление воздуха в шинах – это обязательная операция перед диагностикой на стенде с беговыми барабанами и площадочных стендах; осматривают автомобиль снаружи, сверху и снизу, проверяют суммарные угловые зазоры в трансмиссии.

На 2-м посту располагают стенд для проверки тормозов. Длина поста состоит из длины автомобиля (L_a) плюс колесная база (Б), так как автомобиль должен устанавливаться в две позиции: проверки передних и задних колес. Это не требуется на полноопорных стендах, но там выигрыш во времени проверки утрачивается из-за потерь времени на крепление и освобождение автомобиля. Однако выигрыш в производственной площади остается.

Стенд (или комплект) для проверки рулевого управления удобно (но не обязательно) ставить после тормозного стенда, на расстоянии примерно 0,5 колесной базы, когда автомобиль еще не переехал в позицию проверки задних тормозов. Прибор для проверки фар ставят дальше этой позиции, на таком расстоянии, чтобы автомобиль стоял на барабанах задними колесами.

Площадочный стенд для проверки развала и схождения может стоять в любом месте, но так, чтобы автомобиль проезжал по нему прямолинейно и чтобы задние колеса не проезжали в этот момент по каким-то неровностям.

Тяговый стенд устанавливают на 3-м посту. Если позволяет длина линии, то между 2-м и 3-м постом оставляют свободное место, чтобы при диагностировании Д-1, когда не нужна проверка силового агрегата, автомобиль мог съехать с линии в сторону. Если места нет, автомобиль при выезде

будет переезжать через тяговый стенд. Если применен комбинированный тягово-тормозной стенд, его устанавливают на 2-ом посту вместо тормозного. Расходомер топлива всегда ставят на посту проверки тяговых свойств. Пульты управления и рабочие места операторов располагают с левой стороны – так оператору удобнее переговариваться с водителем и подавать ему команды жестами.

Пост углубленного диагностирования двигателя можно объединить с постом проверки тяговых свойств либо вынести в сторону, чтобы не мешать проезду тех автомобилей, которым углубленное диагностирование не нужно. На этом посту стоит мотор-тестер (дизель-тестер, мотор-дизель-тестер) и стеллаж с переносными приборами, имеется подвод сжатого воздуха и местная вытяжная вентиляция для отвода отработанных газов.

При мощности менее 200 автомобилей АТП не всегда могут окупить себя экономически. В небольшом АТП поточная линия не нужна, все оборудование (кроме решеток для сушки колес) можно собрать на один пост, но его длина все равно будет увеличенной из-за необходимости проверки тормозов.

На СТО чаще используют параллельные тупиковые или проездные посты – это позволяет, во-первых, чтобы выполнять только те проверки, которые закажет клиент, во-вторых, совмещать проверки с регулировками, не нарушая ритмичность производства. Обычно на СТО делают 3 поста проверки и регулировки: для тормозов, двигателя и ходовой части (с подъемником).

Ворота станции диагностирования часто выполняют сдвижными или подъемными и оснащают воздушно-тепловыми завесами. Станция диагностирования должна иметь очень хорошую общую вентиляцию и высокопроизводительные местные вытяжки, особенно при проверке мощных дизельных автомобилей. Если производительность вентиляции недостаточна, приходится работать при открытых воротах, что особенно неудобно в холодное время. Станции диагностирования обычно оборудованы осмотровыми канавами. Они сложнее обычных: приходится ходить под стендами с барабанами, для чего требуется повышенная глубина и часто там же приходится проверять трансмиссию, осматривать колеса изнутри и т.п. В таких случаях делают откидные помосты. Часто на канавах применяют съемные переходные мостики, например, при проверках двигателей с открыванием капота спереди.

Станция диагностирования может иметь вспомогательные помещения: комнату для работы с документацией; машинный или аппаратный зал для силового электрооборудования, здесь же часто ставят собственный компрессор; помещение для ремонта электроники и тонкой аппаратуры.

Одной из важнейших задач диагностирования состояния объекта является поиск неисправностей, то есть определение места и причин их возникновения. После устранения неисправностей объект может быть исправным, работоспособным или правильно функционирующим.

Основные задачи технической диагностики приведены на рис. 12.2.



Рис. 12.2. Основные задачи технической диагностики

12.5 Организационные принципы диагностирования

Организационные принципы диагностирования автомобилей зависят от места проведения, применяемого оборудования, наличия бортовой системы диагностирования и взаимодействия процесса диагностирования с ТО и ремонтом.

При планировании диагностирования машины в первую очередь необходимо установить место его проведения (участок, мастерские по ремонту и обслуживанию транспортных средств). Место проведения позволяет определить применяемое оборудование, которое оказывает непосредственное влияние на характер и содержание технологических операций. Как правило, диагностирование в мастерских проводится на специализированных участках с помощью стационарных стендов и комплектов приборов. На участке работы машины диагностирование проводят с помощью передвижных станций, укомплектованных переносными приборами.

На организационные принципы диагностирования оказывает влияние совмещение его с ТО и ремонтом. В этом случае определяется техническое состояние машины, устанавливаются необходимые объемы предупредительных работ по поддержанию работоспособности сборочных единиц и

систем, оценивается целесообразность ремонта. Каждому виду ТО соответствует диагностирование с определенным перечнем и последовательностью выполняемых операций. Причем операции по регулировочным работам могут выполняться на участке диагностирования или на отдельных участках. При ТО основная задача диагностирования – определить сборочные единицы и системы, лимитирующие безотказную работу до следующего контрольного мероприятия, то есть ТО или ремонта.

Операции диагностирования группируют с учетом максимальной и равномерной загрузки всех участков обслуживания или ремонтов машин, минимального времени диагностирования при заданной вероятности безотказной работы сборочных единиц и систем. Первоначально разрабатываются технологические пооперационные карты диагностирования сборочных единиц и систем, а завершающим этапом является создание технологии диагностирования машины в целом.

Совмещенное диагностирование не требует какого-либо организационного изменения технологического процесса. Здесь только происходит корректировка с учетом имеющихся особенностей. В общем случае создаваемая технология должна быть рассчитана на прогрессивные формы ТО и ремонта, серийные диагностические средства, требования техники безопасности, оптимальную структуру диагностирования, рациональные диагностические параметры, требования инструкции по эксплуатации машины.

Организацию профилактического обслуживания и текущего ремонта (ТР) машин по техническому состоянию в транспортных предприятиях рассмотрим на примере АТП (рис. 12.3) [74].

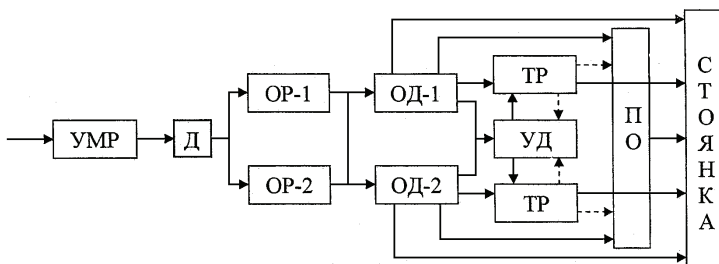


Рис. 12.3 Схема технологических процессов на АТП

Автомобиль, поступающий на плановое обслуживание, проходит зону уборочно-моечных работ (УМР). Затем в зоне диагностики (Д) отбираются пробы моторных и трансмиссионных масел для анализа, в зоне обязательных работ (ОР) выполняются необходимые крепежные, смазочные работы и по результатам анализа браковочных показателей принимается решение о замене масла и фильтров или дальнейшей эксплуатации транспортной машины на этих маслах. После прохождения общего диагностирования (ОД-1 или ОД-2) при положительных результатах диагностирования (машина исправна) она направляется на стоянку, при отрицательном – для проведения необходимых работ в зону профилактического обслуживания (ПО). При не-

известной причине неисправного состояния на углубленную диагностику (УД) или устранения неисправности в зону ТР. С такой организации работ часть контрольных операций из перечня Д-2, которая предусмотрена действующим «Положением про ТО и ремонт дорожных транспортных средств автомобильного транспорта», предлагается передать в зону ОД-2 (для определения работоспособного состояния всех агрегатов автомобиля по общим параметрам с периодичностью ТО-2). Углубленное диагностирование всего автомобиля и систем, влияющих на безопасность движения, осуществляется в зоне УД.

На рис. 12.4 показана наиболее типичная форма организации диагностирования автомобилей на АТП средней мощности, которая в зависимости от мощности АТП несколько видоизменяется. Соответственно изменяются и наборы необходимых средств диагностирования. Для внедорожных автомобилей, работающих в отрыве от постоянных баз, диагностирование проводят на местах стоянки автомобилей или же в полевых парках, применяя, главным образом, встроенные, бесстендовые, переносные и подвижные средства. На небольших автотранспортных предприятиях Д-1 и Д-2 объединяют на одном участке. Здесь используют комбинированные стационарные средства (стенды). На АТП средней мощности участки диагностирования Д-1 и Д-2 специализируют, а для ДР используют Д-2. На крупных АТП дополнительно специализируют и ДР, а на базах централизованного обслуживания все средства диагностирования централизуют и оптимально автоматизируют [59].

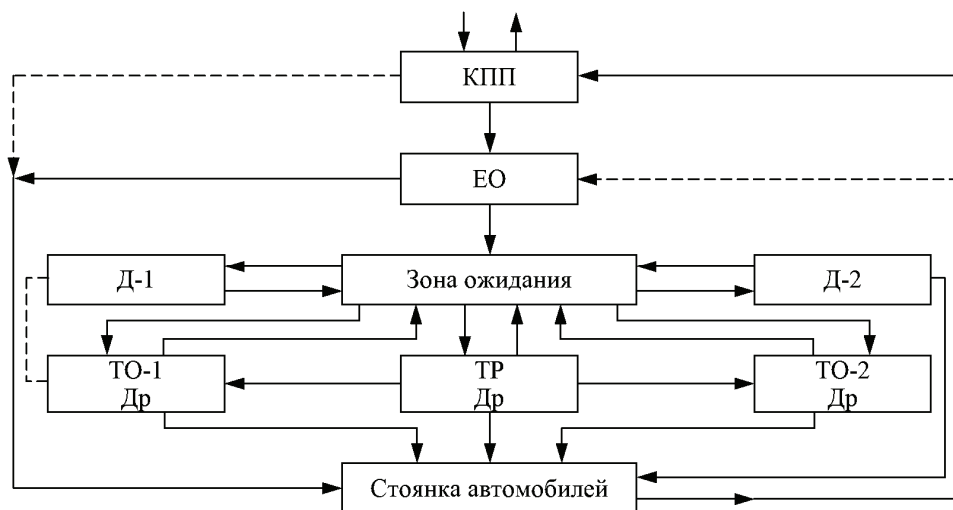


Рис. 6.12. Схема производственного процесса АТП

На схеме, представленной на рис. 12.4, сплошными линиями показан основной путь следования автомобилей через соответствующие производственные участки с момента их прибытия до выпуска на линию. Поскольку

прибытие автомобилей происходит в течение относительно короткого времени, а пропускная способность зоны ЕО рассчитывается на одну или две рабочие смены, то большая часть автомобилей после приема направляется в зону хранения, откуда в порядке очереди они поступают в зону ЕО и далее в соответствии с графиком на посты обслуживания или в зону хранения.

Структура системы технического диагностирования (ТД) автомобилей представлена на рис. 12.5.

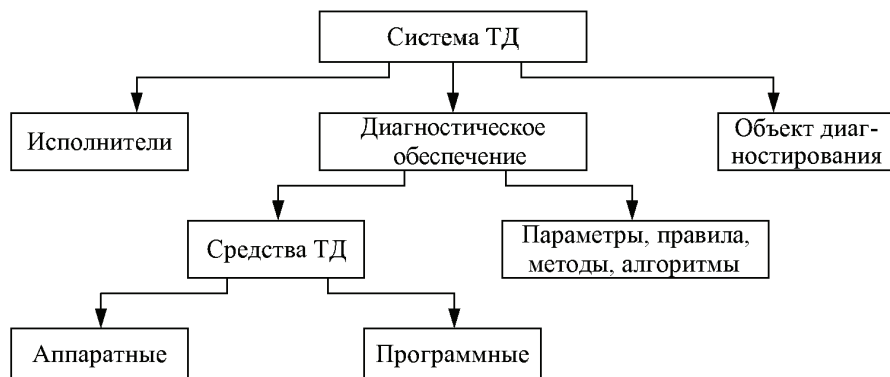


Рис. 12.5. Структура системы технического диагностирования

Диагностика и управление техническим состоянием автомобилей. Диагностирование на АТП представляет собой человеко-машинную систему получения и обработки индивидуальной информации, необходимой для управления техническим состоянием автомобиля и технологическими процессами ТО и ремонта. Источниками информации являются: водитель, механики АТП, встроенные и внешние средства диагностирования Д-1, Д-2, Д_г (диагностический комплекс).

При потребности автомобиля в ТО, первичная информация о его техническом состоянии, полученная при помощи диагностического комплекса непосредственно обеспечивает слесарей бригады ТО (рис. 12.6). Параллельно эта же информация поступает в центр управления производством АТП в целях принятия решений о ТО и ремонте, подготовки производства, а также для обеспечения контроля и учета выполненной работы.

При потребности автомобиля в ремонте информация направляется в ремонтную бригаду и в центр управления. Простейшие ремонтные работы оперативно выполняются бригадой ТР и по ее информации учитываются и контролируются ЦУПом. В сложных случаях диагностическая информация используется для подготовки производства (получения ремонтных агрегатов и запчастей, планирования постов и рабочей силы и т. п.) предстоящего ремонта. В случае исправности автомобиль направляется на хранение.

Из сказанного следует, что диагностирование обеспечивает два уровня управления: техническим состоянием в звене «слесарь – автомобиль» и технологическими процессами в звене «центр управления – комплекс подго-

товки производства – рабочий – автомобиль». На первом уровне диагностирование непосредственно связано с технологией проведения ТО, а на втором оно в большей степени связано с организацией технологических процессов, главным образом текущего ремонта автомобилей.

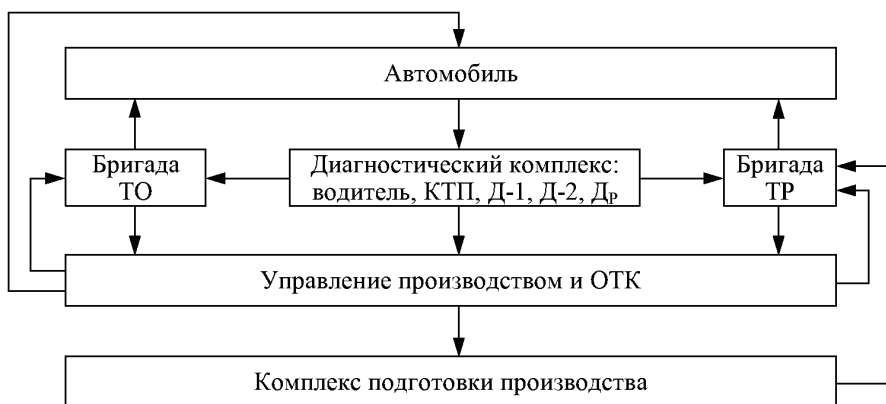


Рис. 12.6. Схема использования диагностирования для оперативного управления ТО и ТР на АТП

Дальнейшее развитие диагностирования на крупных АТП и в АТО связано с созданием автоматических диагностических компьютеризованных средств, являющихся элементом автоматизированных систем управления производством, а также развитием встроенного диагностирования. Это позволяет перейти к автоматизированным экспертным системам.

12.6 Условия нормальной работы и документация зоны диагностики

Знания, необходимые диагносту для эффективного диагностирования автомобилей.

Для использования диагностики и прогнозирования в системе технического обслуживания и ремонта необходимы следующие знания (см. подраздел 2.4):

- 1 типовые неисправности и их минимальный перечень параметров и количественных значений (нормативов), позволяющих разделить работоспособное и неработоспособное состояние объекта;
- 2 знание качественных и (или) количественных признаков, характеризующих неработоспособное состояние объекта и те или иные характерные неисправности;
- 3 знание методов и технологий, рациональных приемов выполнения диагностических работ и режимов диагностирования, на которых следует выявлять качественные признаки и измерять количественные значения диагностических параметров;

- 4 знание предыстории конкретного объекта диагностирования для последующего прогнозирования остаточного ресурса;
- 5 знание статистических закономерностей изменения параметров технического состояния объекта с привязкой к условиям эксплуатации – для прогнозирования остаточного ресурса;
- 6 знание технически и экономически рациональной периодичности выполнения диагностических работ и перечней проверок по видам работ;
- 7 постоянное накопление и систематизация всех перечисленных выше видов знания для данного класса машин и объектов диагностирования с привязкой к условиям эксплуатации вообще и специфическим условиям работы в данном предприятии;
- 8 оборудование (помещения, стенды, приборы, измерительные устройства и системы) для выполнения диагностических работ, а также для накопления, упорядочения (систематизации) и удобного использования информации (бланки, таблицы, картотеки, ЭВМ, программное обеспечение), вспомогательные средства и материалы, обеспечивающие работу оборудования и людей (электроэнергия, сжатый воздух и др. энергоносители, вентиляция и другие сантехнические устройства, топливо, смазочные материалы и т.п.);
- 9 персонал, обладающий необходимыми знаниями и навыками;
- 10 финансовые, организационные и психологические условия, гарантирующие функционирование службы диагностики и должный учет ее рекомендаций в процессе использования автомобилей и их технической эксплуатации.

Документация зоны диагностики:

- 1 диагностические карточки – бланки, куда записывают модель и номер автомобиля, пробег, дату диагностирования, жалобы водителя, измеренные значения параметров, вычисленные значения расчетных показателей, поставленный диагноз, рекомендации по устранению неисправностей;
- 2 «досье» на каждый автомобиль – накопительные карты либо подшитые в хронологическом порядке диагностические карточки, если в зону устранения неисправностей передают только талон с рекомендациями;
- 3 план Д-1 и Д-2 (корректируется по результатам прогнозирования);
- 4 технологическая документация – маршрутные и операционные карты, карты эскизов, сводные таблицы режимов проверок и нормативных значений параметров по разным моделям автомобилей; методики (и программы для ЭВМ) определения расчетных показателей;
- 5 метрологическая документация – аттестаты, протоколы периодических поверок измерительных средств и т.п.;
- 6 инструкции по эксплуатации, обслуживанию и ремонту диагностического оборудования;
- 7 методики (и программы для ЭВМ) накопления и математической обработки статистических данных для прогнозирования;

8 инструкции и журнал инструктажей по технике безопасности и пожарной безопасности.

Персонал станции диагностики:

- 1 начальник СД (главный диагност) – высококвалифицированный инженер-автомобилист, имеющий дополнительную подготовку по диагностике и прогнозированию, а также по работе с диагностическим оборудованием и его ремонту;
- 2 операторы-диагносты – опытные механики или рабочие, имеющие дополнительную подготовку по диагностированию и работе с диагностическим оборудованием;
- 3 водители-помощники операторов – водители, обученные выполнению вспомогательных операций при диагностировании.

Обычный режим работы станции диагностирования: дневная смена – Д-2, ночная смена – Д-1. Минимальный состав рабочей смены: один оператор, один водитель.

Меры безопасности в зоне диагностики. Кроме обычных для АТП (СТО) мер безопасности, в зоне диагностики необходимо соблюдать следующие специфические меры предосторожности:

- не работать на роликовых стендах без предохранительных и отбойных роликов, без фиксации автомобиля колодками против самовывезда вперед или назад; колодки плотно забивать под колеса спереди и сзади;
- не работать на стендах с движущимися частями без кожухов;
- не работать при бездействующей общей и местной вентиляции;
- не допускать в зону диагностики людей, не прошедших инструктажа по технике безопасности;
- не разрешать людям ходить по барабанам или наступать на них.

Основными документами по организации диагностирования являются: инструкция по эксплуатации автомобилей; технологическая пооперационная карта диагностирования; диагностическая карта; накопительная карта; инструкции по эксплуатации диагностических средств.

Технологическая пооперационная карта является основным документом диагностирования. В ней указываются: параметры технического состояния с учетом их номинальных и предельных значений; вид диагностирования и периодичность его проведения; операции диагностирования и технические условия; средства диагностирования и место их подключения; исполнители и их квалификация; трудоемкость выполняемых работ.

Диагностическая карта (diagnostic card) предназначена для регистрации результатов диагностирования во всех случаях диагностирования и принятия решения о необходимых работах при техническом обслуживании и ремонте автомобиля. Диагностическая карта является исходным документом при выполнении накопительной карты во всех случаях диагностирования.

12.7 Общая характеристика и содержание контрольно-диагностических и регулировочных работ

При эксплуатации транспортных машин предусмотрены два основных вида плановых технологии диагностирования (Д-1 и Д-2), соответствующих первому и второму техническому обслуживанию (ТО-1 и ТО-2). Вне эксплуатационных транспортных предприятий могут иметь место контрольное (Д_к), заявочное (Д_з), регулировочное (Д_р), годовое (Д_г), экспресс (Д_э), приработочное (Д_п) и выборочное (Д_в) диагностирование [61].

Диагностирование Д-1. Предназначено для выявления неисправностей механизмов и систем, определяющих безопасность движения транспортных машин, а также соединений в узлах и агрегатах машин, имеющих малую наработку на отказ или регулировку. Это диагностирование должно проводиться с целью заключительного контроля качества выполненных технического обслуживания и текущего ремонта. При плановом диагностировании Д-1 на эксплуатационных предприятиях для автомобилей, проверяются исправность тормозов, рулевого управления, шин, внешних приборов освещения и сигнализации, уровень токсичности отработавших газов, его топливную экономичность, а также установка передних колес по боковому уводу.

Д-1 может либо ограничиваться только определением годности объекта к дальнейшей эксплуатации (экспресс-диагностирование), либо включать в себя определение основных неисправностей и сопровождаться регулировочными работами с последующим контролем качества их выполнения. Экспрессное Д-1 производится на контрольном пункте при возвращении автомобиля в парк, а Д-1 при ТО-1 или перед ним. Кроме того, для проведения ТО-1 используют информацию, полученную при помощи средств встроенного диагностирования.

Если по результатам Д-1 автомобиль, трактор или транспортно-технологическая машина не могут быть выпущены на линию (в эксплуатацию) и не поддаются регулировке на участке Д-1, то они должны быть направлены в зону текущего ремонта для устранения неисправностей с последующей проверкой.

Плановое диагностирование Д-1 на эксплуатационных предприятиях рекомендуется производить, как правило, с периодичностью ТО-1. Оно должно выполняться как заключительная проверка при ТО-1 и ТО-2 и обеспечивать выпуск на линию технически исправных в отношении безопасности движения транспортных средств. Выборочно на участке Д-1 проверяются машины по направлению с контрольно-пропускного пункта и после текущего ремонта систем обеспечения безопасности движения. Проведение планового диагностирования систем обеспечения безопасности движения с периодичностью, меньшей ТО-1, целесообразно только при работе транспортных средств в условиях повышенной опасности (на горных дорогах, при перевозке пассажиров и т.п.). В обычных условиях эксплуатации, в том числе и в крупных городах, диагностирование элементов обеспечения безопасности движения машин с периодичностью ТО-1 полностью обеспе-

чивает необходимую вероятность безотказной работы этих элементов (не менее 0,90). Возможность повышения периодичности ТО-1 (и соответственно Д-1) лимитируется как элементами обеспечения безопасности движения, так и некоторыми крепежными соединениями и узлами смазки через пресс-масленки. Однако в случае необходимости при некотором повышении периодичности ТО-1 и Д-1, требуемый уровень вероятности безотказной работы может быть достигнут и ужесточением предельно допустимых значений диагностических параметров.

Учитывая изложенное и то, что крепежные и смазочные работы, составляющие основу ТО-1, не зависят от результатов диагностирования, а трудоемкие ремонтные работы при Д-1 выполняются редко, плановое диагностирование Д-1 должно быть заключительной операцией ТО-1, что и предусмотрено основными организационно-технологическими документами. Выполнять чаще это диагностирование в обычных условиях не имеет смысла.

Диагностирование Д-2 предназначается для диагностирования автомобиля в целом по тягово-экономическим показателям и выявления неисправностей его основных агрегатов, систем и механизмов, их места, характера, причин и способов устранения. Основной целью Д-2 является поиск неисправностей, устранение которых требует выполнения ремонтных работ большой трудоемкости, которые нецелесообразно совмещать с работами ТО-2. В соответствии с требованиями рациональной технологии эти неисправности подлежат устранению на участке текущего ремонта до начала ТО-2. Кроме отбора трудоемких работ, в зоне текущего ремонта при диагностировании Д-2 производятся предусмотренные технологией диагностирования нетрудоемкие регулировочные работы, а также определяются виды регулировочных и ремонтных работ, которые допускается совмещать с ТО-2. При плановом диагностировании Д-2 проверяется эффективность рабочих процессов по тяговым показателям, расходу топлива, по величине механических потерь, утечек, по вибрации, уровню шума, стукам, по составу отработавших газов и другим признакам, определяющим работоспособность, долговечность и безотказность транспортных машин. При этом диагностируются двигатель и его системы, агрегаты трансмиссии и ходовой части, технологические и вспомогательные механизмы транспортно-технологических машин, электрооборудование, проверяются установка фар, исправность контрольно-измерительных приборов и др. При Д-2 производится также поэлементная проверка таких систем, влияющих на безопасность движения, как усилители рулевого управления, шкворневые соединения, карданные передачи и т.п. Из изложенного вытекает, что диагностирование Д-2 может давать информацию для планирования работ по производству технического обслуживания и текущего ремонта транспортных машин. Оно должно предшествовать второму техническому обслуживанию, что и признано всеми исследователями и закреплено в нормативных документах.

Диагностирование автомобиля в целом. Диагностирование автомобиля в целом проводят для определения уровня показателей его эксплуатационных свойств: мощности, топливной экономичности, безопасности дви-

жения и влияния на окружающую среду. Выявив снижение этих показателей по сравнению с установленными нормами, проводят углубленное диагностирование, определяют конкретные неисправности, регулируют механизмы и выполняют заключительный контроль.

Диагностирование автомобиля возможно при ходовых испытаниях или использовании стационарных стендовых средств. В эксплуатационных условиях ходовые испытания применяют ограниченно, главным образом для инспекторской проверки тормозов и линейного расхода топлива.

Более эффективным является стационарное диагностирование автомобиля при помощи специальных стендов, позволяющих задавать скоростные и нагрузочные тестовые режимы работы автомобиля.

Основные диагностические параметры приведены в табл. 5.1, методы диагностирования показаны на рис. 6.1 и в табл. 6.1, диагностические параметры эксплуатационных свойств автомобиля приведены в табл. 8.1.

Диагностирование автомобилей по показателям мощности, экономичности и влияния на окружающую среду. Мощностные и экономические данные автомобиля являются основными факторами его эффективности. Исследования показывают, что до 30 % автомобилей АТП эксплуатируют со значительным недоиспользованием мощности и перерасходом топлива. Около 50 % указанных потерь могут быть восстановлены силами и средствами АТП путем несложных регулировок и устранения мелких неисправностей.

После диагностирования и устранения обнаруженных неисправностей средняя максимальная сила тяги увеличилась, а средний контрольный расход топлива уменьшился в среднем на 13 %, кроме того, значительно снизилось рассеивание этих показателей.

Восстановление колесной мощности автомобиля повышает его среднюю скорость движения, а следовательно, и производительность работы автомобилей, а также снижает расход топлива. Расчеты показывают, что в городских условиях в результате восстановления мощности техническая скорость автомобиля может возрасти на 7...8 %, а его производительность и экономичность на 4...5 %.

Неисправности, приводящие к снижению мощностных и тягово-энергетических показателей автомобиля (рис. 12.7) [35], выявляют путем измерения параметров, приведенных в табл. 8.1 при помощи стендов тяговых качеств.

Диагностирование Др. Дополнительным технологическим видом диагностических работ на эксплуатационных предприятиях являются сопутствующие выполнению регулировочных работ контрольно-диагностические операции (Др), которые производятся на постах обслуживания и ремонта с помощью передвижных средств диагностирования или посредством оборудования, дублирующегося с Д-1 и Д-2. В то же время они не заменяют Д-1 и Д-2.

Регулировочные работы включают регулировочные операции по восстановлению работоспособности агрегатов, механизмов и систем автомобиля с помощью предусмотренных в них регулировочных устройств, до

уровня, требуемого правилами, нормами технической эксплуатации автомобиля или техническими условиями (например, величины зазоров, люфтов, частоты оборотов коленчатого вала двигателя на холостом ходу, свободного хода педали сцепления и др.).



Рис. 12.7. Схема последовательности причин потерь колесной мощности и снижения топливной экономичности автомобиля в эксплуатации

Крепежные работы состоят из проверки состояния резьбовых соединений деталей (болтов, шпилек, шплинтов) и крепления их (подтяжки), постановки крепежных деталей взамен утерянных и замены негодных.

Диагностирование D_k . Контрольное диагностирование производится как обязательное заключительное воздействие на машину при техническом обслуживании для контроля систем, определяющих безопасность движения, после текущего ремонта. Его назначение и состав технологических операций аналогичен диагностированию $D-1$, применяемому на эксплуатационных предприятиях.

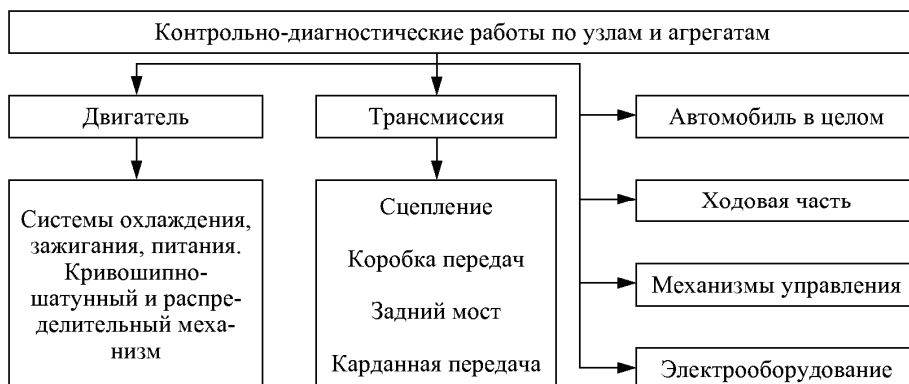
Контрольно-диагностические работы заключаются в контроле состояния или работоспособности агрегатов, механизмов, приборов, систем и автомобиля в целом по внешним признакам (выходным параметрам) без разборки или вскрытия механизмов (рис. 12.8).

Пример перечня параметров, используемых при проведении общего и углубленного диагностирования дизеля приведен в табл. в табл. 12.2.

Контрольно-диагностические работы служат для определения технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов без их разборки и являются элементом управления технологическими процессами обслуживания и ремонта подвижного состава. Объем контрольно-диагностических работ для современных автомобилей составляет по отношению к объему исполнительской части около 30 %.

**Перечень параметров, используемых при проведении общего
и углубленного диагностирования дизеля**

Диагностируемые системы и механизмы	Диагностические параметры	Д1	Д2
Дизель	Частота вращения коленчатого вала	+	–
	Мощность двигателя	+	–
	Удельный расход топлива	+	–
Кривошипно-шатунный механизм	Шумы и стуки	–	+
Цилиндропоршневая группа	Компрессия в отдельных цилиндрах	–	+
	Количество газов, прорвавшихся в картер	–	+
Система воздухоподачи	Степень загрязненности воздухоочистителя	–	+
	Герметичность впускного воздушного тракта	–	+
Система топливоподачи	Пропускная способность фильтрующих элементов грубой и тонкой очистки	–	+
	Давление впрыска и качество распыла топлива форсунками	–	+
	Производительность топливного насоса	–	+
	Степень неравномерности подачи топлива элементами топливного насоса	–	+
	Угол опережения впрыска топлива	–	+
	Частота вращения кулачкового вала топливного насоса	–	+
Система смазки	Давление масла	+	–
	Частота вращения центрифуги	–	+
	Продолжительность вращения центрифуги	–	+
Механизм газораспределения	Плотность прилегания клапанов	–	+
	Зазоры между элементами механизма	–	+
	Угол начала открытия впускных клапанов	–	+
	Стук и шумы	–	+
Система охлаждения	Натяжение ремня вентилятора	+	–



**Рис. 12.8. Схема контрольно-диагностических работ агрегатов
при ТО автомобиля**

При диагностировании выявляют автомобили, техническое состояние которых не отвечает требованиям безопасности движения, а перед ТО определяют потребность в устранении неисправностей или проведении ремонта, контролируют качество ТО и ТР, определяют возможность исправной работы агрегатов и механизмов автомобиля в предстоящем межконтрольном пробеге, собирают и обрабатывают информацию, необходимую для управления производством.

Электротехнические работы заключаются в проверке внешнего состояния источников электроэнергии (аккумуляторной батареи, генератора с реле-регулятором и выпрямителем переменного тока) и потребителей электроэнергии (приборов батарейной системы зажигания, стартера, приборов освещения и сигнализации и контрольных измерительных приборов), очистки от пыли, грязи и следов окисления контактных соединений, устранения неисправностей в результате диагностирования систем электрооборудования автомобиля.

Работы по системе питания двигателя включают проверку внешнего состояния приборов системы питания (карбюратора, топливного насоса, воздушного фильтра и др.) герметичности трубопроводов, устранение неисправностей и регулировку по результатам диагностики.

Смазочно-очистительные работы включают периодическое пополнение и смену масла в картерах агрегатов (двигателе, коробке перемены передач и др.), смазку подшипников и шарнирных соединений трансмиссии, ходовой части, рулевого управления и кузова, заправку автомобиля специальными жидкостями (тормозной, амортизаторной), очистку всех фильтров, замену фильтрующих элементов и отстойников системы смазки.

Шинные работы состоят из проверки внешнего состояния шин (покрышек) с целью установления необходимости ремонта, удаления из протектора покрышек застрявших острых предметов, проверки внутреннего давления и доведения его до необходимого. Кроме того, шинные работы при ТО могут включать перестановку и замену шин.

Контрольные работы после обслуживания состоят из проверки работы двигателя, действия тормозов управления и других агрегатов и механизмов.

Диагностирование Д_{зв}. Такое диагностирование производится по заявкам клиентов, в основном как предварительный контроль. При выполнении этого вида диагностирования в полном объеме используется технология обычного Д-2. Однако владелец машины имеет право заказать и частичный объем диагностирования Д-2 (Д_{зв}) с выполнением на соответствующем участке последующих работ технического обслуживания и ремонта, а затем контроля на участке Д_к. В связи с этим трудоемкость Д_{зв} является переменной величиной, что требует более четкого учета перечней выполняемых операций. Д-2 проводят также по заявкам перед ТР в случаях необходимости выявления неисправностей и определения потребного объема ремонта.

Диагностирование Д_э. Под быстродействующим («экспресс») диагностированием (Д_э) понимается технический контроль ускоренными методами по ограниченному числу параметров в основном механизмов и систем

транспортных машин, отказы которых могут вызвать аварийные ситуации или отрицательное влияние на окружающую среду. При Д_э по принципу «годен – не годен» (к дальнейшей эксплуатации) проверяются эффективность действия тормозов, рулевого управления, состояние шин (элементов движителя), устройств сигнализации, внешних световых приборов и состав отработавших газов. Этот вид быстродействующего диагностирования производится выборочно, чаще на дорожных постах служб безопасности движения, а иногда и на станциях технического обслуживания транспортных машин. Он близок по составу операций к Д–1, но не требует выявления конкретных неисправностей.

Диагностирование Д_г, Д_а, Д_п. При годовом техническом осмотре транспортных машин государственными органами безопасности дорожного движения могут использоваться как средства диагностирования Д–1 систем обеспечения безопасности движения, так и средства, входящие в состав Д–2 (для проверки расхода топлива, состава отработавших газов, потерь в трансмиссии, элементов карданных передач, подвесок, гидро- и пневмоусилителей и т.д.). Производится диагностирование (Д_г) в объеме Д–1 и Д–2. На ремонтных заводах диагностированию отводятся специфические функции контроля качества ремонта в период приработки агрегатов (Д_а) – диагностирование агрегатов. Выборочно, примерно в объеме Д–1 и Д–2, плановый контроль (Д_п) проводится на специальных станциях диагностирования.

12.8 Бортовые и наземно-бортовые автоматизированные системы контроля технического состояния автомобилей

Для повышения эффективности оценки работоспособности машин все больше 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 стендам или переносным приборам. Встроенные датчики, как правило, применяются в системах смазки, охлаждения, гидро- и пневмопривода. Это позволяет исключать утечку и загрязнение рабочей жидкости или значительно сокращать подготовительное время для диагностирования объекта.

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. К числу непрерывно контролируемых параметров относятся: уровни и температура рабочих жидкостей, давление в системах смазки и тормозов, зарядка аккумуляторных батарей и др. При наличии бортовых систем диагностирования информация о работоспособности системы и сборочных единиц поступает машинисту через стрелочные или цифровые ука-

затели, звуковые или световые сигналы. В отдельных случаях целесообразно по команде датчика осуществлять автоматический останов машины или другие воздействия с целью исключения аварийного состояния или выброса рабочей жидкости, находящейся под давлением.

Встроена 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. В этом и заключается третья задача диагностирования.

Следующая задача диагностической информации – контроль качества технологических процессов подготовки автомобилей к эксплуатации.

Организация использования диагностической информации должна идти путем усовершенствования нормативно технологической документации, обоснования типизирующих решений и автоматизации процессов диагностирования.

Основное назначение диагностики – правильно определить техническое состояние объекта и оптимально руководить им с учетом его состояния. Цель оптимизации – достижение минимума материальных и трудовых расходов при ранее определенном уровне коэффициентов технической готовности парка автомобилей.

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, заноса ее в базу данных конкретного ТС. Разработанная на основе современных ИТ-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, контроле 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, вести постоянный мониторинг картографического положения автомобиля в процессе движения его по маршруту следования [72], но и оценивать его техническое состояние по определенным параметрам электронных блоков управления механизмами и системами автомобиля, в том числе, и дизельного двигателя.

Принцип работы БСКД транспортного средства заключается в регистрации события в координатах времени и накоплении данные 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.д.). Кроме того, водитель может получать маршрутную информацию (пробег с начала поездки, средний путевой расход топлива и т.д.) 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 дизеля на сервисных станциях и ремонта на предприятиях.

12.9 Определение спроса на автомобильные услуги

Определение основных показателей потребности региона в услугах автосервиса [60]. На основании исходных данных (численности жителей региона, насыщенности региона легковыми автомобилями, динамики их из-

менения и др.) до текущего момента и на перспективу определяются следующие показатели:

- число легковых автомобилей в регионе;
- годовые пробеги автомобилей (по моделям);
- наработка, тыс. км, на один заезд автомобиля на СТО;
- годовое число заездов автомобилей региона на СТО.

Число легковых автомобилей в регионе

$$N_i = A_i n_i / 1000, \quad (12.1)$$

где A_i – численность жителей региона в i -й момент времени; n_i – насыщенность региона легковыми автомобилями в i -й момент времени ($i = 1$ – текущий момент; $i = 2$ – перспектива).

Например: для $i = 1$, $A_1 = 48000$ жителей, $n_1 = 100$ автомобилей

$$N_1 = 48000 \cdot 100 / 1000 = 4800 \text{ автомобилей};$$

для $i = 2$, $A_2 = 78000$ жителей, $n_2 = 150$ автомобилей

$$N_2 = 78000 \cdot 150 / 1000 = 11700 \text{ автомобилей}.$$

При определении динамики изменения числа легковых автомобилей в регионе или насыщенности ими региона задаваемый временной лаг от момента времени $t_i = m$ должен составлять не менее 5 лет.

Решение данной задачи может базироваться на использовании логистической зависимости, учитывающей динамику изменения насыщенности населения региона легковыми автомобилями в прошлом, состояния насыщенности в настоящем и будущем.

Произведем расчет в условиях этого примера времени, необходимого для достижения насыщенности населения автомобилями

$$n_2 = n_{\max} = 150 \text{ авт./1000 жит.}$$

Изменение насыщенности от времени t имеет вид:

$$n_t = \frac{n_{\max} n_m}{n_m + (n_{\max} - n_m) \exp[-q n_{\max} (t - m)]}, \quad (12.2)$$

где n_m – насыщенность населения региона легковыми автомобилями на текущий год ($t = m$); n_{\max} – предельное значение насыщенности; q – коэффициент пропорциональности, характеризующий интенсивность изменения насыщенности; m – индекс (номер) текущего года.

В выражении (12.2) q примет вид:

$$q = - \frac{\sum_{t=1}^m (\Delta n_t n_t^2) - n_{\max} \sum_{t=1}^m (\Delta n_t n_t)}{n_{\max}^2 \sum_{t=1}^m n_t^2 - 2 n_{\max} \sum_{t=1}^m n_t^3 + \sum_{t=1}^m n_t^4}, \quad (12.3)$$

где n_t – значение насыщенности в t -м году, Δn_m – прирост насыщенности от $(t - 1)$ -го до t -го года, то есть

$$\Delta n_t = n_t - n_{t-1}. \quad (12.4)$$

Например, для исходных данных, представленных в табл. 12.3, характеризующих изменение насыщенности за годы, предшествующие текущему (то есть за $t < m$) и на текущий год ($t = m$), значения коэффициента q и насыщенности n_t (для $t \geq m$) равны

$$q = -\frac{(2 \cdot 50^2 + 10 \cdot 60^2 + 17 \cdot 75^2 + 25 \cdot 100^2) - 150(2 \cdot 50 + 17 \cdot 60 + \dots + 17 \cdot 75 + 25 \cdot 100)}{150^2(50^2 + 60^2 + 75^2 + 100^2) - 2 \cdot 150(50^3 + 60^3 + 75^3 + 100^3) + \dots + (50^4 + 60^4 + 75^4 + 100^4)} = 0,0024673;$$

для 2003 г., то есть для $t = m = 4$, насыщенность равна

$$n_1 = n_m = 100 \text{ авт./1000 жит.};$$

для $t = 5$ (2004 г.):

$$n_{t=5} = \frac{150 \cdot 100}{100 + (15 - 100) \exp[-0,0024673 \cdot 150(5 - 4)]} = 115,5 \text{ авт./1000 жит.};$$

для $t = 6$ (2005 г.):

$$n_{t=6} = \frac{150 \cdot 100}{100 + (15 - 100) \exp[-0,0024673 \cdot 150(10 - 4)]} = 121,1 \text{ авт./1000 жит.};$$

для $t = 10$ (2009 г.):

$$n_{t=10} = \frac{150 \cdot 100}{100 + (15 - 100) \exp[-0,0024673 \cdot 150(6 - 4)]} = 142,3 \text{ авт./1000 жит.}$$

Таким образом, заданная (перспективная) предельная насыщенность населения автомобилями

$$n_2 = n_{\max} = 150 \text{ авт./1000 жит.};$$

может быть достигнута через

$$11 - 4 = 7 \text{ лет.}$$

Графическая иллюстрация прогноза изменения насыщенности региона автомобилями представлена на рис. 12.9.

Годовое количество обращений (заездов) автомобилей региона на действующие СТО равно

$$N_{\Gamma i} = N_i \beta_i \frac{\bar{L}_{\Gamma i}}{\bar{L}_i}, \quad (12.5)$$

где i – индекс текущего (1) периода и перспективы (2); β_i – доля владельцев автомобилей, пользующихся услугами СТО; $\bar{L}_{\Gamma i}$ – среднегодовой пробег автомобилей; \bar{L}_i – средняя наработка автомобиля на обращение на СТО.

Таблица 12.3

Пример динамики изменения насыщенности региона легковыми автомобилями на текущий и предшествующие ему годы

Годы T_i	Годы t_i , ($t_i = T_i - 1999$)	Насыщенность n_i , авт./1000 жит.	Прирост насыщенности Δn_i
1999	0	48	0
2000	1	50	2
2001	2	60	10
2002	3	75	17
2003	4 = m	100	25

Примечание: Насыщенность региона n_i для $t \leq m$ определяется на основе статистических отчетных данных.

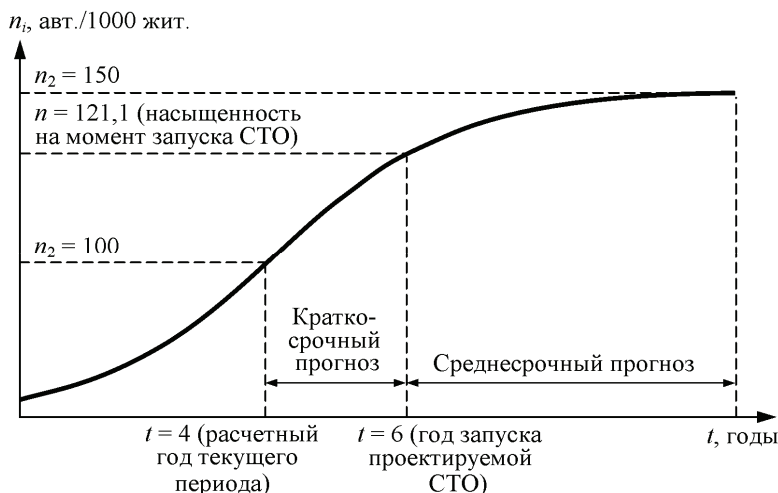


Рис. 12.9. Прогноз насыщенности региона автомобилями

Например, для $i = 1$ (2003 г.); $\beta_1 = 0,3$; $\bar{L}_{\Gamma 1} = 15$ тыс. км, $\bar{L}_1 = 8$ тыс. км; $N_{\Gamma 1} = 4800 \cdot 0,3 \cdot 15/8 = 2700$ обращений; для $i = 2$ (после 2009 г.); $\beta_2 = 0,45$; $\bar{L}_{\Gamma 2} = 15$ тыс. км; $\bar{L}_2 = 8$ тыс. км; $N_{\Gamma 2} = 11\,700 \cdot 0,45 \cdot 15/8 = 9872$ обращения.

Оценка спроса на услуги автосервиса в регионе [60]. В упрощенном виде оценка может базироваться на результатах экспертной оценки текущего состояния спроса и перспектив развития для рассматриваемой совокупности СТО региона.

В рамках текущего состояния спроса для действующих СТО региона оценка осуществляется по следующим показателям:

- фактическое годовое число обращений на k -ю СТО, M_k ;

– удовлетворение спроса на k -й СТО, W_k , %.

В то же время необходимо проведение экспертной оценки действующих СТО с точки зрения их ближайших перспектив развития на временном лаге, равном $t_{\text{л}} = 2 \dots 3$ годам, в течение которых предусматривается создание и согласование проектно-разрешительной документации, строительство и ввод в действие новой, конкурирующей с ними организации в рассматриваемом регионе.

При этом экспертиза проводится по показателям, оценивающим возможность увеличения числа обращений после развития конкретного СТО, что определяется:

- как правило, сложившейся конъюнктурой рынка услуг по ТО и ремонту автомобилей в регионе и динамикой ее изменения, выявляемой на основе опыта компетентных представителей (экспертов) рассматриваемых СТО;
- финансовыми возможностями развития СТО;
- наличием земельного участка, его достаточной площадью, производственными площадями и их резервом, технической возможностью реконструкции и расширения СТО.

Экспертами в выбранных организациях выступают компетентные специалисты, занимающиеся вопросами менеджмента, маркетинга, управления производством (технический директор, коммерческий директор, его заместители, специалисты планирующих подразделений, сервис-менеджер и менеджер по приемке и выдаче автомобилей, мастера, начальник производства, начальники смен и др.).

Оценка удовлетворенного и неудовлетворенного спроса проводится на основе данных, характеризующих фактическое годовое число обращений M_k и процент удовлетворения спроса на k -й СТО W_k .

В данном случае под удовлетворенным спросом понимается число обслуженных на СТО автомобилей (число обслуженных заездов). Причем необходимо иметь в виду, что общий годовой спрос M , то есть фактическое число заездов на рассматриваемые СТО, может превышать годовое число заездов автомобилей рассматриваемого региона $N_{\Gamma i}$ (для $i = 1$), поскольку данные СТО могут обслуживать автовладельцев других районов.

Удовлетворенный спрос по k -й СТО

$$M_{yk} = M_k W_k / 100, \quad (12.6)$$

где k – индекс (номер) СТО; W_k – удовлетворенный спрос, %.

Общий годовой спрос

$$M = \sum_{k=1}^K M_k. \quad (12.7)$$

Общий удовлетворенный годовой спрос на всех СТО

$$M_y = \sum_{k=1}^K M_{yk}. \quad (12.8)$$

Неудовлетворенный спрос по всем СТО для всех моделей автомобилей

$$M_{ny} = M - M_y. \quad (12.9)$$

Если величины общего годового спроса M больше годового числа обращений $N_{Г1}$ на текущий период, то можно определить годовой спрос клиентуры из других регионов, то есть

$$M' = M - M_{Г i=1}. \quad (12.10)$$

Максимальный годовой спрос на дальнюю перспективу ($i = 2$) с учетом обслуживания клиентуры других регионов может быть приближенно определен из выражения

$$M_{\Sigma} \geq \begin{cases} N_{Г i=2} + M', & \text{если } M' > 0; \\ N_{Г i=2}, & \text{если } M' \leq 0. \end{cases} \quad (12.11)$$

Пример результатов расчета для предварительно выявленных «а основе экспертизы значений M_k и W_k по двум действующим СТО представлен в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Оценка удовлетворенного спроса, число обращений, на услуги автосервиса в регионе на текущий период (пример)

№ СТО	Годовой спрос M_k	Удовлетворение спроса W_k , %	Удовлетворенный спрос M_{yk}
1	2200	80	1760
2	2800	70	1960
Итого	5000	75	3720

Величина неудовлетворенного спроса на текущий период равна

$$M_{ny} = 5000 - 3720 = 1280 \text{ обращений.}$$

Это составляет 25,6 % от общего годового спроса. Число обращений на СТО клиентуры других регионов составляет

$$M' = 5000 - 2700 = 2300.$$

Максимальный годовой спрос на дальнюю перспективу ($i = 2$), то есть через $t \geq 8$ лет, будет равен:

$$M_{\Sigma} \geq 9872 + 2300,$$

то есть более чем 12 172 обращения.

Таким образом, через 7 лет, по сравнению с сегодняшним состоянием, появляется необходимость в потенциальном дополнительном удовлетворении ТО и ремонта автомобилей на СТО региона в размере

$$12172 - 720 = 8452 \text{ обращения.}$$

На основе полученных результатов и их анализа может быть принято решение о строительстве новой СТО, поскольку на текущий момент времени имеет место значительный неудовлетворенный спрос на услуги. Тем более через 8 лет значение спроса на услуги вырастет значительно, то есть более чем в 2,4 раза. Однако для получения более точных результатов требуется проведение расчетов, связанных с оценкой динамики изменения спроса на услуги автосервиса в регионе и на его основе определения рациональном мощности строящейся СТО.

Прогнозирование динамики изменения спроса на услуги автосервиса в регионе [60]. При оценке прогнозируемых объемов услуг размер временного лага определяется продолжительностью создания и согласования проектно-разрешительной документации, строительством и вводом в действие новой СТО и, как правило, составляет 2...3 года. При этом решение данной задачи также может базироваться на использовании логистических функций с учетом текущего M и максимального перспективного годового M_{Σ} спросов на услуги, а также скорости изменения спроса, выражаемой через коэффициент пропорциональности ϕ , достигнутый спрос y и потенциальную величину неудовлетворенного спроса $M_{\Sigma} - y$. При заданной или имеющейся динамике изменения спроса $y_p = f(t)$ на ретроспективном периоде, то есть за m лет до рассматриваемого текущего момента $\{t_i\} \leq m$, имеется возможность в определении для задаваемого временного лага коэффициента пропорциональности ϕ и прогнозных значений изменения спроса на услуги по ТО и ремонту легковых автомобилей y_i , на СТО рассматриваемого региона.

При этом коэффициент ϕ и значения спроса на услуги по годам y_i , определяются из выражений:

$$\phi = - \frac{\sum_{t=1}^m (\Delta y_t y_t^2) - M_{\Pi} \sum_{t=1}^m (\Delta y_t y_t)}{M_{\Pi}^2 \sum_{t=1}^m y_t^2 + 2 M_{\Pi} \sum_{t=1}^m y_t^3 + \sum_{t=1}^m y_t^4}. \quad (12.12)$$

и

$$y_t = \frac{M_{\Pi} M}{M + (M_{\Pi} - M) \exp[-\phi M_{\Pi} (t - m)]}. \quad (12.13)$$

где t – номера годов, относительно которых определяется динамика изменения спроса; m – номер текущего года; y_t – значение спроса в t -м году; Δy_t – прирост спроса от $(t - 1)$ -го до t -го года, то есть

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}. \quad (12.14)$$

Например, для исходных данных, представленных в табл. 12.5, характеризующих изменение и прирост спроса на услуги по ТО и ремонту на текущий $t = m$ и предшествующие $t < m$ ему годы, значение коэффициента ϕ

равно:

$$\varphi = - \frac{(0,1 \cdot 3,1^2) + (0,4 \cdot 3,5^2) + (0,5 \cdot 4,0^2) + (1 \cdot 5,0^2) -}{12,17^2(3,1^2 + 3,5^2 + 4,0^2 + 5,0^2) - 2 \cdot 12,17(3,1^3 + 3,5^3 + 4,0^3 + 5,0^3) + \dots} \dots$$

$$\dots - \frac{12,17(0,1 \cdot 3,1 + 0,4 \cdot 3,5 + 0,5 \cdot 4,0 + 1 \cdot 5,0)}{(3,1^4 + 3,5^4 + 4,0^4 + 5,0^4)} = 0,01652.$$

Таблица 12.5

Пример динамики изменения спроса на услуги по ТО и ремонту автомобилей на текущий и предшествующие ему годы

Годы T_i	Годы t_i , ($t_i = T_i - 1999$)	Изменение спроса на услуги y_i , тыс. обращений в год	Приросты измене- ния спроса Δy_i , тыс. обращений в год
1999	0	3,0	0
2000	1	3,1	0,1
2001	2	3,5	0,4
2002	3	4,0	0,5
2003	$4 = m$	5,0	1,0

Примечание: Изменение спроса y_i , для $t \leq m$ определяется на основе статистических отчетных данных

Прогнозная оценка динамики изменения спроса на услуги y , в регионе на временном лаге, соответствующем окончанию строительства и запуска СТО, равном 2 годам (то есть для $t = 4$, $t = 5$ и $t = 6$):

– спрос на конец текущего года ($t = m = 4$)

$$y_{t=4} = \frac{12,17 \cdot 5,0}{5,0 + (12,17 - 5) \exp[-0,01652 \cdot 12,17(4 - 4)]} = 5,0 \text{ тыс. обращений в год;}$$

– спрос на конец 1-го года после проектной отработки и начала строительства СТО (для $t = 5$)

$$y_{t=4} = \frac{12,17 \cdot 5,0}{5,0 + (12,17 - 5) \exp[-0,01652 \cdot 12,17(5 - 4)]} = 5,6 \text{ тыс. обращений в год;}$$

– спрос на конец 2-го года и окончания строительства СТО (для $t = 6$)

$$y_{t=4} = \frac{12,17 \cdot 5,0}{5,0 + (12,17 - 5) \exp[-0,01652 \cdot 12,17(6 - 4)]} = 6,21 \text{ тыс. обращений в год.}$$

Таким образом, разрыв между спросом на 6-й год и текущим удовлетворенным спросом (для $t = m = 5$) составляет

$$(6210 - 3720) = 2490 \text{ обращений.}$$

В свою очередь, прогнозируемый спрос на услуги по k -й СТО на бли-

жайшую перспективу с учетом ее развития (на основе экспертизы, проводимой с учетом требований, изложенных ранее) определяется из выражения

$$M_{\Pi k} = M_{yk} - \alpha_k, \quad (12.15)$$

где α_k – возможное увеличение числа обращений на СТО на ближайшую перспективу с учетом ее развития, полученное на основе экспертных оценок.

Например, для предварительно определенных α_k для 1-й и 2-й СТО, равных $\alpha_1 = 1,3$ и $\alpha_2 = 1,4$ соответственно, значения $M_{\Pi k}$ будут:

$$M_{\Pi 1} = 1760 - 1,3 = 2288 \text{ обращений};$$

$$M_{\Pi 2} = 1960 - 1,4 = 2744 \text{ обращения.}$$

Общее возможное (прогнозируемое) число обращений на существующие СТО региона с учетом их развития

$$M_{\Pi} = \sum_{k=1}^K M_{\Pi k}. \quad (12.16)$$

Для нашего примера M_{Π} равно:

$$M_{\Pi} = 2288 + 2744 = 5032 \text{ обращения.}$$

С учетом спроса на услуги на конец 2-го года, то есть окончания строительства и возможного ввода в действие новой СТО ($y_{\Pi} = y_{t=6}$), дополнительный спрос на услуги составит:

$$M_{\partial y} = y_{\Pi} - M_{\Pi}. \quad (12.17)$$

Для рассматриваемого примера дополнительный спрос составит:

$$M_{\partial y} = 6210 - 5032 = 1178 \text{ обращений.}$$

Таким образом, окончательно принимается:

$$M_{\partial y} \leq 1200 \text{ обращений.}$$

Графическая иллюстрация изменения спроса на услуги представлена на рис. 12.10.

Анализ результатов, представленных на рис. 12.10, показывает, что при перспективном максимальном годовом спросе $M_{\Sigma} = 12172$ обращения, на момент запуска строящейся СТО ($t = 6$, $T_i = 2005$ г.) общий спрос в рассматриваемом регионе составит $y_{t=6} = y_{\Pi} = 6216$ заездов. В то же время возможное прогнозируемое годовое число обращений на существующие СТО составит $M_{\Pi} = 5032$. Следовательно, потенциальный дополнительный спрос на услуги в регионе на момент запуска проектируемой СТО $M_{\partial y}$ составит 1178 обращений.

На данном рисунке $M_y = 3720$ представляет собой величину удовле-

творенного годового спроса в регионе на текущий период ($t = 4$).

В свою очередь, условно прикрепленное число автомобилей к проектируемой СТО составит:

$$A = \frac{M_{dy}}{(\bar{L}_{Г2}/\bar{L}_2)\beta_2}. \quad (12.18)$$

Для рассматриваемого примера:

$$A = \frac{1178}{(15/8)0,45} = 1396 \text{ автомобилей.}$$

Среднее число заездов одного автомобиля на проектируемую СТО в год составит:

$$\bar{d} = \frac{M_{dy}}{A}. \quad (12.19)$$

Для рассматриваемого примера:

$$\bar{d} = 1178 / 1396 = 0,844 \text{ обращения в год.}$$

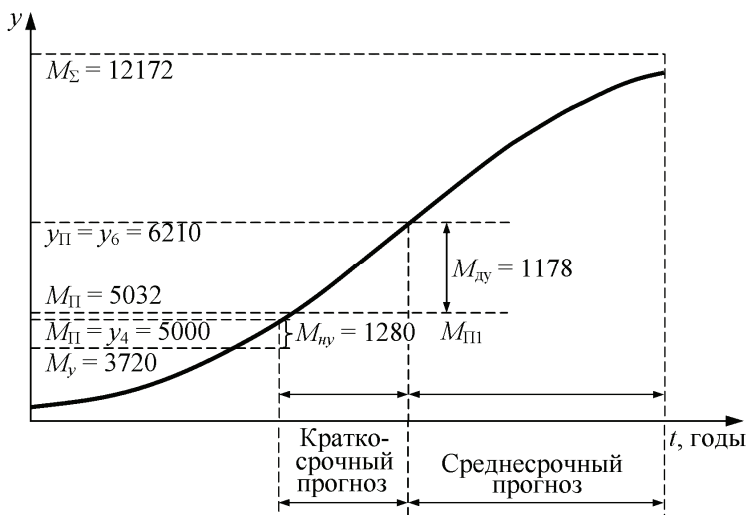


Рис. 12.10. Графическая иллюстрация прогнозного изменения спроса на услуги в регионе по обслуживанию подвижного состава на множестве СТО

Аналитические параметры оценки потенциала и степени освоения рынка автосервисных услуг [60]. Парк автомобилей региона и динамика его изменения являются потенциальным рынком для реализации услуг по обслуживанию и ремонту, запасных частей и принадлежностей. На данных о парке и спросе на услуги может быть основан расчет некоторых оценоч-

ных показателей, в качестве которых могут выступать:

- сервисный потенциал рынка;
- степень освоения рынка;
- дополнительный потенциал рынка сервисных услуг и другие показатели.

Сервисный потенциал рынка определяется:

- для текущего периода ($t = 1$), при $n_1 = n_m$:

$$S_{\text{пр1}} = M t_p; \quad (12.20)$$

- дальней перспективы ($t = 2$) при выходе на максимальную насыщенность населения региона легковыми автомобилями ($n_2 = n_{\text{max}}$):

$$S_{\text{пр2}} = M_{\Sigma} t_p; \quad (12.21)$$

- ближайшей перспективы, то есть на момент ввода в действие проектируемой СТО:

$$S_{\text{пр(yn)}} = y_{\text{п}} t_p. \quad (12.22)$$

В данных выражениях t_p есть средняя трудоемкость ТО и ремонта, приходящаяся на одно обращение автомобиля на СТО.

Степень освоения рынка может быть определена:

- для текущего периода ($i = 1$):

$$S_{\text{оп1}} = M_y t_p; \quad (12.23)$$

в данном примере $S_{\text{оп1}} = 3720 t_p$ чел.-час;

- прогноза на ближайшую перспективу, то есть на момент ввода в действие проектируемой СТО:

$$S_{\text{оп2}} = M_{\text{п}} t_p; \quad (12.24)$$

в данном примере $S_{\text{оп}} = 5032 t_p$ чел.-час.

Для всех сервисных предприятий с учетом вновь создаваемого прогноз степени освоения рынка на ближайшую перспективу определяется из выражения:

$$S_{\text{пр(yn)}} \leq y_{\text{п}} t_p. \quad (12.25)$$

Например, для $t = 6$ $S_{\text{оп}} = 6210 t_p$ чел.-час.

Выражение (12.24) справедливо для действующих сервисных организаций без учета вновь создаваемого.

Дополнительный потенциал рынка сервисных услуг определяется как разность между сервисным потенциалом и степенью освоения рынка для соответствующего периода времени, то есть:

$$D_{\text{пр1}} = S_{\text{пр1}} - S_{\text{оп1}}; \quad (12.26)$$

$$D_{\text{пр}} = S_{\text{пр(yn)}} - S_{\text{оп}}. \quad (12.27)$$

Контрольные вопросы

- 1 Приведите структуру систем диагностирования и ТО на предприятиях автомобильного транспорта.
- 2 Как подразделяются предприятия автомобильного транспорта по форме организации и по последовательности выполнения работ?
- 3 Какие подразделяются формы организации диагностирования автомобильного транспорта по периодичности проведения диагностирования?
- 4 Приведите типовую планировку поточной линии со специализированными постами.
- 5 Приведите схему организации диагностирования автомобилей с ЕО, Д-1, Д-2.
- 6 Какие необходимы условия для нормальной работы зоны диагностики автомобилей?
- 7 Какая необходима документация зоны диагностики для эффективного диагностирования автомобилей?
- 8 Какие виды диагностических работ выполняются в зоне Д-1?
- 9 Какие виды диагностических работ выполняются в зоне Д-2?
- 10 Какие дополнительные технологические виды диагностических работ выполняются на предприятиях автомобильного транспорта? Объясните виды работ: Д_р, Д_к, Д_{зв}, Д_э, Д_г, Д_а, Д_п.
- 11 Какие диагностируемые системы, механизмы и диагностические параметры проверяются при выполнении работ Д-2?

13 ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

13.1 Задачи и методы оптимизации периодичности диагностирования

Автомобиль как сложная техническая система, работающая в тяжелых условиях динамических нагрузок, имеет высокую интенсивность отказов.

Изменение структуры и свойств машины неизбежны. Начиная с какого-то определенного уровня, заложенного конструкцией и технологией изготовления или восстановления, машина последовательно переходит от работоспособного состояния в неработоспособное. Время, затраченное на переход от одного состояния к другому, определяет ресурс машины. Всю совокупность возможных состояний, в которых находится машина во время эксплуатации, условно разделяют на три области: исходное, работоспособное и неработоспособное. В связи с этим значительную часть амортизационного времени он простаивает в различного рода ремонтах и обслуживании.

Время простоя оказывает определяющее влияние на затраты и техническую готовность, но техническая готовность зависит от периодичности обслуживания. Отсюда следует, что время простоя в ремонтах и обслуживании обязательно должно учитываться при определении периодичности обслуживания.

Диагностика автомобиля является основой профилактических воздействий. Под профилактикой подразумевается комплекс планируемых мероприятий, направленных на предупреждение возникновения отказов, сохранение работоспособности и обеспечение долговечности. Она включает в себя, кроме диагностики, регулировочные работы и устранение выявленных при диагностике отказов.

Универсальной характеристикой, отражающей поведение системы, является интенсивность отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(l)}{1 - F(l)},$$

где $F(l) = P\{U < l\}$ – функция распределения вероятностей отказов; U – случайная величина, соответствующая пробегу при возникновении отказов; l – пробег, км; $f(l) = F'(l)$ – функция плотности вероятности распределения отказов.

Предложенные во многих работах скорости изнашивания и потери прочности деталей [23] не универсальны, их практическое применение усложняется многими эксплуатационными факторами. Скорость процессов механического разрушения деталей зависит от структуры и свойств материала, геометрической формы и состояния поверхности, от напряжения, вызываемого нагрузкой, температуры, режимов и условий эксплуатации ма-

шины. Фундаментальным свойством прочности является ее зависимость от времени, деформация и разрушение должны характеризоваться не предельным напряжением, а скоростью деформации, разрушения и, кроме того, долговечностью – временем, нужным для разрушения. Пределы упругости, текучести, прочности являются с этой точки зрения только определенными условными характеристиками.

Интенсивность отказов отражает изменение надежности машин в процессе эксплуатации. Если сравнить характер изменения интенсивности отказов автомобиля с характером нарастания износа его агрегатов и узлов, то становится очевидной следующая закономерность (рис. 13.1) [48].

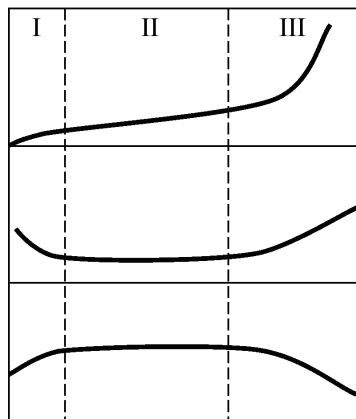


Рис. 13.1. Изменение износа, интенсивности отказов и периодичности профилактических мероприятий:

а – нарастание износа в агрегатах автомобиля; *б* – интенсивность отказов автомобиля; *в* – периодичность профилактических мероприятий

На первом этапе работы автомобиля интенсивность отказов достаточно высока и убывает по мере увеличения длительности его заботы. Здесь наблюдаются отказы, обусловленные невыявленными технологическими дефектами. На втором этапе скорость нарастания износа неизменна и интенсивность отказов остается постоянной. Третий этап эксплуатации характеризуется тем, что износ отдельных агрегатов возрастает, появляются износные отказы и интенсивность отказов увеличивается.

Совершенно очевидно, что периодичность обслуживания должна назначаться в соответствии с тем, на каком этапе эксплуатации в данный момент находится автомобиль, то есть периодичность зависит от изменения интенсивности отказов. Однако имеющиеся методы

определения периодичности профилактических воздействий практически не учитывают интенсивности отказов и ее изменения в процессе эксплуатации. Действующие рекомендации по режимам профилактических обслуживаний предусматривают периодичность обслуживания, постоянную от начала эксплуатации автомобиля до его списания.

Из рис. 13.1 видно, что интенсивность отказов остается постоянной только на этапе нормальной эксплуатации (II), когда отказы носят внезапный характер.

В период нормальной эксплуатации, когда еще не наступил износ отдельных узлов и агрегатов, надежность автомобиля будет определяться только интенсивностью возникновения внезапных отказов агрегатов.

Организовать оптимальный процесс обслуживания автомобиля можно лишь на базе диагностической информации и прогнозирования ее измене-

ния во времени. Практически прогнозирование состоит в определении периодичности диагностирования и установлении диагностических нормативов. Основу установления периодичности диагностирования составляют закономерности изменения технического состояния и экономические показатели.

Широко применяемая в настоящее время планово-предупредительная система технического обслуживания не может поддерживать необходимый уровень готовности и безотказности машин. Рассчитанные для усредненных условий нормативы технического обслуживания и ремонта (ТОР) не учитывают все процессы старения, сроки службы, индивидуальные конструктивно-технологические особенности механизмов, цикличности рабочих процессов и использования машин. Существующая система ТОР требует принципиальных изменений в сторону адаптации к фактическому состоянию машины и условиям ее использования. Адаптация ТОР к фактическому состоянию может быть обеспечена эффективными методами допустимых и предельных параметров состояния и определения остаточного ресурса.

На рис. 13.2 показана схема технического обслуживания машин, принятая в технической документации многих машин. Здесь нормальный режим работы характеризуется постоянством в среднем практически всех параметров трения, наблюдается стабилизация физико-механических свойств взаимодействия элементов. Отказы наступают только при значительных концентрациях нагрузок. Поэтому преимущественно имеют место внезапные отказы.

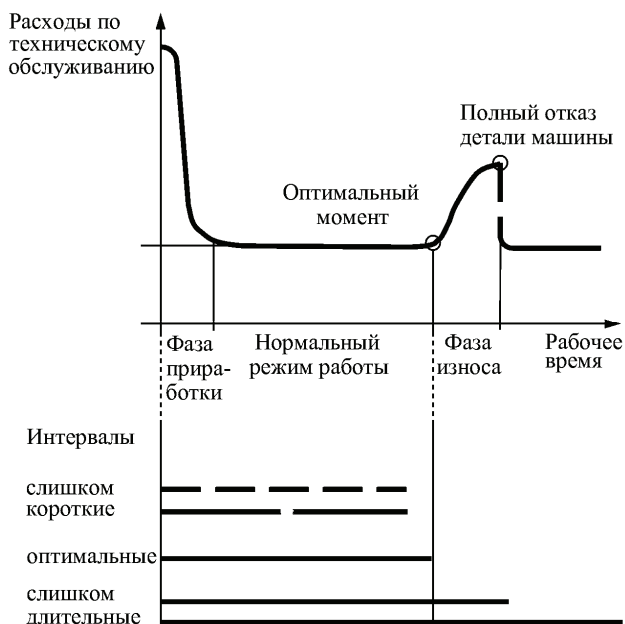


Рис. 13.2. Схема расходов по техническому обслуживанию машин при эксплуатации

Расчет рациональной периодичности диагностирования зависит от видов технического обслуживания и ремонта автомобиля, пробега между ремонтами, а также от простоя на время обслуживания. Чтобы иметь полную и достоверную информацию о техническом состоянии автомобиля, необходимо как можно чаще проводить его контроль, учитывая при этом, что режимы диагностирования требуют значительных затрат времени, средств и определенной квалификации обслуживающего персонала. С другой стороны, чем меньше проверок, тем меньше затрат. Но уменьшение затрат может привести к внеплановым ремонтам, а в худшем случае – к аварийным ситуациям. Поэтому время между операциями диагностирования должно быть величиной оптимальной. Достичь оптимальной периодичности диагностирования можно при регулярном изменении диагностических параметров с помощью бортовых систем контроля.

Основными исходными данными для определения периодичности диагностирования являются:

- назначение автомобиля;
- условия эксплуатации (дорожные, климатические, нагрузочные и т.д.);
- условия исходной надежности и качества (технический уровень проектирования и изготовления);
- организационно-технические ограничения (наличие требуемого оборудования и т.п.).

Основными методами определения периодичности диагностирования являются:

- аналогий и уточнений;
- визуальный;
- по допустимому уровню безотказности;
- технико-экономический.

Метод аналогий и уточнений – применение нормативов ТО с автомобилей-прототипов (аналогов). Этот метод базируется на аксиоме о полезности учебы на ошибках других, но во многих случаях этот метод может давать существенные ошибки. Например, в схожих по конструкции двигателях могут использоваться масла, произведенные из разной нефти; периодичность замены масла в этом случае не обязательно должна быть одинаковой. Кроме того, мы не всегда можем быть уверены, что режимы обслуживания автомобиля-прототипа являются оптимальными.

Визуально-диагностический метод – периодичность ТО определяется на основе внешнего осмотра или диагностики (долив масла, моечные операции, крепежные операции и т. п.). Этот метод приемлем только для легко и постоянно наблюдаемых объектов.

Метод определения периодичности ТО по допустимому уровню безотказности может быть применен при известных законах распределения вероятностей наработки до отказа обслуживаемой системы. Например, при уменьшении зазора до нулевого значения возникает необходимость регулировки теплового зазора в газораспределительном механизме (ГРМ). Наработка до этого момента зависит от интенсивности изменения зазора в про-

цессе эксплуатации и является случайной величиной, распределенной по некоторому закону.

Принято считать, что безотказность систем автомобиля, отвечающих за его безопасность, должна быть не менее 0,95, а всех остальных систем – 0,8. Задаваясь требуемой безотказностью, по кривой закона распределения вероятностей всегда можно найти требуемую периодичность ТО. Можно заметить, что выбор величины безотказности во многом субъективен, и метод не учитывает многих весьма существенных других условий эксплуатации автомобиля.

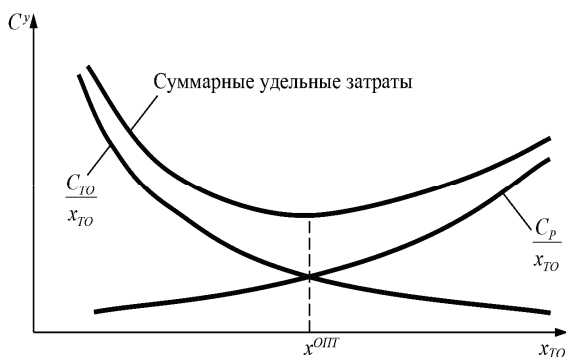
Технико-экономический метод основан на минимизации суммарных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобиля. Затраты на ТО $C_{ТО}$ и ремонт C_P для установленной технологии выполнения работ являются некоторыми постоянными величинами (рис. 13.3). Периодичность ТО $x_{ТО}$ является искомой величиной, а ресурс обслуживаемого агрегата x_P является некоторой функцией периодичности ТО (чем реже будет производиться ТО агрегата, тем меньше будет его ресурс). Характер изменения удельных затрат

$$C_{ТО}^y = \frac{C_{ТО}}{x_{ТО}}; \quad C_P^y = \frac{C_P}{x_P}$$

показан на рис. 13.3. По минимуму суммарных затрат

$$C_{\Sigma} = C_{ТО}^y + C_P^y$$

можно найти оптимальную периодичность ТО $x_{ТО}^{ОПТ}$, обеспечивающую минимальные издержки на обслуживание и ремонт автомобиля. Аналитически оптимальную периодичность ТО можно найти как экстремум целевой функции суммарных затрат из условия



$$\frac{dC_{\Sigma}}{dx_{ТО}} = 0.$$

Рис. 13.3. Определение периодичности ТО по минимуму суммарных затрат

Конкретный расчет оптимальной периодичности ТО зависит от особенностей обслуживаемой системы. Можно считать, что автомобиль состоит из основных и вспомогательных систем. Основные системы обеспечивают выполнение автомобилем своих функций как транспортного средства (колеса, подвеска, двигатель, трансмиссия и т. п.), а вспомогательные – условия нормального функционирования основных систем (смазка, фильтры и т. п.). При ТО воздействуют,

главным образом, на вспомогательные системы, которые по своему влиянию на безотказность автомобиля можно разделить на параллельно или последовательно включенные (по аналогии с елочной гирляндой).

Вспомогательные системы, при отказе которых автомобиль не теряет работоспособности, но начинает быстрее ухудшать свои эксплуатационные показатели, можно считать включенными параллельно. Вспомогательные системы, при отказе которых автомобиль тоже отказывает, можно считать последовательно включенными. По мере работы автомобиля вспомогательные системы могут менять свои характеристики постепенно (плавно) или скачкообразно (дискретно).

Предложенная классификация вспомогательных систем позволяет получить три расчетные формулы, с помощью которых можно определять оптимальную периодичность ТО многих реальных систем автомобиля.

На стадии фазы износа вследствие накопления необратимых изменений в элементах механизмов под воздействием всех внутренних и внешних факторов наступает период, когда сопротивляемость нагрузкам заметно снижается, то есть наблюдается процесс интенсивного изнашивания, который для пары трения характеризуется резким увеличением коэффициента трения, скорости изнашивания, температуры, ухудшением условий смазки, увеличением линейного износа деталей и повышением зазоров в сопряжениях. Постоянное накопление повреждений в результате изнашивания, усталости, пластической деформации, коррозии, диффузии и других физико-химических процессов является прямой причиной отказов по схеме накопления изменений. Этот период характеризуется повышенной вероятностью как внезапных, так и постоянных отказов, возникающих из-за старения технической системы, закономерных изменений материалов и структурных параметров.

Согласно рис. 13.2 любая стратегия технического обслуживания во время нормальной эксплуатации машин обеспечивает максимальную экономическую эффективность при проведении профилактического ремонта в «оптимальный момент», а именно, к началу возникающей неисправности. Такие рекомендации всегда эффективны с точки зрения технической и экологической безопасности для технического обслуживания автомобилей. Однако вывод из эксплуатации автомобилей на этой стадии может быть неэффективен для многих элементов машин, поскольку приводят к недоиспользованию ресурса «фазы износа» $t_1 - t_3$ (см. рис. 3.4). К тому же диагностирование зарождающейся неисправности усложняет методы диагностирования. Выработка машинами ресурса на участке «нормальный режим работы» (см. рис. 13.2) составляет, в зависимости от технического уровня проектирования, в основном 75...80 % от общего ресурса машины (см. рис. 3.4). Профилактическая замена деталей и профилактический ремонт весьма дорого обходятся потребителям машин. Практика требует разработки такой периодичности диагностирования, методов и средств, позволяющих использование части ресурса «фазы износа» (см. рис. 13.2) и планирования изменения режимов эксплуатации машины и срока физически обоснованного ремонта, не доводя влияние неисправности на состояние других механизмов

и аварийного состояния изнашивания.

Сложность решения такой задачи заключается в том, что количественная характеристика периода нормальной работы и скорость накопления дефектов определяются уровнем конструкторско-технологического совершенства разработки машины (см. рис. 2.1, 2.2, 3.2, 3.4, 3.5, 3.6) скоростными, нагрузочными, температурными и другими условиями эксплуатации. Разное влияние этих многочисленных факторов по наработке на техническое состояние сопряжений деталей и механизмов машин требуют на стадии фазы износа (см. рис. 3.4, 10.5) индивидуальной периодичности диагностирования (стадии «требуется принятия мер»). При применении ручных аппаратных средств и стационарного диагностического оборудования уменьшения периодичности контроля параметров состояния приводит к повышению стоимости диагностических работ и оправдан при применении эффективных автоматизированных диагностических бортовых и внешних электронных систем. Однако современные автоматические бортовые и стационарные электронные системы позволяют определять работоспособность систем управления в классе «работоспособно – не работоспособно» и лишь в редких случаях позволяют точно по элементам определять место и вид дефекта или неисправности и совсем в ограниченных случаях определять остаточный ресурс.

Область работоспособного состояния машин в «фазе износа» (см. рис. 13.2) характеризуется большим многообразием скорости протекания деградационных процессов, происходящих с машиной в течение эксплуатационного периода, которые часто требуют индивидуальной оптимизации периодичности диагностирования.

Статистический анализ отказов и времени их устранения в эксплуатации позволяет установить определяющие элементы автомобиля. В табл. 13.1 приведено распределение времени простоев автомобиля с дизельным двигателем из-за отказов его агрегатов в текущем ремонте.

Таблица 13.1

Время простоя автомобиля в текущем ремонте

Агрегат (система) автомобиля	Время простоя, процент от общего
1 Двигатель	19,5
2 Коробка передач	15,5
3 Сцепление	10,1
4 Задний мост	9,9
5 Карданная передача	3,3
6 Подвеска	8,7
7 Тормозная система	6,4
8 Рулевое управление	4,8
9 Кабина, кузов, рама	4,5
10 Электрооборудование	4,1
11 Прочее	13,2



Рис. 13.4. Классификация факторов, влияющих на надежность

Из табл. 13.1 следует, что основным объектом диагностирования является двигатель, далее следует коробка передач и сцепление, то есть основной объект диагностирования в составе автомобиля – силовой агрегат (двигатель, сцепление и коробка передач).

Классификация факторов, влияющих на надежность автомобиля, представлена на рис. 13.4.

13.2 Нормирование периодичности диагностирования

Для регламентации периодичности диагностирования при характерных случаях его проведения следует учитывать [34]:

- 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 диагностирования с ТО необходимо учитывать периодичность их проведения. При этом изменение общих затрат C на обслуживание, ремонт и диагностирование агрегата находится в зависимости от периодичности диагностирования $\tau_d = t_M$ и определенной его периодичности соответствуют минимальные затраты. Естественно, что для новых (в начале эксплуатации) агрегатов оптимальная периодичность диагностирования больше, чем для изношенных.

Определение периодичности диагностирования по технико-экономическим показателям с учетом вероятности безотказной работы диагностируемого агрегата предусматривает разбивку кривой изменения этой вероятности на линейные участки АБ, БВ и т.д. (рис 13.5). В этом случае интенсивность изменения вероятности безотказной работы $P(t)$ на каждом участке постоянна.

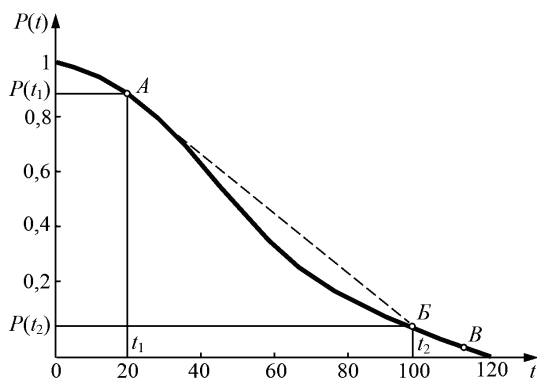


Рис. 13.5. К оценке периодичности диагностирования по технико-экономическим критериям

Общие затраты на эксплуатацию диагностируемого агрегата C складываются из затрат на техническое обслуживание C_0 , плановых ремонтов $C_{ПР}$, внеплановых (аварийных) ремонтов $C_{АР}$, затрат, связанных с несвоевременностью замены узлов $C_{РЕС}$ (недоработка ресурса) и проведением диагностирования C_d . Периодичность диагностирования определяют на участке АБ, соответствующем интервалу наработки от t_1 до t_2 и снижению вероятности безотказной работы $P(t_1) - P(t_2)$.

Затраты на плановые $C_{ПР}$ и внеплановые $C_{АР}$ ремонты на этом участке определяют по формулам

$$C_{ПР} = C'_{ПР}(1 - P_{ПР}) N_0 [P(t_1) - P(t_2)];$$

$$C_{AP} = C'_{AP} P_{AP} N_0 [P(t_1) - P(t_2)], \quad (13.1)$$

где $C_{ПР}$, C_{AP} – средняя стоимость одного планового и внепланового ремонтов; $P_{ПР}$, P_{AP} – вероятность планового и аварийного ремонтов; N_0 – первоначальное число диагностируемых объектов.

Затраты, связанные с несвоевременностью замены агрегата C_{PEC} , вычисляются по формуле

$$C_{PEC} = \frac{t_D^2 [P(t_1) - P(t_2)] N_0 C_{\Delta t}}{2(t_2 - t_1) \Delta t}, \quad (13.2)$$

где $C_{\Delta t}$ – стоимость несвоевременной замены узла на интервале наработки Δt ; t_D – периодичность диагностирования.

Затраты на диагностирование C_D определяются по формуле

$$C_D = C'_D \frac{t_2 - t_1}{t_D} N_0 [P(t_1) - P(t_2)],$$

где C'_D – стоимость одного цикла диагностирования.

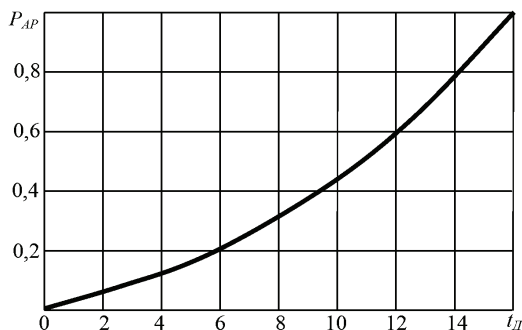


Рис. 13.6. Оценка вероятности аварийных ремонтов

В общем виде вероятность аварийных ремонтов P_{AP} определяется экспериментальным путем (рис. 13.6) от периодичности диагностирования t_D и эта зависимость имеет вид

$$P_{AP} = F_1 t_D^n + F_2, \quad (13.3)$$

где коэффициенты F_1 , F_2 и n определяются экспериментально или, как на рис. 13.6, где $F_2 = 0$.

Дифференцируя сумму

$$C_{\Sigma} = C_{ПР} + C_{AP} + C_{PEC} + C_D, \quad (13.4)$$

определяют оптимальную периодичность диагностирования t_D^{OPT} на интервале наработки $t_1 - t_2$. Способ дифференцирования на практике трудно реализуем. Поэтому его можно заменить способом графического построения кривой зависимости C_{Σ} от переменной t_D (рис. 13.7). Переменную периодичность диагностирования лучше всего задавать кратной периодичности ТО.

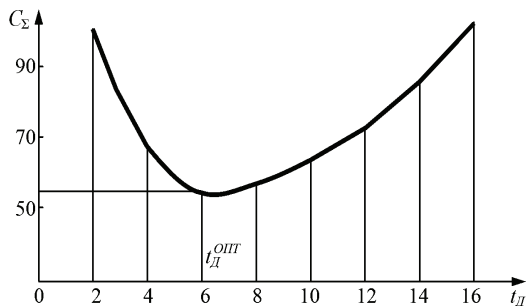


Рис. 13.7. Оценка переменной периодичности диагностирования

Пример [34]. Определить графическим способом оптимальную периодичность диагностирования коробки передач автомобиля на интервале пробега 20...100 тыс. км пробега, если известны характер изменения вероятности безотказной работы (см. рис. 13.5), вероятность аварийных ремонтов (см. рис. 13.6), а исходные расчетные данные сведены в табл. 13.2. Для упрощения расчетов принимаем $N_0 = 1$, так как определяется относительная, а не абсолютная величина минимума затрат.

Решение. Результаты проведенных вычислений при различных периодичностях диагностирования приведены в табл. 13.3. На рис. 13.7 представлен график изменения суммарных затрат в зависимости от периодичности диагностирования. Минимальные затраты обеспечиваются при периодичности диагностирования 6 тыс. км пробега автомобиля.

Таблица 13.2

Исходные данные для расчета периодичности диагностирования

Показатель	Значение
Стоимость одного планового ремонта $C_{ПР}$, грн	10
Стоимость одного аварийного ремонта $C_{АР}$, грн	100
Число диагностируемых агрегатов N_0 , ед.	1
Стоимость одного диагностирования $C_{Д}$, грн	3
Затраты, связанные с несвоевременностью замены агрегата за интервал наработки (пробега) $\Delta t = 1$ тыс. км, $C_{\Delta t}$, грн	15
Интервал наработки $t_1 - t_2$, тыс. км	20...100
Вероятность безотказной работы на интервале $t_1 - t_2$, $P(t_1) - P(t_2)$	0,85...0,1

Таблица 13.3

Расчет составляющих функции суммарных затрат

Периодичность диагностирования, тыс. км	Затраты, грн				
	$C_{ПР}$	$C_{АР}$	$C_{РЕС}$	$C_{Д}$	C
2	7,20	3,00	0,28	90,00	100,48
4	6,74	7,50	1,12	45,00	60,16
6	6,00	15,00	2,52	30,00	53,52
8	5,25	22,50	4,48	22,50	54,73
10	4,28	32,30	7,00	18,00	61,58
12	3,15	43,50	10,08	15,00	71,73
14	2,02	54,70	13,72	12,85	83,29
16	0,60	69,00	17,92	11,30	98,82

При наличии данных по издержкам на диагностирование, на устранение отказа по параметру, на предупредительное восстановление оптимизацию периодичности диагностирования можно провести, используя номограммы [34].

Пример [34]. Определить оптимальную периодичность диагностирования (межконтрольную наработку) подшипника, если предельный износ $I_{ПР} = 0,8$ мм, средний ресурс $T_{СР} = 2020$ моточасов, коэффициент вариации

ресурса $\nu = 0,5$; $\alpha = 1,4$; $A = 8$; $C = 4$; $B = 0,4$ грн.

Решение. Находим относительные величины

$$A_0 = A/C = 8/4 = 2;$$

$$B_0 = B/C = 0,4/4 = 0,1.$$

Проводим горизонталь с ординатой $B_0 = 0,1$ до пересечения с кривой $\nu = 0,5$ ($A_0 = 2$) в точке F . Абсцисса этой точки есть $T_0^{OPT} = 2,1$.

Тогда

$$t^{OPT} = \frac{2020}{2,1} = 960 \text{ моточасов.}$$

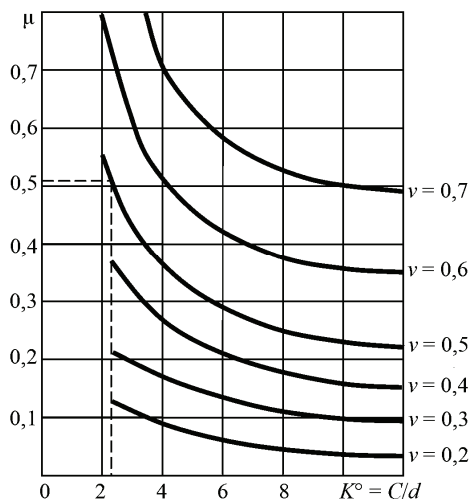


Рис. 13.8. Номограмма оптимальной периодичности диагностирования

Для узлов ТС иногда важно знать соотношение стоимостей аварийного и предупредительного ремонта. Это особенно характерно для узлов, связанных с обеспечением безопасности труда (тормозные системы транспортных средств, системы, связанные с выбросом вредных веществ и т.п.). В этих случаях целесообразно ввести коэффициент опасности отказа

$$K = C/d, \quad (13.5)$$

где C и d – стоимость соответственно аварийного и предупредительного ремонта.

Тогда при известных коэффициентах вариации ν и среднем ресурсе T_{CP} оптимальная периодичность диагностирования определяется как

$$t_D^{OPT} = \mu T_{CP}, \quad (13.6)$$

где μ – относительный коэффициент периодичности, определенный по номограмме рис. 13.8.

13.3 Условия эффективного применения диагностики в технической эксплуатации автомобилей

13.3.1 Формы технической эксплуатации и их эффективность

Диагностика автомобилей в АТП – информационно-контролирующая подсистема управления их техническим состоянием. Цель управления техническим состоянием автомобиля – восстановление потерянной им в эксплуатации качества. Основу процесса восстановления качества составляет и

часть, связанная с качественным изменением технического состояния, то есть технологическая. Для организации оптимального технологического процесса необходимо, в первую очередь, знать в каждый конкретный момент времени перечень операций, их количество и характер, трудоемкость выполнения, то есть следует знать в каждый конкретный момент времени объем работы для конкретного автомобиля. Эта задача решается на базе диагностической информации, в чем и заключается первая задача диагностической информации.

Весьма разнообразные формы технической эксплуатации автомобилей, зависящие от принадлежности автомобиля, его назначения, режимов использования и т. д., можно свести к трем характерным видам [32].

1. Автомобили эксплуатируются в течение максимально возможного срока при выполнении минимальных объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту. При резком ухудшении технического состояния они направляются в капитальный ремонт или утиль. Этот метод экономически неоправдан и совершенно нежелателен в аспекте безопасности движения автомобилей.
2. Устанавливаются конкретные пробеги автомобилей, по истечении которых в плановом порядке проводятся определенные объемы работ по техническому обслуживанию всех основных систем автомобиля. Этот метод до сих пор находит наиболее широкое применение в крупных автомобильных транспортных предприятиях (АТП), руководствующихся Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта.
3. После определенного пробега в принудительном (плановом) порядке проводятся только контрольные операции и простейшие работы по содержанию автомобиля. Регулировочные и другие операции технического обслуживания, так же, как и ремонтные работы, выполняются по потребности на основании результатов контроля (диагностики).

Две последние формы организации технической эксплуатации автомобиля (ТЭА) являются практически оправданными и в некотором роде конкурирующими. Условие целесообразности применения диагностики в ТЭА можно выразить величиной удельных затрат следующим образом:

$$\frac{C_{\text{отк}}^D Q}{\bar{X}_{\text{отк}}^D} + \frac{C_{\text{пр}}(1-Q)}{\bar{X}_{\text{пр}}} + \frac{C_D}{\bar{X}_D} \leq \frac{C_{\text{отк}}}{\bar{X}_{\text{отк}}} + \frac{C_{\text{то}}}{\bar{X}_{\text{то}}}, \quad (13.7)$$

где $C_{\text{отк}}^D$ – средняя стоимость отказа при использовании диагностики; $C_{\text{пр}}$ – средняя стоимость профилактических работ; C_D – стоимость диагностических работ; $C_{\text{отк}}$ – средняя стоимость отказов при плановой системе технического обслуживания; $C_{\text{то}}$ – стоимость ТО; $\bar{X}_{\text{отк}}^D$ – средняя наработка до отказа при наличии диагностики; $\bar{X}_{\text{пр}}$ – средняя наработка проведения профилактических работ; \bar{X}_D – периодичность диагностирования; $\bar{X}_{\text{отк}}$ –

средняя наработка до отказа при плановой системе ТО; $X_{\text{ТО}}$ – периодичность ТО; Q – вероятность отказов автомобиля при наличии диагностики.

Очевидным условием эффективности диагностики является существенное снижение вероятности отказов автомобиля, а также исключение излишних (ошибочных) профилактических работ, что достигается при хорошо отработанной системе диагностирования. Нацеливая диагностику на контроль наиболее важных агрегатов и систем, можно снизить стоимость отказов автомобиля. Перспективным направлением снижения затрат на диагностику является разработка встроенной диагностики, позволяющей проводить частый контроль без простоев автомобиля.

Эффективность диагностики в значительной степени зависит от коэффициента вариации наработки до предельного состояния элементов автомобиля. При достаточно стабильных величинах этой наработки, можно надежно прогнозировать момент наступления отказа и своевременно проводить плановые технические воздействия (ТО). Если отказы могут происходить в случайные, непредсказуемые, моменты, то роль диагностики существенно возрастает.

Использование диагностической информации в системе управления выдвигает новые требования к контрольно-диагностическим средствам, их достоверности, быстродействию, использованию. В настоящее время проводится работа по созданию автоматизированных систем внешнего и встроенного диагностирования, которое с помощью электронных модулей обеспечивает автоматическое задание тестовых режимов, постановку диагноза, накопление и выдачу диагностической информации как на рабочее место, так и в центр управления производством.

Активная организация управления техническим состоянием автомобилей во время эксплуатации на основе опыта водителя еще не используется в полной мере. При этом, как показывает опыт, мастерство водителей позволяет повышать долговечность автомобиля на 30...40 %, экономить запасные части, материалы и топливо. Рациональное использование опыта водителя возможно за счет освоения встроенного диагностирования. Значительное внимание при этом уделяют контролю параметров, которые характеризуют эксплуатационные качества автомобиля: топливную экономичность, тормозные свойства, уровень загрязнения окружающей среды, стойкости и управляемости

Создание системы контрольно-диагностических работ нужно начинать с выбора и обоснования такого критерия оценивания эффективности, который позволил бы синтезировать оптимальный процесс контрольно-диагностических работ с учетом наиболее весомых показателей эффективности. К таким критериям можно отнести:

- вероятность правильности определения технического состояния автомобиля с учетом системы диагностирования;
- информационную способность алгоритмов диагностирования и контрольно-диагностических средств;
- точность и достоверность диагностической информации;
- технологичность системы диагностирования и удобство проведения

- регулирующих работ;
- материало- та энергоемкость контрольно-диагностических средств;
- стоимость изготовления и эксплуатационные расходы, экономическую эффективность системы диагностирования.

Трудность оценивания эффективности системы диагностирования одним критерием определяется необходимостью одновременного учета качества функционирования контрольно-диагностических средств, технико-экономических возможностей и экономической целесообразности самого диагностирования. В связи с этим рассмотрим отдельные критерии эффективности системы диагностирования, а также обобщенный функционально статистический критерий, который отвечает перечисленным условиям.

13.3.2 Экономическая эффективность диагностирования

Решение о целесообразности создания и внедрения системы диагностирования принимается на основе годового экономического эффекта, который являет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов, которую получает народное хозяйство в результате освоения системы диагностирования. Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$Q = (Z_1 - Z_2) A_2, \quad (13.8)$$

где Z_1 , Z_2 – приведенные расходы единицы транспортной работы, выполненные с помощью базовой системы обслуживания и системы диагностирования, внедренной на производстве; A_2 – годовой объем транспортной работы, которая выполняется с помощью системы диагностирования.

Приведенные затраты – сумма себестоимости и нормативной прибыли:

$$Z = C + E_H K, \quad (13.9)$$

где C – себестоимость единицы транспортной работы, грн.; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K – капитальные вложения в производственные фонды, грн.

По данным передовых автотранспортных предприятий затраты на ремонт автомобилей могут быть снижены за счет применения диагностирования от 10 до 20 %. Кроме снижения затрат на ТО и ремонт, эффект от применения диагностирования может быть получен в результате более полного использования ресурса агрегатов и узлов автомобилей, гарантированного заводами-изготовителями, а также путем более точного информационного обеспечения таких мероприятий как ТО, ремонт, снабжение запасными частями и эксплуатационными материалами

Экономическая эффективность от увеличения использования ресурса агрегатов автомобиля за год эксплуатации может быть определена как

$$\Xi = \frac{1}{T_C} (\Delta\Pi + \Delta\Xi),$$

где T_C – срок службы агрегата автомобиля до первого капитального ремонт-

та, год; $\Delta\P$ – прирост прибыли автотранспортного предприятия за счет увеличения использования ресурса; $\Delta\mathcal{E}$ – экономия от увеличения срока службы агрегата автомобиля при его постоянной цене.

Увеличение прибыли определяется уравнением следующего вида:

$$\Delta\P = 0,15 \cdot 3_{\Sigma} \cdot (l_p - l'_p),$$

где 3_{Σ} – общие затраты автотранспортного предприятия на 1 км пробега автомобиля, грн; l_p – ресурс агрегата автомобиля, гарантируемый заводом изготовителем, 10^3 км; l'_p – фактический ресурс агрегата автомобиля в автотранспортном предприятии, 10^3 км.

Экономия от увеличения срока службы агрегата автомобиля определяется как

$$\Delta\mathcal{E} = \Pi \cdot \left(\frac{\rho_1 + 0,1}{\rho_2 + 0,1} - 1 \right),$$

где Π – цена агрегата автомобиля, грн; ρ_1 и ρ_2 – коэффициенты реновации (коэффициенты обновления основных фондов).

Коэффициенты реновации определяют по формуле

$$\rho_1 = 1/T_{C1} \quad \text{и} \quad \rho_2 = 1/T_{C2},$$

где T_{C1} – срок службы агрегата автомобиля при полном использовании его ресурса; T_{C2} – срок службы агрегата автомобиля при недоиспользовании его ресурса.

Отказ автомобиля, связанный с его техническим состоянием, фиксируется в следующих случаях:

- опоздание при выходе на линию;
- прекращение уже начатого транспортного процесса (линейный отказ);
- досрочный возврат с линии (неполное выполнение задания);
- принудительное обоснованное недопущение автомобиля к работе или ее прекращение на линии контрольными органами ГАИ, транспортной инспекцией или экологической милицией.

Все остальные отклонения технического состояния автомобиля от нормы классифицируются как неисправности.

Комплексными показателями надежности автомобиля являются коэффициенты технической готовности и использования.

Коэффициент технической готовности – вероятность нахождения автомобиля в работоспособном состоянии в любой момент времени, кроме планируемого, когда его использование по назначению не предусмотрено.

Коэффициент технической готовности рассчитывается по формуле

$$\alpha_T = \left(1 + \frac{l_{cc} D_{op} K'_4}{1000} + \frac{D_{кр}}{L_{кр\text{ ср}}} \right)^{-1},$$

где l_{cc} – среднесуточный пробег автомобиля; D_{op} – продолжительность простоя автомобиля при ТО-2 и текущем ремонте (ТР) на 1000 км пробега; K'_4 – коэффициент корректирования продолжительности простоя при техническом обслуживании (ТО) и ремонте в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации; $D_{кр}$ – продолжительность простоя автомобиля на капитальном ремонте; $L_{кр\text{ ср}}$ – принятая к расчету средневзвешенная величина межремонтного пробега капитального ремонта.

В настоящее время автомобили практически не ставятся на капитальный ремонт и $D_{op} = 0$, тогда

$$\alpha_T = \left(1 + \frac{l_{cc} D_{кр} K'_4}{1000} \right)^{-1}.$$

Коэффициент технического использования – отношение времени пребывания автомобиля в работоспособном состоянии за определенный период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени его пребывания в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период эксплуатации.

Коэффициент технического использования рассчитывается по формуле

$$\alpha_{и} = \alpha_T \cdot D_{рг} / D_{кг},$$

где $D_{рг}$ – число дней работы автомобилей на линии в году; $D_{кг}$ – число календарных дней в году.

13.3.3 Обобщенный функционально-статистический критерий оценки эффективности диагностирования

Процесс диагностирования всегда связан с большей или меньшей степенью неопределенности, потому что объект диагностирования может иметь большое число состояний. При этом выходные характеристики процесса функционирования объекта диагностирования имеют вероятностный характер. Недостаток рассмотренных показателей эффективности диагностирования заключается в том, что они не дают интегральные качественные и количественные оценки состояния объекта. Для устранения этого необходимо и достаточно определить информационные характеристики объекта и системы диагностирования – энтропию, среднее количество информации и др. [5, 25, 34, 39].

Энтропия обусловлена наличием в объекте дискретных систем и определяется по формуле [25]:

$$H_0(Y, P_m, t, \tau) = - \sum_{i=1}^m P_i \log p_i, \quad (13.10)$$

где $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – вектор случайных функций времени, характеризующих выходные параметры объекта; P_i – вероятность состояния отдельных систем; t – момент времени, в который анализируется объект; τ – текущее

значение времени.

При диагностировании часть неопределенности замещается информацией, которая получается в процессе выполнения по определенному алгоритму исследования некоторого количества объектов. Количество информации, полученной при диагностировании за интервал времени $t - \tau$, равняется изменению количества энтропии:

$$I_P(t, \tau) = H_0(t, \tau) - H(t, \tau), \quad (13.11)$$

где $I_P(t, \tau)$ – реальна информационная вероятность данной системы диагностирования; $H(t, \tau)$ – энтропия объекта и системы диагностирования, которая характеризует неопределенность после диагностирования.

Полученное количество информации можно увеличить за счет повышения точности контрольно-диагностических средств (энтропия $H_{\text{пр}}(t, \tau)$ уменьшается), а также повышением приспособленности алгоритма диагностирования к получению информации и снижением энтропии $H_{\text{олг}}(t, \tau)$.

Потенциальная возможность системы диагностирования определяется по формуле:

$$I_n(t, \tau) = H_0(t, \tau). \quad (13.12)$$

Тогда эффективность системы диагностирования с информационной точки зрения можно оценивать по критерию:

$$E_I(t, \tau) = I_P(t, \tau) / I_n(t, \tau) \quad (13.13)$$

или с учетом энтропии:

$$E_I(t, \tau) = [H_0(t, \tau) - H(t, \tau)] / I_n(t, \tau). \quad (13.14)$$

Преимущества этого критерия:

- имеет физическое содержание и однозначно характеризует эффективность числом, которое изменяется от нуля до единицы;
- характеризует безотказность работы, точность и качество алгоритма системы диагностирования.

Однако информационный критерий имеет и значительные недостатки, потому что не учитывает динамику процесса диагностирования, сложности процесса и стоимости диагностирования. Критерием, который практически не имеет перечисленных недостатков, можно считать обобщенный функционально статистический критерий оценивания эффективности:

$$E_I(t, \tau) = K_I(t, \tau) / K_{IO}(t, \tau), \quad (13.15)$$

где

$$K_I(t, \tau) = I_{\text{max}}(t, \tau) / C(t, \tau) \quad (13.16)$$

является обобщенной статистической характеристикой реальной системы диагностирования;

$$I_{\max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{i \max}(t, \tau) \quad (13.17)$$

является максимальным средним количеством информации, полученной при исследовании наилучшей системы диагностирования, с точки зрения получения $I_{\max}(t, \tau)$; $C(t, \tau)$ – стоимость реального процесса диагностирования;

$$K_{IO}(t, \tau) = I_{\max \max}(t, \tau) / C_{\min}(t, \tau) \quad (13.18)$$

является обобщенной потенциальной статистической характеристикой идеальной системы диагностирования;

$$I_{\max \max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{i \max \max}(t, \tau) \quad (13.19)$$

является максимальным средним значением информации, полученной при исследовании наилучшей системы диагностирования при максимальной неопределенности системы; $C_{\min}(t, \tau)$ – стоимость идеализированной системы диагностирования.

Система диагностирования может дать максимальный объем информации при наибольшей неопределенности состояния объекта. Если состояние объекта при диагностировании i -й его системы рассматривать как одно событие, то наибольшая неопределенность этого состояния будет при

$$p_{0i}(t, \tau) = 1/2.$$

Энтропия состояния объекта при диагностировании:

$$H_0(t, \tau) = -\{p_{0i}(t, \tau) \log_2 p_{0i}(t, \tau) + [1 - p_{0i}(t, \tau)] - \log_2 [1 - p_{0i}(t, \tau)]\}, \quad (13.20)$$

где $p_{0i}(t, \tau)$ – вероятность выполнения задачи i -й системой объекта.

Подставляя в $p_{0i}(t, \tau) = 1/2$ в (13.20), находим:

$$H_{0i \max}(t, \tau) = 1.$$

В случае, когда объект состоит из недискретных систем

$$H_{0 \max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m H_{0i \max}(t, \tau) = m, \quad (13.21)$$

с учетом уравнений (13.18)...(13.21) можно записать окончательно:

$$E(t, \tau) = \frac{\sum_{i=1}^m \{H_{0i}(t, \tau) - H_i(t, \tau)\} C_{\min}(t, \tau)}{m \sum_{i=1}^m c_i(t, \tau)}. \quad (13.22)$$

Таким образом, для оценки эффективности системы диагностирования

необходимо определить:

- энтропию данной системы диагностирования;
- энтропию объекта и системы диагностирования с учетом энтропии, которая обуславливается ошибками системы диагностирования каждой системы;
- среднее количество информации каждого опыта;
- стоимость диагностирования;
- провести расчеты по формуле (13.22).

Обобщен функционально статистический критерий оценивания эффективности дает полную возможность и простую оценку, которая характеризует систему диагностирования одним числом.

Контрольные вопросы

1 Представьте графически зависимости интенсивности износа, отказов и периодичности диагностирования. Выделите зоны нарастания износа, интенсивности отказов и периодичности ТО. Учитывайте схему отклонения параметров состояния (см. рис. 5.9, 5.12, 5.13).

2 Представьте схему интервалов периодичности ТО. Определите оптимальный момент проведения ТО (см. рис. 13.2).

3 Проанализируйте схему изменения диагностических параметров на рис. 3.4 и 13.2 и объясните, какая возможная периодичность должна быть в зоне фазы износа остаточного ресурса конкретных элементов.

4 Какие необходимы исходные данные для определения периодичности диагностирования?

5 Какие методы определения периодичности диагностирования существуют?

6 Объясните возможности применения методов определения периодичности ТО по аналогиям и визуально-диагностическим методам.

7 На чем базируется метод определения периодичности ТО по технико-экономическому методу?

8 Приведите графический пример метода определения периодичности диагностирования по технико-экономическим показателям.

9 Объясните условия эффективности применения диагностики в технической эксплуатации автомобиля.

10 Какую роль могут выполнить встроенные средства диагностирования в определении периодичности диагностирования и, в частности, расход топлива, тормозные качества, количество вредных веществ в отработавших газах?

11 Какова роль в организации управления ТО и диагностировании отводится водителю конкретного автомобиля?

12 Приведите простую формулу определения эффективности диагностирования.

14 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

14.1 Задачи и процесс прогнозирующего диагностирования

Прогнозирование технического состояния машин в жизненном цикле остается одним 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.

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.

Непосредственный перенос методов решения одних задач (диагностирование) 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 такой обработке статистических данных о прогнозируемом параметре и признаках. В результате которой 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 [5].

В связи со сказанным выше 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 технических 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 [24].

В процессе производства по результатам испытаний ограниченного объема (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 нор-

мальных 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 связанные 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 стати-

стической классификации. Существует также ряд модифицированных вариантов этих методов [34]. Сведения обо всех этих методах прогнозирования составляет 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.

Оценку технического состояния объекта в прошлом (например, для выявления причины аварийного отказа, повлекшего за собой дорожно-транспортное происшествие) называют ретроспекцией (рис. 14.1). 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.

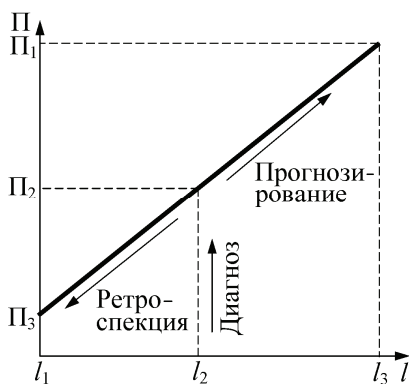


Рис. 14.1. Схема определения технического состояния объекта: в настоящее время — $П_2$ при наработке l_2 (диагноз); в будущем — $П_1$, когда наработка будет l_3 (прогноз); в прошлом $П_3$, когда наработка была l_1 (ретроспекция)

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 цилиндро-поршневая группа, кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы, система подачи топлива, шестерни и подшипники сило-

вой 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 безот-

казной 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 однократного (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. 14.1):

- $T_C(S_1, T_1)$ – 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 14.1

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 .

Из описанных четырех видов обработки априорной информации пер-

вые два отвечают задачам прогнозирования, а последние два – задачам диагностирования (см. табл. 14.1).

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 (прогнозирующих) параметров.

Наиболее трудными являются вопросы обоснованного выбора предельного значения критерия пригодности, а также выбор прогнозируемых параметров. Теоретически обоснованные ответы на эти вопросы удается 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. 14.2.

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. 10.4, 10.7) [14, 27, 44].

Условия целесообразности прогнозирования при диагностировании объекта непрерывного действия определяются законными показателями безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности и организацией целесообразности его (прогнозирования) выполнения.

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 прогнозирую-

щих 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.

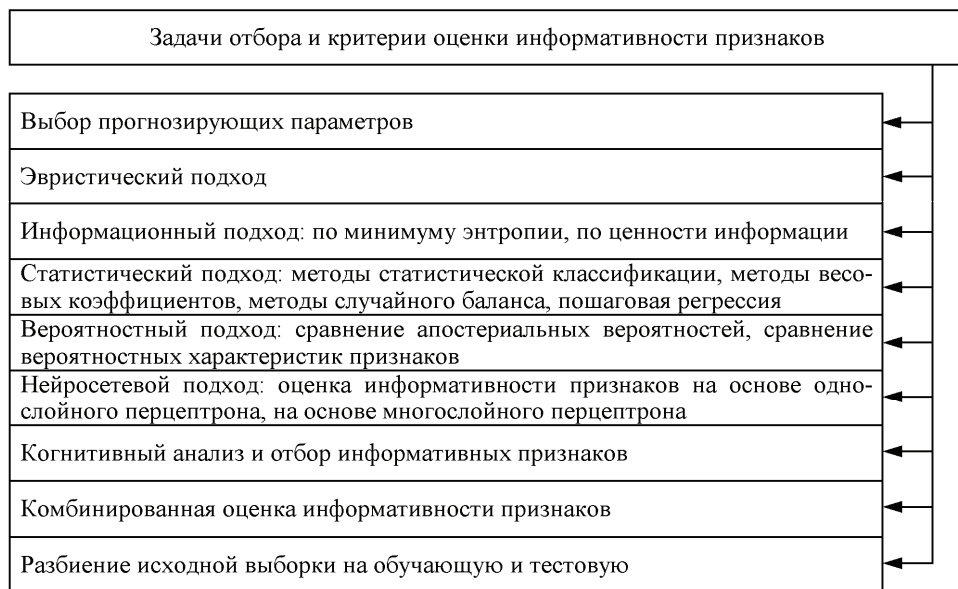


Рис. 14.2. Определение информативных признаков

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 об-

служивания ее по 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 удастся получить только для очень простых машин. В большинстве случаев, однако, могут оказаться приемлемыми методы экспертных оценок [5].

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.

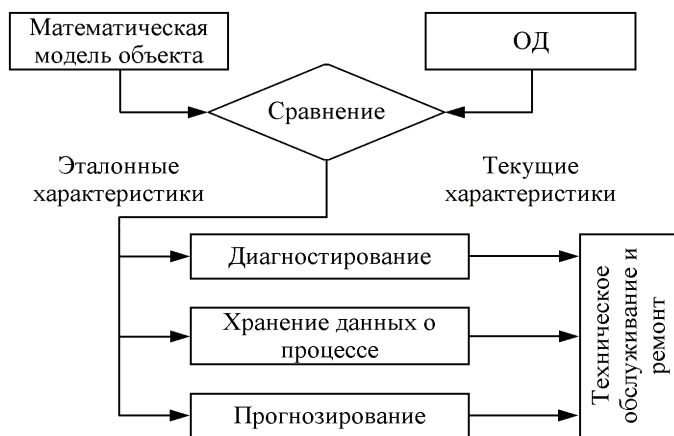


Рис. 14.3. Структурная схема прогнозирующего диагностирования

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 эффективно-

сти выбранных средств; корректировка ранее выбранных параметров и состава технических средств.

Структурная схема прогнозирующего диагностирования показана на рис. 14.3.

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.

14.2 Методы, критерии и этапы прогнозирования остаточного ресурса

14.2.1 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 [5, 37], методы оценки и прогнозирования ресурса машин приведены на рис. 14.4, а общая схема прогнозирования – на рис. 14.5. Приведенная классификация методов (см. рис. 14.4) не является общей.

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. 14.6, 14.7), которые в ряде случаев обогатились полезными модификациями [66, 67].

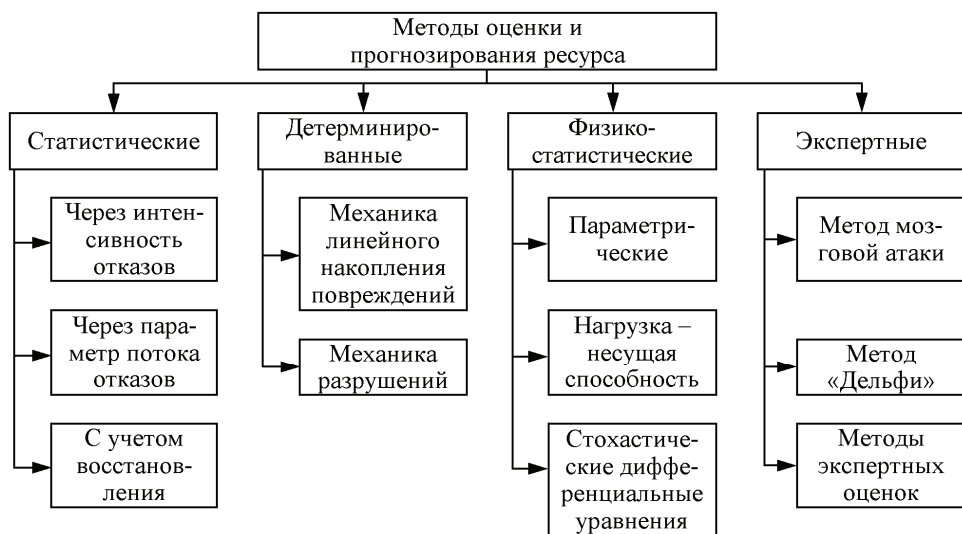


Рис. 14.4. Классификация методов оценки и прогнозирования ресурса

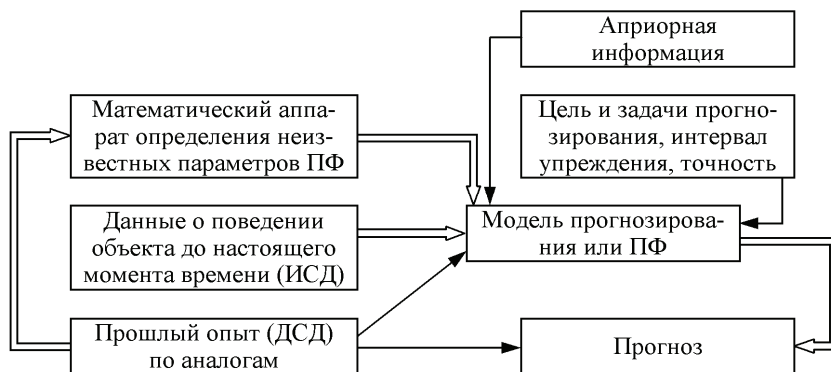


Рис. 14.5. Схема прогнозирования:

⇐ – вычислительные процедуры; ← – исследовательские операции

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 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

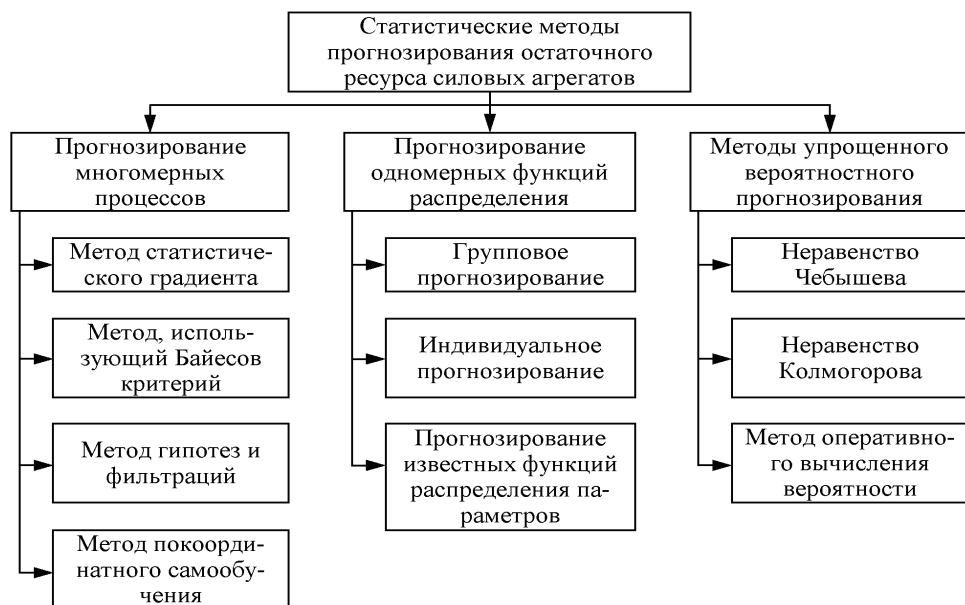


Рис. 14.6. Классификация статистических методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов

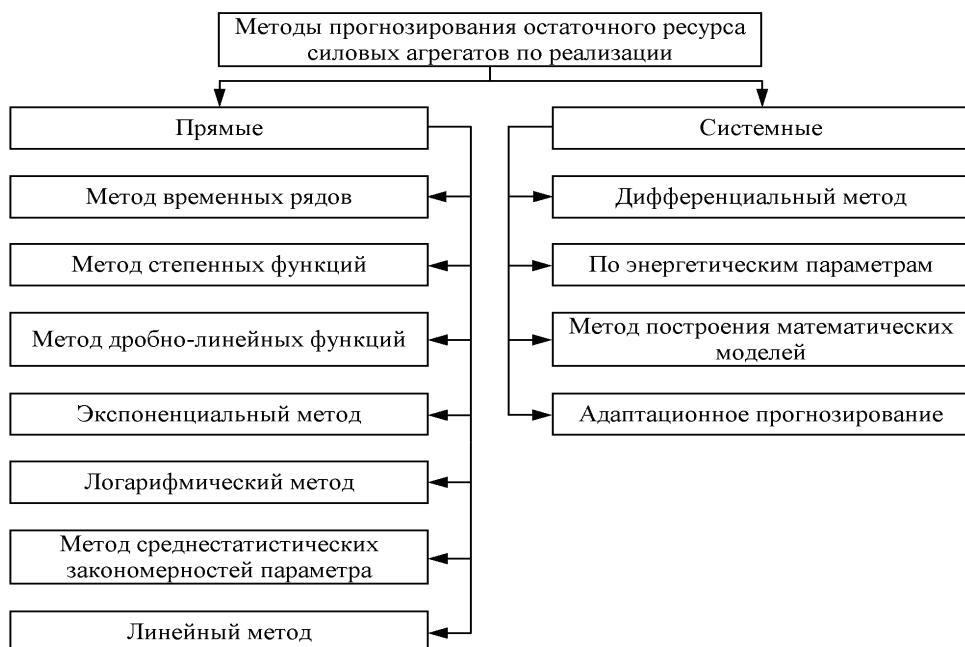


Рис. 14.7. Классификация методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов по реализации

диагностическим параметрам на основе установления статистической взаимосвязи между структурными и диагностическими параметрами.

Прогноз по диагностическим 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. 14.7):

- 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 [66].

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 выражаются реализациями. Реализации аппроксимируются 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; по координатного 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 совокупность. В эту группу можно отнести такие методы: групповое прогнозирование, индивидуальное прогнозирование и прогнозирование 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 [66].

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. 14.2). 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» [67].

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.

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. 14.7 приведена классификация методов диагностирования, а на рис. 14.8 – методы диагностирования [17].

При прогнозировании остаточного ресурса машин работы по всем трем этапам должны быть выполнены обязательно.

14.2.2 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.

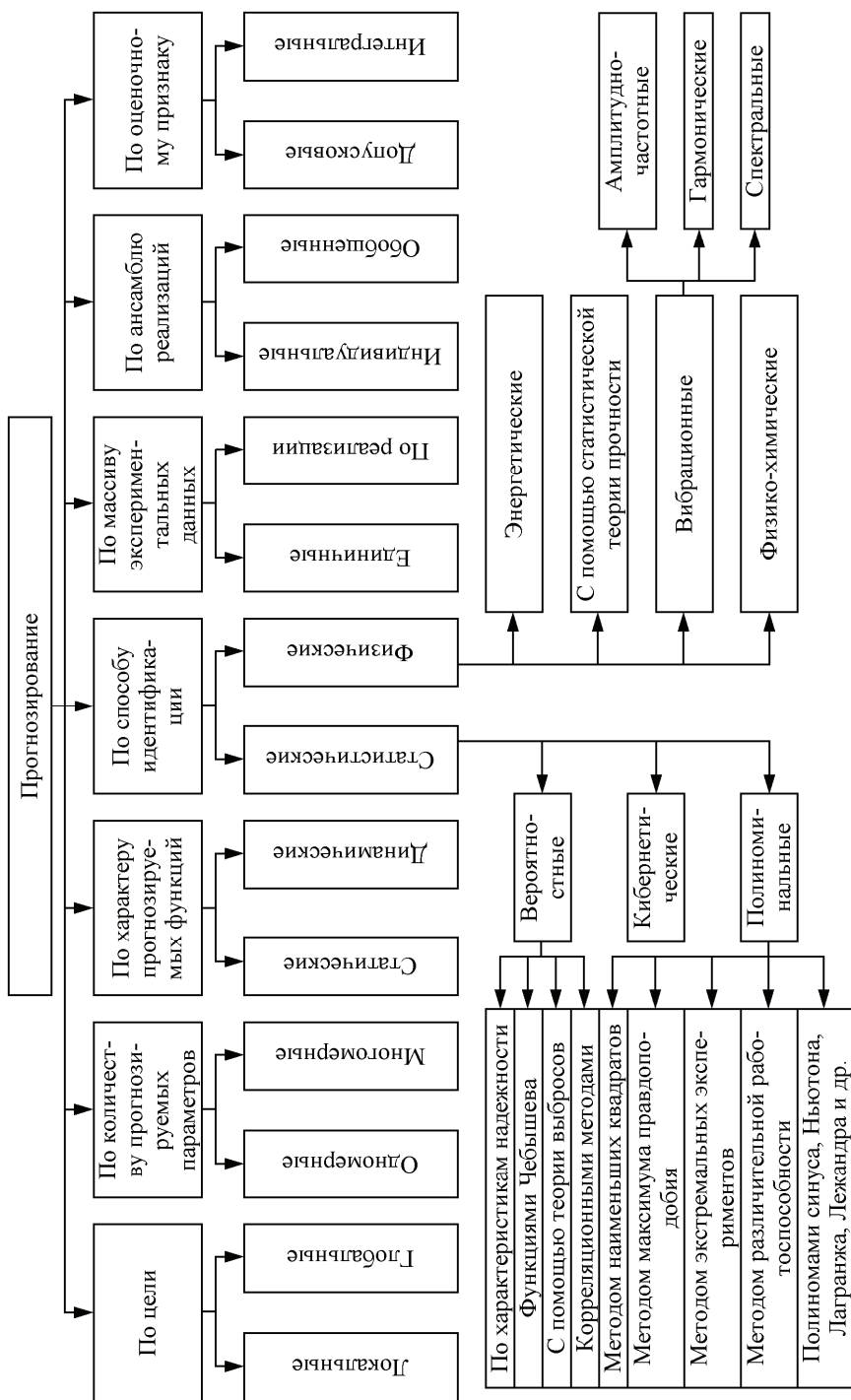


Рис. 14.8. Классификация методов прогнозирования

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).

Оптимальным и предельным 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

$$A/C = A_0 -$$

один из исходных показателей (вместе с σ , α и отношением $I(t_H)/I_{II}$) 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_{II} – 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 гр./час, для комбайнов до 12 гр./час). Поэтому, чем больше A_0 , тем меньше (при прочих одинаковых показателях) оптимальный и предельный остаточные ресурсы. Это обусловлено тем, что выгоднее своевременно 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 дальнейшего

ее 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 как базовые материалы 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 27.002-89 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 закона 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 плавно-

сти, 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 поддается экстраполяции и насколько правильно и точно он осознан [66].

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 за областью наблюдения (на интервале T_2).

При прогнозировании изменения состояния технических объектов, несмотря 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 диаг-

ностических 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 определенную 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.

14.2.3 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

при-знака. 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. 14.9).

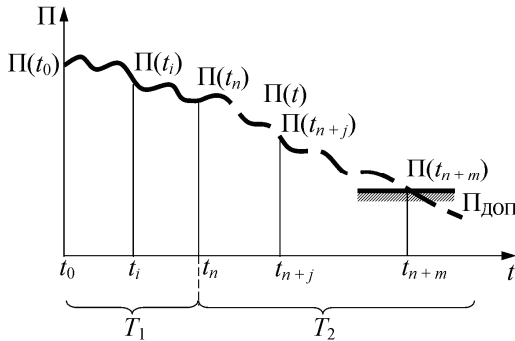


Рис. 14.9. Аналитическое прогнозирование

$\Pi(t)$ каким-либо аналитическим выражением. Ввиду сложности нахождения таких выражений по дискретным точкам $\Pi(t_i)$ 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.

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

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 диагностики 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 исследуемой 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. 14.10). Пусть на изменение технического состояния объекта оказывают влияние факторы \bar{X} , а также случайные и внутренние помехи \bar{Y} [48].

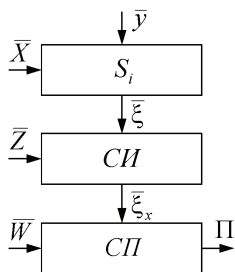


Рис. 14.10. Однолинейная схема прогнозирования:

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. 14.10), которые определяют необратимые процессы деградации физико-химических свойств этого объекта (старение, изнашивание и др.), а также 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 прогнозиро-

вания (вектор \overline{W}). Таким образом, будущее техническое состояние объекта $ТС$ зависит от нескольких случайных векторных аргументов:

$$T_C = f(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z}, \overline{W}) \quad (14.1)$$

Зависимость (14.1) является моделью процесса прогнозирования.

Вероятностный характер этой модели определяется тем, что аргументы \overline{X} , \overline{Y} , \overline{Z} и \overline{W} являются случайными функциями. Получить зависимость (14.1) 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 два самостоятельные задачи:

- задача измерения прогнозирующих параметров, когда работают с моделью вида

$$\xi^* = \varphi_i(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z}), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (14.2)$$

- задача получения прогноза (результата прогнозирования) по модели вида

$$T_C = \psi(\xi^*, \overline{W}). \quad (14.3)$$

Однако и при таком разделении трудности разработки практических и эффективных методов прогнозирования для сложных объектов остаются значительными.

Наиболее просто была бы явная аналитическая модель вида

$$T_C = f_x(\overline{X}). \quad (14.4)$$

в которой отсутствует зависимость будущего технического состояния от случайных препятствий и погрешностей. Стремясь к «идеальной» модели (14.4), применяют разные способы математической обработки моделей вида (14.2) и (14.3) с целью уменьшения зависимости окончательных результатов измерения прогнозирующих параметров прогноза от случайных функций \overline{Y} , \overline{Z} и \overline{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 \overline{Y} , \overline{Z} и \overline{W} , интервалов сглаживания и др., что связано с необходимостью получения и обработки больших объемов априорной информации, что практически не всегда возможно.

Аналитическое представление модели (14.3) 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 \overline{W} . Задание выбора описания процесса изменения во времени рабочей точки (конца вектора ξ^*) в области допус-

тимых 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 (14.2), является типичной для теории и практики измерения. Специфической для технического прогнозирования является задача построения и обработки модели (14.3) 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 (14.4), 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 (14.4) устанавливают опосредствовано через зависимость (14.2) путем измерения прогнозирующих параметров, если считается, что их значения изменяются со временем через влияние факторов \bar{X} и потом через зависимость (14.3), 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.

14.3 Методы линейного прогнозирования

В связи со сложностью определения влияния разбросов исходного технического состояния, режимов эксплуатации, качества технического обслуживания и эксплуатации. 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. 2.2) 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).

В результате двух измерений диагностического параметра закономерность изменения величины параметра определяют уже по трем точкам (третья точка – начальная).

Остаточный ресурс сопряжений (по зазору) при использовании линейного метода прогнозирования по двум измерениям определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = \frac{(\Pi_{\text{п}} - \Pi_2)(\Pi_2 - \Pi_1)}{t_2 - t_1}, \quad (24.5)$$

где Π_1 , Π_2 – значение параметров при наработке t_1 и t_2 соответственно.

Применение линейного метода прогнозирования по двум измерениям не дает высокой точности, но при остаточном ресурсе 1000...1500 моточасов погрешность метода составляет 6 %.

При линейной зависимости изменения диагностического параметра от наработки (в часах или километрах пробега) остаточный ресурс определяется по простой формуле

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{н}} \left(\frac{\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}}{\Pi_{\text{т}} - \Pi_{\text{н}}} - 1 \right), \quad (14.6)$$

где $t_{\text{н}}$ – наработка агрегата, автомобиля с начала эксплуатации, $\Pi_{\text{т}}$ – значение параметра на момент определения состояния.

Благодаря этим допущениям для получения прогноза достаточно знать лишь такие величины: наработку с начала эксплуатации, то есть номинальное (исходное) ($\Pi_{\text{н}}$), предельное ($\Pi_{\text{п}}$) и фактическое ($\Pi_{\text{т}}$) значение параметров. Линейный метод прогнозирования можно использовать при выполнении ТО-1 и ТО-2 с целью определения приблизительного срока проведения регулировочных работ или ремонта отдельных агрегатов.

Для ориентировочной оценки остаточного ресурса при известной наработке от начала эксплуатации можно пользоваться понятием коэффициента технического ресурса

$$K = \frac{\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{т}}}{\Pi_{\text{п}} + \Pi_{\text{т}}}, \quad (14.7)$$

где $\Pi_{\text{т}}$ – измеренное значение параметра.

Тогда наработка ТС до наступления предельного состояния составит

$$t_{\text{ост}} = t \frac{K}{1 - K}, \quad (14.8)$$

где t – наработка от начала эксплуатации до момента диагностирования, $K = c/d$ – коэффициент опасности отказа, c и d – стоимость аварийного и предупредительного ремонтов соответственно.

Возможен случай, когда на период прогнозирования не известна прошлая наработка машины, а известен лишь результат изменения параметра. В таком случае приходится использовать среднестатистические данные (см. табл. 14.3, 14.4), которые получают в результате массовых наблюдений за процессом изменения параметра. В результате математической обработки устанавливают среднюю продолжительность работы машины до момента, когда параметр ее состояния достигнет предельного значения. Одновременно устанавливают и математически определяют зависимость, описывающую этот процесс.

Таблица 14.3

Зазоры в подшипниках качения

Внутренний диаметр подшипника, мм	Полный радиальный зазор между дорожкой качения и шариками (роликами) новых подшипников, мм		Максимально допустимый радиальный зазор при дефектации
	шариковых	роликовых	
20...30	0,1...0,2	0,03...0,05	0,1
35...50	0,1...0,2	0,05...0,07	0,2
55...80	0,1...0,2	0,06...0,08	0,2
85...120	0,2...0,3	0,08...0,10	0,3
130...150	0,3...0,4	0,10...0,12	0,3

Примечание: Осевой зазор равен 0,3 мм

Таблица 14.4

Радиальные зазоры в подшипниках скольжения

Диаметр вала, мм	Зазоры в мм при частоте вращения вала, об/мин		
	до 1000	1000...1500	более 1500
18...30	0,040...0,093	0,060...0,130	0,14...0,28
30...50	0,050...0,112	0,075...0,160	0,17...0,34
50...80	0,065...0,135	0,095...0,195	0,20...0,40
80...120	0,080...0,160	0,120...0,235	0,23...0,46
120...180	0,100...0,195	0,150...0,285	0,26...0,53
180...260	0,120...0,225	0,180...0,300	0,30...0,60
260...360	0,140...0,250	0,210...0,380	0,34...0,68
360...500	0,170...0,305	0,250...0,440	0,38...0,76

Для приближенного определения такого случайного процесса изменения $\Pi(t)$ можно использовать линейную модель

$$\Pi(t) = \Pi_0 \pm v_x t, \quad \Delta \Pi = v_x t, \quad (14.9)$$

где $\Delta \Pi$ – изменение параметра; t – время работы объекта; Π_0 – значение исходного (номинального) параметра; v_x – коэффициент, который характери-

зует скорость изменения параметра. Знак «плюс» используется для возрастающей функции, а «минус» – для убывающей.

Формула для линейного прогнозирования имеет вид (14.8):

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{н}} \frac{K_{\text{ост}}}{K_{\text{исп}}}, \quad (14.10)$$

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.

Такие методы прогнозирования, как двухальтернативный, параболического интерполирования, экстраполяционный, градиентный, метод Бокса-Вильсона, метод обобщенного параметра по существу являются вариантами прямых методов прогнозирования [68].

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.

Оптимальные решения о ремонтно-обслуживающих действиях могут быть получены в результате анализа множества технических состояний, в которых объект диагностирования может находиться в период эксплуатации.

14.4 Методы прогнозирования по среднему статистическому измерению

Несмотря на случайный характер функции (14.9) 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 уста-

новить 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.

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 (14.9) можно рассчитать среднее значение времени наработки до момента отказа, то есть предельного значения изменения диагностического параметра.

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 (14.9).

В соответствии с ГОСТ 21571-76 эксплуатационные изменения параметра $\Pi(t)$ с увеличением наработки t есть сумма двух случайных величин

$$\Pi(t) = \Pi_0 + v_x t^\alpha, \quad (14.11)$$

где v_x – скорость изменения параметра, α – показатель степени функции, аппроксимирующей изменение параметра (табл. 14.5), Π_0 – значение параметра после приработки, то есть известные или заданные (номинальные) значения $\Pi_{\text{н}}$, $\Pi_{\text{и}}$.

Значения интенсивностей изменения параметров технического состояния (v_x) ряда механизмов, характерных для грузовых автомобилей приведены в табл. 14.5 [54].

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

Используя полученную информацию можно, например, составить функциональную зависимость изменения зазора между тормозными накладками и барабанами передних колес автомобиля ГАЗ-3308 «Садко» при эксплуатации еще до его производства. Начальное значение параметра (a_0) определяется еще на этапе конструирования автомобиля (для данного случая $a_0 = 4$ мм). Закономерность изменения зазора между тормозными накладками и барабанами передних колес данного автомобиля с большой вероятностью имеет вид:

$$y = 4 + 0,05 l.$$

Нетрудно видеть, что линейная модель (14.9) случайного процесса при $\alpha = 1$ является частным случаем модели (14.11) и поэтому

$$v = \frac{\Pi_{\Pi} - \Pi_{Н}}{t}; \quad \Pi_{Н} = \Pi_0 + \Delta\Pi,$$

где $\Delta\Pi$ – изменение параметра за период приработки. Поэтому все предыдущие закономерности остаются в силе и для общего случая.

Тогда изменение параметра в эксплуатации можно оценить как

$$И(t) = |\Pi(t) - \Pi_{\Pi}| = \Delta\Pi + v_x t^{\alpha}, \quad (14.12)$$

а предельное изменение значение снижения

$$И(t) = |\Pi_{\Pi} - \Pi_{Н}| - \Delta\Pi, \quad (14.13)$$

где Π_{Π} и $\Pi_{Н}$ – предельное и номинальное значение параметра.

Показатель α для различных параметров состояния машин находится в пределах от 0,8 до 2,0 [69] (см. табл. 14.5, 14.6). 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.

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

Среднестатистический остаточный ресурс сопряжения определяется по результатам одной проверки

$$t_{\text{ост}} = t_i \sqrt{\frac{P_{\text{п}} - P_{\text{н}}}{P_t - P_{\text{н}}} - 1}, \quad (14.14)$$

где $P_{\text{н}}$, $P_{\text{п}}$ – начальное и предельное значение параметра; P_t – 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 составляют ориентир для решения этого вопроса.

Допустимая величина параметра машины – это такая величина, обеспечивающая безотказную эксплуатацию данного сопряжения или узла от

нынешнего до следующего диагностирования.

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 и множества других факторов. Конечно в этом случае нас будут интересовать основные параметры работы и ресурс основных, базовых деталей. Допустимое отклонение параметра Π выражают в долях предельного $\Pi_{\text{П}}$. Тогда оптимальное допускаемое значение параметра в абсолютных единицах

$$\Pi_{\text{ОПТ}} = \Pi_{\text{Н}} \pm (\Pi_0 \Pi_{\text{П}} + \Pi_1),$$

где Π_1 – диагностический параметр после приработки.

Знак «плюс» используют при росте, а знак «минус» – при убывании параметра с ростом наработки.

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

$$\Pi(t) = V_C t^\alpha + V_C t^\alpha Z_0(t) + \Delta \Pi, \quad (14.15)$$

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.

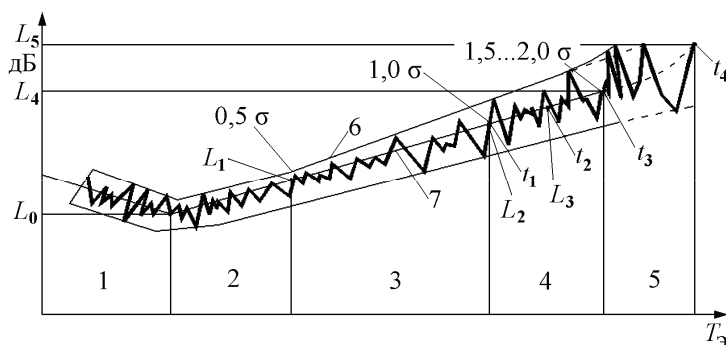


Рис. 14.11. Графическая модель изменения границ диапазона статически учитываемых уровней вибрации машин по времени наработки:

1 – участок снижения разброса уровней вибрации по мере приработки механизма; 2 – стационарный участок границы при малых значениях дисперсии; 3 – медленное повышение границы при слабом изменении дисперсии, слабом и медленном развитии неисправностей; 4, 5 – повышение границ при быстром развитии неисправностей; 6 – верхняя граница диапазона статически учитываемых уровней вибрации; 7 – среднеарифметические значения изменения вибрации; L_5 – аварийные уровни вибрации; L_4 – предельное значение уровня вибрации машины; L_3 – значения вибрации машины, требующие принятия мер; L_2 – допустимые значения вибрации; L_1 – удовлетворительное состояние; $T_э$ – время эксплуатации; $t_1 \dots t_2$ – участок периода зарождения и развития неисправностей; t_3 – фактический срок проведения ремонта; $t_3 \dots t_4$ – период появления отказов

процессе изменения состояния автомобиля границы верхних значений разброса параметров состояния (см. рис. 3.4) можно разделить на 5 характерных участков (рис. 14.11) [27]. Изменение на участке 1 для большинства машин после каждой новой сборки и при производстве имеет большой разброс, который стабилизируется, в основном, за первые 50...100 часов работы. Значение верхней границы статистически учитываемых параметров состояния на участке 2 и 3 можно представить

$$\Pi_2 = \bar{\Pi} + 0,5\sigma; \quad \Pi_3 = \bar{\Pi} + 0,5\sigma. \quad (14.16)$$

где $\bar{\Pi}$ – среднее значение диагностического параметра, σ – среднее квадратическое отклонение текущих изменений параметра (реализаций).

Крайнее положение наработки участка 3 распознается по превышению диагностического параметра и в общем случае характеризуется выработком 75 % ресурса машины. Изменение средних значений параметра по времени наработки на участке 2...3 приближается к линейной зависимости, после чего начинается медленный экспоненциальный рост параметра до момента наступления отказа (на участке 4), где интенсивность появления неисправностей выше, чем на участке 3 представляется

$$\Pi_4 = \bar{\Pi} + 1,5...2,0\sigma$$

Из рис. 14.11 следует, что для прогнозирования пробега новых автомобилей исходный диагностический параметр можно определять для классов вибрации 1, 2 (см. рис. 2.2) по формуле (14.16). Если взять $\bar{\Pi}$ с календарным временем, то практически к временному ряду среднего значения в функции от времени.

Представленная графическая модель изменений диагностического параметра вибрации может быть использована для изменения других диагностических параметров в системах автоматического контроля технического состояния машин.

В работах [69, 70] установлено, что независимо от того какова зависимость изменения параметра от наработки реального объекта, ее определяют по такой же формуле (14.9) 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.

Итак, 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 от-

каз 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:

$$n = \frac{1}{1 - \alpha \sqrt[n]{\Pi_d / \Pi_p}}, \quad (14.17)$$

где n – количество проверок; Π_p – 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:

$$\Pi_d = 0,5^\alpha \Pi_p, \quad (14.18)$$

При $\alpha = 1$ $\Pi_d = 0,5 \Pi_p$, 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:

$$t = \alpha \sqrt[n]{\Pi_d / \Pi_p} (n-1) t_M. \quad (14.19)$$

Если, например, $\alpha = 1$; $n = 2$; $\Pi_d = 0,5 \Pi_p$, то остаточный ресурс сопряжения составляет:

$$t_p = 2 t_M. \quad (14.20)$$

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:

$$\Pi_{\text{до}}^{\text{опт}} = \sqrt[d]{\frac{m}{(d-m)(N-1)}}, \quad (14.21)$$

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:

$$Q(\Pi_{\text{до}}) = \Pi_{\text{до}}^d \quad (14.22)$$

и фактического остаточного ресурса:

$$t_{\text{ф}}^O(\Pi_{\text{до}}) = t^O \Pi_{\text{до}}^m, \quad (14.23)$$

где t^O – время относительной межконтрольной наработки

$$t^O = t_{\text{CP}}/t_m.$$

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 $0,5^a$, а затем остается неизменной;
- 2) при $\Pi_{\text{до}} = 1$ вероятность отказа равняется единице;
- 3) с уменьшением периодичности диагностирования t_M 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:

$$R_{\text{ост}} = 1 - a t^a; \quad (14.24)$$

$$R_{\text{исп}} = a t^a. \quad (14.25)$$

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. 14.4, легко можно подсчитать величину коэффициента a :

$$a = 1/t_{\Pi}^{\alpha},$$

где t_{Π} – 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

$$\Pi = \Pi_0 + Kt^{\alpha}. \quad (14.26)$$

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 рассчитать по формуле

$$t_{\text{ОСТ}} = t_0 \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{ПР}} - \Pi_0}{\Pi_i - \Pi_0}} - 1 \right). \quad (14.27)$$

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.

Если наработка с начала эксплуатации машины неизвестна, остаточный ресурс механизма определяют из выражения

$$t_{\text{ОСТ}} = \lambda t'_{\text{ОСТ}}. \quad (14.28)$$

Условный остаточный ресурс

$$t'_{\text{ОСТ}} = t_i \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\text{ПР}} - \Pi_0}{\Pi_i - \Pi_0}} - 1 \right). \quad (14.29)$$

где t_i – наработка между двумя проверками.

Коэффициент λ равен:

$$\lambda = 1 / \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_i - \Pi_0}{\Pi_{i-1} - \Pi_0}} - 1 \right). \quad (14.30)$$

где Π_i и Π_{i-1} – значения параметра, полученные при последней и предыдущей проверках.

14.5 Прогнозирование по допустимым значениям параметров с использованием таблиц-графиков и номограмм

Известно, что предельным значением коэффициента использованного ресурса является единица. При этих условиях формула (14.25) приобретает вид:

$$1 = a t^{\alpha}, \quad (14.31)$$

откуда

$$a = 1/t_{\Pi}^{\alpha}. \quad (14.32)$$

Обозначим периодичность проверок состояния сопряжения через t_M . Тогда формула (14.32) приобретет вид:

$$a = \frac{1}{(t_H + t_M)^{\alpha}}, \quad (14.33)$$

где t_H – наработка до последней проверки:

$$t_H + t_M = t_{\Pi}.$$

Таким образом, на момент t_H величина коэффициента использованного ресурса должна иметь допустимое значение, которое обеспечивает безотказную эксплуатацию сопряжения на протяжении срока t_M , то есть

$$R_{\text{ОСТ}}^{\text{ДОП}} = a t_H^{\alpha}$$

или, учитывая выражение (14.33)

$$R_{\text{ОСТ}}^{\text{ДОП}} = \left(\frac{t_H}{t_H + t_M} \right)^{\alpha}. \quad (14.34)$$

Из формулы (14.30) видно, что величина $R_{\text{ОСТ}}^{\text{ДОП}}$ может принимать любые значения в зависимости от комбинаций значений t_H и t_M .

Очевидно, что допустимому значению коэффициента использованного ресурса должно соответствовать допустимое значение измеренного параметра, то есть:

$$R_{\text{ОСТ}}^{\text{ДОП}} = \frac{\Pi_{\text{ДОП}} - \Pi_{\text{Н}}}{\Pi_{\text{П}} - \Pi_{\text{Н}}}, \quad (14.35)$$

откуда

$$\Pi_{\text{ДОП}} = \Pi_{\text{Н}} + R_{\text{ОСТ}}^{\text{ДОП}} (\Pi_{\text{П}} - \Pi_{\text{Н}}), \quad (14.36)$$

или, учитывая формулу (14.34):

$$P_{\text{доп}} = P_H + \left(\frac{t_H}{t_H + t_M} \right)^\alpha (P_{\Pi} - P_H). \quad (14.37)$$

Формулу (14.38) применяют для вычисления допустимых значений параметров, величина которых в процессе эксплуатации машины увеличивается, то есть параметров, которые имеют

$$P_{\Pi} > P_H.$$

Для тех параметров, которые в процессе эксплуатации уменьшаются ($P_{\Pi} < P_H$), формула (14.37) приобретает следующий вид:

$$P_{\text{доп}} = P_H - \left(\frac{t_H}{t_H + t_M} \right)^\alpha (P_H - P_{\Pi}). \quad (14.38)$$

Величина $P_{\Pi} - P_H$ или $P_H - P_{\Pi}$ представляет собой зону возможных изменений параметра в процессе эксплуатации машины к моменту достижения предельного значения, то есть отказу данного элемента машины. Между величинами P_{Π} и P_H размещено поле допустимых значений параметра.

Применение формул (14.37) или (14.38) во время выполнения диагностических работ не совсем удобно, учитывая необходимость сложных для диагноста вычислений. Поэтому для практического использования допустимых значений разработаны специальные справочные таблицы, в которых предварительно выполнены расчеты для всех возможных сочетаний наработки машины, показателя степени α и времени до следующей проверки (диагностирования). Правила составления таблиц, графиков и номограмм, на основе формул (14.34), (14.35) и (14.36) рассмотрены в [34, 69, 70].

Для облегчения расчетов окончательного ресурса используются специальные номограммы [34, 35, 69, 70].

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 (14.27)

$$t_{\text{ост}} = t_H \left(\sqrt[\alpha]{\frac{P_{\Pi} - P_H}{P_i - P_H}} - 1 \right),$$

где t_H – наработка на момент диагностирования; P_H , P_{Π} , P_i – номинальное, предельное и измеряемое значение параметра.

Таким образом, измерив на каком-то пробеге l_i величину диагностиче-

ского 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 цилиндро-поршневой группы двигателя) по выражению (14.29)

$$l_{\text{ост}} = l_i \left(\alpha \sqrt{\frac{\Pi_{\text{П}} - \Pi_H}{\Pi_i - \Pi_H}} - 1 \right),$$

где α – степень, определяющая характер изменения диагностического параметра в зависимости от l .

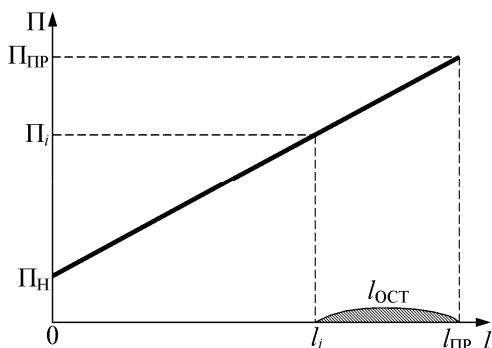


Рис. 14.12. Характер изменения параметров технического состояния объекта по наработке (пробегу)

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. 14.12)

$$\begin{aligned} l_{\text{ост}} &= 70 \left(\sqrt{\frac{120 - 20}{80 - 20}} - 1 \right) = \\ &= 70 \cdot 0,29 = 20,3 \text{ тыс. км.} \end{aligned}$$

В перспективе будут разработаны и созданы специальные диагностические информационно-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.

14.6 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. 14.13.

Для классического случая износа сопряжений прогнозирование остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ наглядно поясняет рис. 14.13. Сравнивая измеренное значение параметра Π_i с нормативным (предельным или допускаемым) $\Pi_{\text{П}}$, делают заключение об остаточном ресурсе $t_{\text{ост}}$.

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 нагрузки объекта на изменение метрологических показателей диагностирования и управлении характеристиками достоверности в эксплуатации.

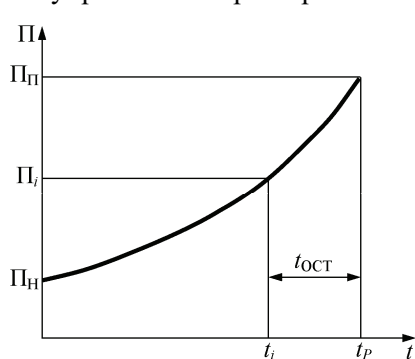


Рис. 14.13. Прогнозирование по реализации параметра

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 трудности, связанные 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.

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 ($\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$, рис. 14.14). 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 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 $\Pi_4 B$, образующий угол α с касательной $\Pi_4 A$. 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.

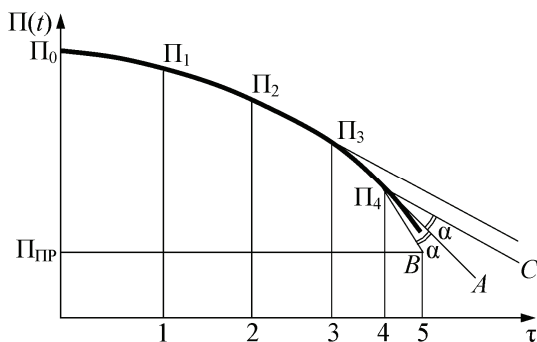


Рис. 14.14. Графическая модель прогнозирования технического состояния машины:

Π — диагностируемый параметр; τ — наработка;
 $\Pi_0, \Pi_{гр}$ — начальное и предельное значение параметра; 1, 2, 3, 4 — последовательные диагностирования, при которых получены значения параметра $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$; B — прогнозируемая наработка, соответствующая достижению предельного значения параметра $\Pi_{гр}$

Из рис. 14.14 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 автомобиля из капитального ремонта.

Остаточный ресурс ($t_{ост}$) конкретного элемента при известной наработке с начала эксплуатации определяют как разность между наработкой до

его предельного состояния и наработкой в момент контроля по формуле

$$t_{\text{ост}} = t \left[(U_{\Pi} / U_t)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (14.39)$$

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:

$$U_{\Pi} = |\Pi_{\text{Н}} - \Pi_{\Pi}|. \quad (14.40)$$

Изменение значения параметра U_t определяется как разность между измеренной величиной параметра (Π_t) при наработке t и его номинальной (исходной) величиной $\Pi_{\text{Н}}$:

$$U_t = |\Pi_{\text{Н}} - \Pi_t|. \quad (14.41)$$

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:

$$t_{\text{ост}} = t' \left[\frac{1}{(U''/U')^{1/\alpha}} + 1 \right] \left[\left(\frac{U_{\Pi}}{U''} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (14.42)$$

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:

$$U' = |\Pi' - \Pi_{\text{Н}}|. \quad (14.43)$$

Изменение значения параметра U'' определяют как разность между номинальным $\Pi_{\text{Н}}$ и измеренным значением Π'' параметров при второй проверке:

$$U'' = |\Pi'' - \Pi_{\text{Н}}|. \quad (14.44)$$

Для облегчения выполнения расчетов формулу (14.42) преобразуют в виде

$$t_{\text{ост}} = t''_{\text{ост}} R; \quad (14.45)$$

$$R = \frac{1}{(U''/U')^{1/\alpha}} + 1; \quad (14.46)$$

$$t''_{\text{ост}} = t' \left[\left(\frac{U_{\Pi}}{U''} \right)^{1/\alpha} - 1 \right]. \quad (14.47)$$

Определение остаточного ресурса по формуле (14.39) проводят в следующей последовательности:

- вычисление U_{Π} и U_i по формулам (14.40) и (14.41) и их отношения;
- вычисление выражения в скобках, связанное с логарифмированием при извлечении корня степени α (значение α – по табл. 14.6);
- умножение результата в скобках на t .

Определение остаточного ресурса по формуле (14.42) проводят в такой последовательности:

- вычисление U_{Π} , U' , U'' по формулам (14.40), (14.43), (14.44) соответственно;
- вычисление выражения в скобках, связанное с логарифмированием;
- вычисление R и $t'_{\text{ост}}$ по формулам (14.46) и (14.47);
- определение остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ по формуле (14.45).

Прогнозирование по реализации иллюстрируется рис. 14.15.

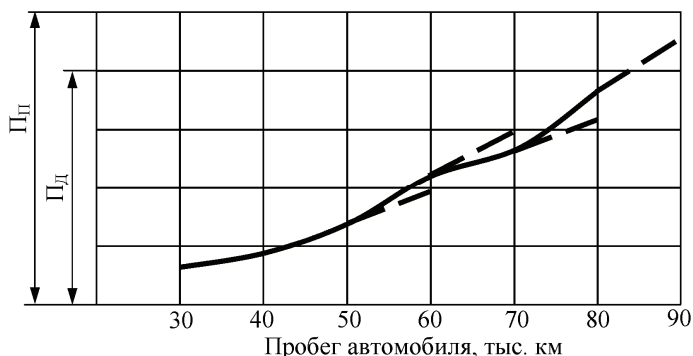


Рис. 14.15. Определение остаточного ресурса элемента автомобиля по фактическому изменению параметра (по реализации)

Прогнозирование по реализации изменения диагностического параметра, принятого для совокупности однотипных агрегатов узлов и сопряжений, может характеризоваться экстраполяцией изменения параметра Π от номинального Π_{Π} до предельного Π_{Π} значения и средним квадратическим отклонением от фактического значения.

Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ в любой момент t_i наработки определяется как

$$t_{\text{ост}} = t_p - t_i = t_i \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\Pi} - \Pi_{\Pi}}{\Pi_i - \Pi_{\Pi}}} - 1 \right), \quad (14.48)$$

где t_p – ресурс составной части; α – эмпирический показатель, характеризующий закономерности изменения значений диагностируемого параметра (см. табл. 14.6).

Средняя погрешность в оценке остаточного ресурса

$$Q(t_0, \Pi_0) = \frac{\sigma t}{\bar{t}} \left(\sqrt[\alpha]{\frac{\Pi_{\Pi} - \Pi_{\Pi}}{\Pi_0 - \Pi_{\Pi}}} - 1 \right). \quad (14.49)$$

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

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{исп}} \left[\frac{1}{\left(\frac{\Pi_1 - \Pi_{\Pi}}{\Pi_2 - \Pi_{\Pi}} \right)^{1/\alpha}} - 1 \right] \left[\left(\frac{\Pi_{\Pi} - \Pi_{\Pi}}{\Pi_2 - \Pi_{\Pi}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (14.50)$$

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 (14.49) и (14.50) применяются в случае гладкой реализации параметра (см. рис. 5.9), 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 [34] 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 определяют как

$$t_{\text{ост}} = T_{\text{ср}} - t_{\Phi}(D), \quad (14.51)$$

где $T_{\text{ср}}$ – средний ресурс; $t_{\Phi}(D)$ – фактически использованный ресурс.

Величину $t_{\Phi}(D) = t_{M^0 \Phi}(D)$ находят с помощью номограммы [34]. Последовательность поиска:

$$T_0 \rightarrow v(\alpha) \rightarrow D_0 \rightarrow T_0 \rightarrow t_{\Phi}^0(D). \quad (14.52)$$

Здесь относительные безразмерные величины определяются как

$$T_0 = \frac{T_{\text{CP}}}{t_M}; \quad D_0 = \frac{D}{|\Pi_{\text{П}} - \Pi_{\text{Н}}|}; \quad t_{\Phi}^0(D) = \frac{t_{\Phi}(D)}{t_M}, \quad (14.53)$$

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 (14.51), 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 трудность 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 – 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 позволяют с одинаковой достоверностью прогнозировать остаточный ресурс всех составных частей машины, особенно объектов, агрегатов разного класса качества изготовления 3 и особенно класса 4 (см. рис. 2.2). 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, 2.2).

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.

14.7 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:

$$R_{исп1} = a T_1^\alpha; \quad R_{исп2} = a T_2^\alpha. \quad (14.54)$$

Если разделить первое уравнение на второе и прологарифмировать выражение, то получим

$$\ln \frac{R_{исп1}}{R_{исп2}} = \alpha \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (14.55)$$

откуда

$$\alpha = \ln \frac{R_{исп1}}{R_{исп2}} / \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (14.56)$$

С помощью этой формулы получают действительное и достаточно точное значение показателя степени α для данного типа сопряжения.

Потом с помощью формулы (14.54) определяют величину a :

$$a = \frac{R_{\text{исп1}}}{T_1^\alpha} = \frac{R_{\text{исп2}}}{T_2^\alpha}. \quad (14.57)$$

Время работы сопряжения от начала эксплуатации определяют из условия $R_{\text{исп}} = 1$, то есть:

$$T_{\text{ГР}} = (1/a)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (14.58)$$

Остаточный ресурс подсчитывают по формуле

$$T_{\text{ЗД}} = T_{\text{ГР}} - T_2 = \left(\frac{1}{a}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - T_2. \quad (14.59)$$

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.

14.8 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. 2.2) при одной и той же наработке 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 других причин, действие которых может происходить одновременно, при этом одни из условий увеличивают интенсивность изнашивания механизма, 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 обуславливает, 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 интенсивным 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), вероятно 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.



Рис. 14.16. Классификация прогнозирующих функций процессов

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. 14.16 [67]. Общего математически строгого метода выбора прогнозируемых параметров в настоящее время не существует. Выбор прогнозируемых параметров объектов автомобиля целе-

сообразно рассматривать в комплексе задач выбора контролируемых параметров машины ибо 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 предотказового состояния до момента возникновения отказа;
- 2) динамику предотказового 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 установления 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.

14.9 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 отрезка 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. 14.17, 14.18 [6].

Алгоритм двухступенчатого контроля (см. рис. 14.17) 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.

Для увеличения межконтрольного интервала, а следовательно, сниже-

ния эксплуатационных расходов, возможно применение многоступенчатого контроля (см. рис. 14.18).

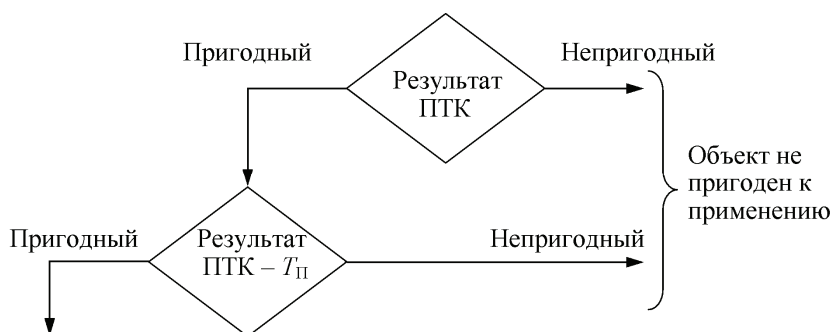


Рис. 14.17. Блок-схема алгоритма проведения двухступенчатого прогнозирующего контроля

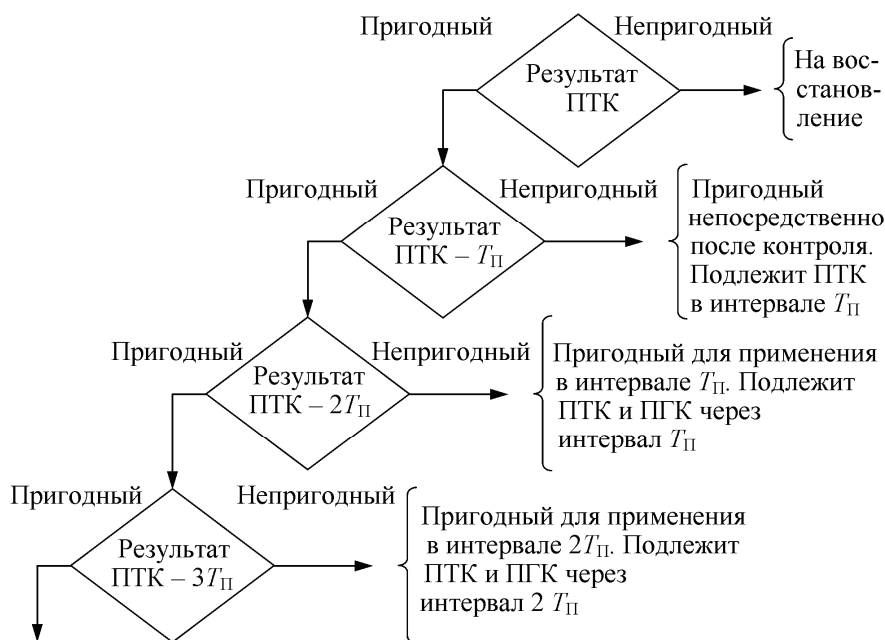


Рис. 14.18 Блок-схема алгоритма проведения многоступенчатого прогнозирующего контроля

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} (ПГК – T_{Π} , ПГК – $2T_{\Pi}$, ПГК – $3T_{\Pi}$ и т.д.). Последний в этой последовательности шаг с результатом «годный», получен-

ный 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. [6].

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.

14.10 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. 14.19.

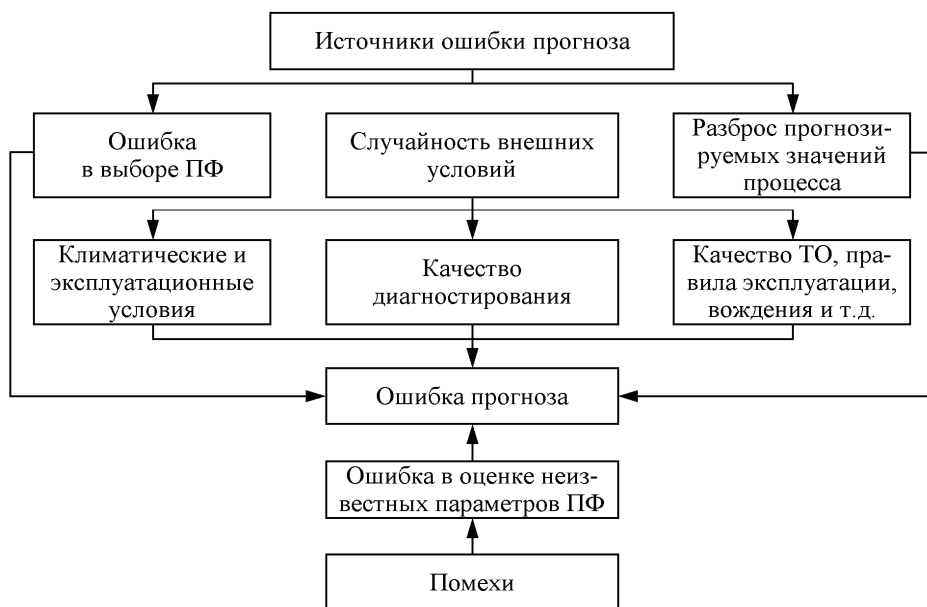


Рис. 14.19. Факторы, влияющие на образование ошибки прогноза

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 Что значит прогнозировать техническое состояние автомобиля?
- 2 Какие существуют подходы к решению задач прогнозирования технического состояния объектов диагностирования автомобиля?
- 3 Приведите классические статистические методы оптимального решения задач прогнозирования.
- 4 Какие задачи прогнозирования технического состояния на стадии проектирования и производства автомобилей?
- 5 Какие задачи прогнозирования технического состояния объектов диагностирования при эксплуатации автомобилей?
- 6 Что понимается под остаточным ресурсом объекта диагностирования?
- 7 Какие первоочередные агрегаты автомобилей требуют...

- 8 Как решаются задачи технической ретроспекции объектов автомобиля?
- 9 Как выполняются задачи отбора и оценки информативных признаков для прогнозирования технического состояния?
- 10 Приведите три существующих метода прогнозирования технического состояния, дайте оценку преимуществ и недостатки этих методов.
- 11 Приведите классификацию статистических методов прогнозирования остаточного ресурса силовых агрегатов.
- 12 Как производится прогнозирование технического состояния по методу реализации? На чем основан этот метод?
- 13 Опишите три полных цикла прогнозирования состояния в прошлом.
- 14 Объясните понятия технический и экономический критерии оценки технического состояния.
- 15 Как производится прогнозирующая экстраполяция технического состояния?
- 16 Объясните понятия остаточный и предельный ресурс.
- 17 В чем суть методов экспертных оценок технического состояния?
- 18 Приведите источники неопределенностей при прогнозировании ресурса.
- 19 Какие вопросы эксплуатации автомобилей позволяет решить прогнозирование?
- 20 В чем заключаются методы аналитического прогнозирования? Как выбирать их показатели?
- 21 Что включает в себя теория прогнозирования остаточного ресурса и, в частности, детерминированные и вероятностные части?
- 22 Объясните суть метода линейного прогнозирования, его преимущества и недостатки.
- 23 На чем основаны методы среднестатистического прогнозирования и его недостатки.
- 24 Опишите графическую модель изменения диапазона статистически учитываемых параметров и их значения в определении остаточного ресурса и периодичности ТО (см. рис. 3.4 и 14.11).
- 25 Как производится прогнозирование остаточного ресурса и ТО по наработке (пробегу).
- 26 Каковы преимущества и недостатки прогнозирования по реализации?
- 27 Как производится прогнозирование остаточного ресурса объектов диагностирования автомобиля с использованием карточки учета?
- 28 Как производится прогнозирование по результатам одного и двух диагностирований?
- 29 Расскажите о преимуществах индивидуального прогнозирования объектов диагностирования.
- 30 Приведите алгоритмы прогнозирования технического состояния электронными системами диагностирования.
- 31 Приведите факторы, влияющие на ошибки прогноза ресурса.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авария – 88
- Автоматизированное управление техническим состоянием – 114
- Автообслуживающее предприятие – 387
- Автотранспортное предприятие (АТП) – 387
 - производственный процесс – 398
 - технологические процессы – 397
- Базы централизованного технического обслуживания (БЦТО) – 388
- Величина – 27
 - физическая – 28
 - единица измерения – 29
 - значение – 28
 - действительное – 29
 - истинное – 29
 - размер – 28
- Взаимосвязь структурных и диагностических параметров – 123
 - единичная – 125
 - комбинированные – 126
 - множественная – 125
 - неопределенная – 125
- Вибрация – 193-197
- Воспроизводимость – 30
- Время простоя в ремонте – 430
- Выключение системы – 88
- Выходные рабочие процессы – 123
- Гаражи-стоянки (Г-С) – 388
- Генезис – 15
- Готовность – 64
- Граф – 255
- Граф-модель – 256, 257
 - в пространстве параметров – 259
 - в пространстве свойств – 258
- Двигатель, совершенствование конструкции – 71
- Деградация – 26
- Детерминистская логика – 244
- Дефекты – 53, 87, 88
 - восстановления – 79
 - испытания – 80
 - классификация – 56, 86
 - комплектующих – 79
 - механического происхождения – 82
 - прогрессивные – 58
 - реверсивные – 58
 - регрессивные – 58
 - ремонтного производства – 83
 - сборки – 79
 - стадии развития – 86
 - физические – 89
- Диагностирование (диагностика) техническое (контроль) – 11, 12, 17, 22, 23, 50, 169, 296, 304, 324, 342, 343, 344, 387, 399, 404, 407, 447
 - автоматизированных систем контроля – 367
 - алгоритм – 23, 215, 273, 281, 282, 339, 340
 - оптимизация – 280, 340
 - условный – 237
 - функция преимущества (ФП) – 280, 283
 - бортовые системы – 372, 409
 - виброакустическое – 202
 - достоверность – 19, 25
 - Д-1 – 403
 - Д-2 – 404
 - Д_А – 409
 - Д_Г – 409
 - Д_{ЗВ} – 408
 - Д_К – 406
 - Д_П – 409
 - Д_Р – 405
 - Д_Э – 408
 - задачи – 14, 15, 23, 321, 323, 339, 396
 - эксплуатационные – 16
 - зона – 400
 - безопасность – 402
 - документация – 401
 - информативные признаки – 452
 - по показателям качества – 241
 - классификация – 202-204, 390, 450
 - по комплексу диагностических параметров – 354
 - методы – 24, 173, 207
 - аналитические – 223
 - аппаратные – 208
 - Байеса – 242
 - вибрационные – 193, 199

- Вальда — 243
- выбор — 206
- по геометрическим параметрам — 187
- графические — 224
- допускового контроля — 208, 241
- по значениям входных параметров — 241
- измерительные — 173
- индикационные — 226
- интуитивный — 227
- имитационные — 224
- инструментальные — 184, 186
- интеллектуальные — 182
- классификация — 175
- контактный — 185
- косвенные — 184, 185
- корректирующих кодов — 211
- кода Хэмминга — 212
- мажоритарного контроля — 210, 211
- оптические — 192
- поисковые — 226
- последовательного анализа — 359
- программно-логические — 190
- прямые — 184
- по рабочим параметрам — 186
- по сопутствующим параметрам — 186
- сравнения с эталоном — 210
- статистические — 242
- статодинамические — 191, 192
- по структурным (геометрическим) параметрам — 186, 187
- физические — 179
- эвристические — 183
- экспериментальные — 173
- энергетические — 191
- морфологическое обеспечение — 27
- наземно-бортовые системы — 409
- непрерывное — 25
- по нормативным параметрам — 348, 349
- нормирование периодичности — 432
- оборудование — 288, 289, 301
- объекты — 13, 32, 43, 47
- дискретные — 46
- первоочередные — 44
- разделение — 47
- сигналы — 206
- смешанные — 46
- физические характеристики — 118
- функции качества — 171
- организация производства — 389, 396
- основные средства — 389
- периодичность проведения — 389, 424, 433
- затраты — 434
- оптимальная — 435
- расчет — 434
- по технико-экономическим показателям — 432
- по показателям мощности, экономичности и влияния на окружающую среду — 405
- полнота — 25
- последовательность выполнения работ — 389
- поэлементное — 260
- при проектировании — 11
- предмет — 12
- прогнозирующее — 453
- рабочее — 25
- режим — 47, 49
- неустановившийся (динамический) — 49
- реальный — 49
- установившийся (статический) — 49
- система — 24, 25, 202, 298, 299, 300
- скорость — 131
- средства — 15, 24, 173, 288, 289, 290, 310, 391, 392
- автоматизированные — 344
- безопасность движения — 303
- вид представляемой информации — 292, 293
- внешние — 290, 305
- — встроенное оборудование — 290, 295, 297
- подвижность — 290
- тип привода рабочих органов — 290
- принцип действия (методу контроля) — 290
- смешанное оборудование — 291
- степень специализации — 290
- технологическое расположение — 290, 291
- уровень автоматизации — 290
- функциональное назначение — 289

- фирмы Autologic – 319
- фирмы Bosch – 310
- фирмы Nextech – 316
- фирмы SUN – 315
- фирмы Теха – 318
- стоимость удельная – 131
- структура – 101, 247, 335, 336, 387, 399
- субъект – 13
- теоретическая – 220
- тестовое – 25, 325, 327, 328
- точность – 19, 26
- функциональное – 330, 331, 332
- при эксплуатации – 11
- шины данных – 384
- электрических и электронных систем – 202
- эффективность экономическая – 424, 425, 435, 438
- – функционально-статистический критерий – 440
- Диагностические системы управления – 364
- Зазор – 149
- в сопряжениях номинальные, допустимые и предельные – 145
- Замена механических связей информационными – 71
- Замыкание – 87
- Знания, необходимые диагносту – 400
- Измерение – 27
- единство – 27
- метод – 30
- принцип – 29
- результат – 30
- – погрешность – 30
- – сходимость – 30
- – точность – 30
- физических величин – 29
- характеристики – 29
- Износ – 77, 425
- нарастание – 142
- предельный – 150
- сопряжения – 140
- усталостный – 78
- на холостом ходу – 71
- Изоморфизм – 27
- Информативность признаков – 168
- Исполнительные устройства – 378
- Исправность – 67
- Испытание – 27
- Исходные процессы в механизме – 227
- Качество
 - показатели – 39
 - эксплуатационное – 39
- Квантили нормального распределения – 160
- Кодировка аналоговых диагностических сигналов – 98
- Коды неисправностей – 373, 374
- Контролепригодность – 23, 101
- коэффициент – 112
- оценка – 110
- Контроллер связи бортовой – 380
- Контроль (техническое диагностирование) – 17, 27
- датчиков – 377
- достоверность – 367, 370
- технического состояния – 24
- прогнозирующий
 - – автоматических систем диагностирования – 499
 - – двухступенчатый – 500
 - – многоступенчатый – 500
- эффективность – 367
- Критерий
 - технико-экономический – 136, 151
 - технический – 136, 149
 - технологический – 152
 - экономический – 151
- Коэффициент технического использования – 440
- Коэффициент технической готовности – 439
- Линия технического контроля – 304, 306
- Люфт в рулевом управлении – 64
- Матрицы
 - диагностические – 244, 245, 354, 355
 - – в методе Байеса – 246
 - состояний (МС) – 265, 268
 - – выходная – 270
 - – по методу отрицательной проверки – 271
 - – сокращенная – 270
- Метрология – 27
- Мобильная связь – 410
- Модели – 218, 222, 253

- адаптивные – 225
- аналитические – 223, 239
- вероятностные – 225, 240
- гибридные – 222
- глубина описания – 224
- графоаналитические – 224
- детерминированные – 240
- диагностические (ДМ) – 24, 215, 217, 223, 225, 235, 260, 263, 264
- дискретные диагностические – 222, 266, 268
- идеализированная структурная – 255
- интуитивные – 226
- информационные – 228
- комбинированные – 222
- корреляционные – 225
- математические – 233, 235, 236
- – основное назначение – 238
- методы исследования – 235
- неявные – 220
- специальные – 222
- способ формирования – 224
- структурно-наследственные – 247-249
- структурные – 247, 248, 250
- функционально-диагностические – 263, 265
- функционально-логические – 229, 247, 251
- функционально-структурные – 252, 254
- цифровые диагностические – 271
- эквивалентная нормальная форма (ЭНФ) – 273
- электрических систем – 263
- энергетических воздействий – 79
- явные – 220
- Моделирование – 462
- информационное – 228
- логическое – 230
- математическое – 230
- функциональное – 228
- Мониторинг – 25
- Морфологический анализ – 217, 260
- Мультиметр цифровой – 310
- Мультиплексор – 272
- Навигация – 410
- Надежность – 53, 64, 431
- влияние на – 68
- механических, газогидроаэродинамических и электронных систем – 63
- проектная – 40
- Наработка – 85, 126, 347, 478, 485
- Насыщенность региона автомобилями – 415
- Неисправности – 53, 61, 76, 87, 88, 361, 374, 375
- алгоритмы поиска – 338, 375
- алгоритм устранения – 375
- временные – 93
- типа «задержка» – 90
- замыкания – 90
- интенсивность – 93
- классификация – 56, 67
- контактная – 94
- локализация – 188, 342
- – быстроедействие, достоверность, точность, эффективность – 342
- методы поиска
- – автоматический – 188
- – дедуктивный – 191
- – дерево функций – 191
- – комбинационный – 189
- – последовательный – 189, 335
- механического происхождения – 82
- спонтанные – 93
- стадии развития – 86
- структура функций – 97, 98
- таблица (ТН) – 254, 264
- текста программ – 93
- типовые модели – 90, 92
- транзисторные – 90
- функциональные – 93
- – микропроцессоров – 93
- в эксплуатации – 78
- электронных систем управления – 87
- электрооборудования – 87
- Номограмма – 484
- Нормализация – 106, 154
- Нормативы диагностические – 137, 351
- Нормирование классов качественной оценки технического состояния – 166
- Нормы пробега – 349
- Обеспечение
- диагностическое – 23, 101
- единства измерений – 27

- метрологическое – 28
- Обрыв цепи – 87
- Обслуживание техническое – 26, 50
- методы определения периодичности
 - – аналогий и уточнений – 427
 - – визуально-диагностический – 427
 - – по допустимому уровню безотказности – 427
 - – по минимуму суммарных затрат – 428
 - – технико-экономический – 428
- нормативы периодичности – 349
- планово-предупредительное – 50
- схема расходов – 426
- Ограничение подачи топлива – 71
- Осмотр технический – 26
- Осциллограф – 309
- Отказ – 21, 60, 65, 76, 80, 137, 361, 425
 - внезапный – 84
 - зависимый – 83
 - классификация – 67, 84, 86
 - критичность – 83
 - конструктивный – 80
 - независимый – 83
 - основные причины – 88
 - перемежающийся (сбой) – 84
 - полный – 84
 - постепенный – 84
 - потенциальные источники – 83
 - производственный – 81
 - стадии развития – 85
 - трудоемкость устранения – 86
 - частичный – 84
 - частота возникновения (наработка) – 85
- Отказоустойчивость – 27
- Ошибка – 87
- Параметры
 - диагностические – 116, 119, 123, 126, 132, 134, 167, 173, 291
 - – выбор – 117
 - – графические модели – 478
 - – допустимое значение – 136
 - – зазоров в сопряжениях – 140
 - – информативность – 129
 - – – графическая интерпретация – 130
 - – исходные – 136
 - – локальный (частный) – 136
 - – нормативные – 137
 - – нормирование – 116, 152, 162, 169
 - – – допускаемых значений – 163
 - – – методом толерантных границ – 159
 - – – номинальных значений – 155
 - – – предельных значений – 158, 164
 - – – статистическими методами – 162
 - – обобщенный (комплексный) – 136
 - – однозначность – 126
 - – предельное значение – 136
 - – скорость изменения – 152
 - – способы оценки – 260
 - – стабильность – 127
 - – стоимость – 131
 - – технологичность – 132
 - – чувствительность – 128
 - – электрических и электронных систем – 167
 - допуск – 136
 - контролируемые – 206
 - методы выбора
 - – – коэффициентов влияния – 207
 - – – математического моделирования – 207
 - – – оптимальные – 207
 - – – факторного анализа – 207
 - – – экспертных оценок – 207
 - реализация – 136
 - ресурсные – 63, 135, 136
 - состояния – 24, 122, 133, 135
 - структурные – 123, 124
 - функциональные – 135
- Передача данных – 381
 - алгоритм – 383
- Плохой контакт соединения – 87
- Повреждения
 - коррозионные – 78
 - материала изделия – 76
 - механические – 77
 - в эксплуатации – 78
- Поиск последовательный и комбинационный – 227
- Поля допусков на параметр – 171
- Помехостойкость – 384
- Правильность – 30
- Предельное состояние, критерии – 36, 81, 83
- Признаки диагностические – 124, 134
- Пробой – 87

- Прогнозирование – 15, 444, 447, 454, 445, 465, 466
 - аналитическое – 465, 466
 - вероятностное – 240
 - графическая модель – 487
 - детерминированных процессов – 467
 - индивидуальное – 494, 497
 - с помощью классификаторов – 451
 - классификация
 - задач – 450, 454
 - методов – 455
 - критерии – 459
 - технические – 459
 - методы – 459, 460
 - классификации – 464
 - линейное – 470
 - математические – 448
 - моделирования – 462
 - по реализации – 485
 - системные – 448
 - статистические – 445, 462
 - физико-статистические – 462
 - экспертных оценок – 462
 - экстраполяции – 464
 - неопределенность – 463
 - с помощью номограмм – 483
 - однолинейная схема – 468
 - остаточного ресурса – 454, 456, 468
 - с использованием карточки учета – 491
 - по признакам (на основе теории распознавания образов) – 496
 - по результатам двух диагностированных – 493
 - по среднему статистическому измерению – 473
 - среднестатистическое – 474
 - с помощью таблиц-графиков – 483
 - технического состояния – 444
 - эвристическое – 445
 - этапы – 459
- Проектирование машин – 32, 446
 - на безопасный ресурс – 33
 - классификация надежности – 33
 - технический уровень – 32, 198
- Работоспособность – 59, 67, 345
 - экономические критерии – 461
- Работы
 - контрольно-диагностические – 403, 406, 407
 - контрольные после обслуживания – 408
 - крепежные – 406
 - регулировочные – 403, 405
 - по системе питания двигателя – 408
 - смазочно-очистительные – 408
 - электротехнические – 408
 - шинные – 408
- Разрушение
 - усталостное – 78
- Распознавание
 - детерминистские подходы – 241
 - кодов неисправностей – 305
 - критерий – 103
 - образов – 26, 101, 103
 - размытых множеств – 106
 - системы – 103
 - вероятностные – 104
 - детерминированные – 104
 - с использованием метода потенциалов – 105
 - логические – 104
 - нейронные и нейронечеткие сети – 105
 - структурные – 104
 - экспертные – 105
- Резерв – 26
- Резервирование – 26
 - структурное – 26
- Режим «Стоп-кадр» – 374
- Ремонт – 26, 50
 - аварийный – 433
- Ресурс – 136, 345
 - безопасный – 35
 - назначение – 34
 - остаточный – 136
 - оптимальный – 461
 - предельный – 461
 - по фактическому изменению параметра (по реализации) – 489
 - ошибки прогноза – 501, 502
- Самодиагностирование (самодиагностика) – 17, 25
- Самоконтроль – 17, 361, 364
 - датчиков – 368
 - достоверность – 367
 - технических систем – 361
 - типичные операции – 365

- Сбой – 87
 - основные причины – 88
- Сервисный потенциал рынка – 422
- Сигнал контролируемый – 23
- Синтеза задача – 296
- Сканер – 308
- Соединения
 - системы – 66
 - шлицевые и шпоночные – 148
- Сопротивление электрическое высокое – 95
- Сопутствующие процессы – 123
- Спрос на услуги автосервиса, определение – 412, 415, 417-419, 421
- Станции диагностирования – 394, 402
- Станции технического обслуживания (СТО) – 388
- Старение – 26
 - классификация – 77
- Структура механизма – 62
- Схема функциональная – 264
- Таблицы (матрицы)
 - неисправностей – 96
 - – неразличимость состояний – 269
 - покрытий (ТП) – 274
 - циклическая – 277
- Тест диагностический – 25, 46, 273, 279
 - минимальный – 275
 - оптимальный – 275
 - создание
 - – методом сокращенного перебора – 276
 - – методом эквивалентной нормальной формы – 277
- Тестер – 305
- Техническое состояние – 15, 23, 36, 59, 238, 239, 445, 448
 - в жизненном цикле и безопасный ресурс – 71
 - информативные признаки – 449
 - по наработке (пробегу) – 485
 - нормирование классов – 353
 - нормы и классы качественной оценки – 352
 - предельное пар трения – 148
 - скорость изменения – 475
- Технологические факторы – 78
- Топология – 257
- Торможения эффективность – 64
- Точки контрольные – 23, 109
- Трещины – 77
- Управление техническим состоянием – 399
- Усталостный
 - износ – 78
 - разрушение – 78
- Цена проверки – 274
- Цепь
 - короткозамкнутая – 95
 - разомкнутая – 94, 95
- Шина данных – 383
- Эксплуатационные факторы – 78
- Эксплуатация – 22, 80
 - техническая – 22
 - – эффективность – 435
- Экспресс-диагностирование – 25
- Электронный блок управления – 169, 377

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1 ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 23 с.

2 ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования [Текст] : 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 [Текст] : Дата введения с 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

4 ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст] : Взамен ГОСТ 20911-75. Дата введения с 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

5 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 3. Методы диагностирования [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 550 с.

6 Чорний, Г. П. Автоматизовані системи контролю літальних апаратів [Текст] : навч. посіб. / Г. П. Чорний. – К.: НАУ, 2008. – 160 с.

7 Голобородько, О. О. Механотронні системи автомобільного транспорту [Текст] : навч. посіб. / О. О. Голобородько, В. В. Редчиць, О. М. Коробочка. – Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 300 с.

8 Губертус, Г. Диагностика дизельных двигателей [Текст] : пер. с нем. Ю. Г. Грудского / Г. Губертус. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.

9 Мигаль, В. Д. Теорія і методи наукової творчості [Текст] : навч. посіб. / В. Д. Мигаль. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2007. – 424 с.

10 Мигаль, В.Д. Модели оценки технического состояния и управления ресурсом и надежностью машин [Текст] / В. Д. Мигаль, А. В. Бажинов, М. С. Олискевич // Автомобильный транспорт. Сб. науч. трудов. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2003. – Вып. 13. – С. 30-34.

11 Мигаль, В. Д. Цели и задачи диагностирования машин в жизненном цикле [Текст] / В. Д. Мигаль // Вестник Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х. : Изд-во ХНАДУ, 2004. – № 23. – С. 39-41.

12 Мигаль, В. Д. Вибрационные принципы доводки машин до заданного ресурса [Текст] / В. Д. Мигаль // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: 2004. – № 7 (77), ч. 1. – С. 186-192.

13 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 2. Диагностические параметры [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 590 с.

14 Мигаль, В. Д. Вибрация и надежность транспортных машин [Текст] / 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.

15 Мигаль, В. Д. Принципы и алгоритмы проектирования транспортных машин на заданный ресурс по вибрационным характеристикам [Текст] / В. Д. Мигаль // Вестник Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2004. – Вып. 24. – С. 21-24.

16 Мигаль, В. Д. Оценка вибрации асинхронных электродвигателей

транспортных машин, проектируемых на заданный ресурс [Текст] / В. Д. Мигаль // Вестник Хар. нац. автом.-дорож. ун-та. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2004. – Вып. 24. – С. 15-20.

17 Мигаль, В. Д. Использование вибродиагностических методов при доводке надежности машин [Текст] / В. Д. Мигаль // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – № 7 (77), ч. 2. – С. 106-112.

18 Мигаль, В. Д. Повышение достоверности прогнозирования надежности машин [Текст] / В. Д. Мигаль // Автомобильный транспорт. Сб. науч. тр. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2005. – Вып. 16. – С. 25-30.

19 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей : справ. пособ. в 6 тт. : Том 5. Средства диагностирования. Книга 2 [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 459 с.

20 Мигаль, В. Д. Техническая безопасность автомобилей : справ. пособ. [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2011. – 202 с.

21 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 1. Дефекты производства и эксплуатационные неисправности [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 450 с.

22 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 4. Средства диагностирования. Книга 1 [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 500 с.

23 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 6. Диагностическое обеспечение технической и экологической безопасности [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 538 с.

24 Мигаль, В. Д. Теория технической диагностики автомобилей [Текст] : учеб. пособ. / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2014. – 472 с.

25 Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів [Текст] : навч. посіб. / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенський, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

26 Оробей, В. Ф. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобілем [Текст] / В. Ф. Оробей, В. Г. Максимов, О. Д. Ніщевич та ін. : під ред. М. Б. Копитчука. – О. : Наука і техніка, 2012. – 392 с.

27 Мигаль, В. Д. Вибродиагностика машин при эксплуатации [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х.: Изд-во ХГПУ, 1997. – 293 с.

28 Дубровин, В. И. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирование надежности авиадвигателей [Текст] : монография / В. И. Дубровин, С. А. Субботин, А. В. Богусловов, В. К. Яценко. – Запорожье: ОАО «Мотор-Січ», 2003. – 279 с.

29 Мигаль, В. Д. Технічна кібернетика транспорту [Текст] : навч. посіб. / В. Д. Мигаль. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2007. – 328 с.

30 Мигаль, В. Д. Теорія і методи наукової творчості [Текст] : навч. посіб. / В. Д. Мигаль. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2007. – 424 с.

31 Мигаль, В. Д. Средства информационных систем автомобиля [Текст] : справ. пособ. / В. Д. Мигаль. – Х. : Майдан, 2012. – 444 с.

32 Малкин, В. С. Основы эксплуатации ремонта автомобилей [Текст] / В. С. Малкин, Ю. С. Бугаков. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 431 с.

33 Методические указания по определению предельных износов дета-

лей и их соединений [Текст]. – М. : БТИ ГОСНИТИ, 1988. – 86 с.

34 Сергеев, А. Г. Метрологическое обеспечение эксплуатации технических систем [Текст] : учеб. пособ. / А. Г. Сергеев. – М.: Изд-во МГОУ, 1994. – 488 с.

35 Харазов, А. М. Методы оптимизации в технической диагностике машин [Текст] / А. М. Харазов, С. Ф. Цвид. – М. : Машиностроение, 1983. – 132 с.

36 Жерновий, А. С. Вибір діагностичних параметрів для експрес-діагностування дизелів [Текст] / А. С. Жерновий, О. Д. Климуш, К. С. Колобов // Вісник нац. транспортного ун-ту. – К. : НТУ, 2012. – Вип. 25. – С. 175-178.

37 Мигаль, В. Д. Методы технической диагностики автомобилей : учеб. пособ. / В. Д. Мигаль, В. П. Мигаль. – М. : ИМ «Форум» : ИНФРА-М, 2013. – 423 с.

38 Мигаль, В. Д. Анализ развития и задачи подготовки высококвалифицированных специалистов по технической диагностике транспортных машин [Текст] / В. Д. Мигаль, В. И. Клименко, Л. А. Рыжих // Автомобильный транспорт. Сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 29. – С. 172-178.

39 Мигаль, В. Д. Вибрационные методы и средства распознавания дефектов машин [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х.: изд-во ХГПУ, 1996. – 235 с.

40 Мигаль, В. Д. Вибрация машин и ее диагностические признаки [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Из-во ХГПУ, 1997. – 264 с.

41 Мигаль, В. Д. Снижение уровней вибрации и повышение ресурса подшипниковых узлов качения трактора рациональным конструированием [Текст] / В. Д. Мигаль // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 3. – С. 8-11.

42 Попков, В. И. Виброакустическая диагностика в судостроении [Текст] : 2-е изд., перераб. и доп. / В. И. Попков, Э. Л. Мышинский, О. Н. Попков. – Л. : Судостроение, 1989. – 256 с.

43 Мигаль, В. Д. Определение мест и контрольных точек вибрационного диагностирования машин [Текст] / В. Д. Мигаль // Вісник Харк. держ. ун-ту сільськ. госп-ва. – Вип. 24. – Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Х. : ХДТУСГ, 2004. – С. 323-331.

44 Мигаль, В. Д. Методи нормування експлуатаційної вібрації та класів якісного оцінювання технічного стану трактора // Вісн. Харк. держ. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. Зб. наук. пр. «Підвищення надійності відновлюваних деталей машин». – Х. : вид-во ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8. – С. 280-285.

45 Осис, Я. Я. Диагностирование на граф-моделях [Текст] / Я. Я. Осис, Я. А. Гольфандбейн. – М. : Транспорт, 1991. – 224 с.

46 Воронин, В. В. Диагностирование технических объектов [Текст] / В.В.Воронин. – Хабаровск : Изд-во Хабаровск гос. техн. ун-та, 2002. – 188 с.

47 Мигаль, В. Д. Технологія наукових досліджень: методи системного підходу й моделювання [Текст] : навч.-метод. посіб. / В. Д. Мигаль. – Х. : : Вид-во ХНАДУ, 2009. – 200 с.

48 Говорущенко, Н. Я. Техническая кибернетика транспорта [Текст] : учеб. пособ. / Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев. – Х. : изд-во ХГАДУ, 2001. – 271 с.

49 Данов, Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей [Текст] / Б. А. Данов. – М. : Горячая линия - Телеком, 2002. – 244 с.

50 Соснин, В. А. Новейшие автомобильные электронные системы [Текст] / В. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М. : Солон-Пресс, 2005. – 240 с.

51 Петров, В. М. Электрооборудование, электронные системы и бортовая диагностика автомобилей [Текст] : учеб. пособ. / В. М. Петров, И. Ф. Дьяков. – Ульяновск : изд-во УлГТУ, 2005. – 115 с.

52 Кучер, В. П. Диагностика японских автомобилей [Текст] / В. П. Кучер. – М. : Легион – Автодата, 2002. – 176 с.

53 Твег, Р. Диагностика электронной системы управления двигателя автомобиля. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту [Текст] / Р. Твег. – М.: Астрель, 2003. – 144 с.

54 Литвиненко, В. В. Автомобильные датчики, реле и переключатели [Текст] / В. В. Литвиненко, А. П. Майструк. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.

55 Сига, Х. Введение в автомобильную электронику [Текст] : пер. с яп. / Х. Сига, С. Мидзутани. – М. : Мир, 1989. – 232 с.

56 Глазков, В. Ф. Основы теории надежности и диагностики [Текст] / В. Ф. Глазков. – СПб : Изд-во СПбГАСУ, 2006. – 103 с.

57 Голобородько, О. О. Механотронні системи автомобільного транспорту [Текст] : навч. посіб. / О. О. Голобородько, В. В. Редчиць, О. М. Коробочка. – Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 300 с.

58 Конструкция автомобиля. Том IV. Электрооборудование. Системы диагностики [Текст] : учебник / С. В. Акимов, В. И. Набоких, Ю. П. Чижов : под ред. А. Л. Карунина. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 480 с.

59 Беднарский, В. В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст] : учебник / В. В. Беднарский. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 456 с.

60 Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст] : учебник / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов и др. : под ред. В. М. Власова. – 4-е изд. стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 480 с.

61 Беляков, В. В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем [Текст] / В. В. Беляков, М. Е. Бушуева, В. И. Сагунов. – Н. Новгород : Нижегород. гос. ун-т, 2001. – 271 с.

62 Надежность технических систем [Текст] / Е. Переверзнев, А. Алпачев, Ю. Дашев, П. Новак. – Днепропетровск : Пороги, 2002. – 396 с.

63 Хруцкий, О. В. Техническая диагностика [Текст] / О. В. Хруцкий. – СПб: СПб МТУ, 2005. – 207 с.

64 Андропов, Б. С. Диагностирование автотранспортных средств [Текст] : учеб. пособ. / Б. С. Андропов. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2002. – 55 с.

65 Фандеев, В. П. Теоретические основы оптимизации обнаружения отказов и поиска места отказов [Текст] : учеб. пособ. / В. П. Фандеев. – Пенза : Пенз. гос. ун-т – НИЦПГУ, 2006. – 59 с.

66 Бажинов, О. В. Надійність автомобільних поїздів [Текст] : монографія / О. В. Бажинов, О. К. Кравченко. – Луганськ : Ноулідж, 2009. – 412 с.

67 Острейковский, В. А. Теория надежности [Текст] : учеб. для ВУЗов / В. А. Острейковский. – М. : Высшая школа, 2003. – 463 с.

68 Машиностроение. Энциклопедия : ред. совет К. Ф. Фролов (пред.) и др. Т. IV–3. Надежность машин [Текст] / В. В. Клюев, В. В. Болотин, Ф. Р. Соснин и др. : под общей ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2003. – 592 с.

69 Кирса, В. Т. Прогнозирования технического stanu машин [Текст] / В. Т. Кирса. – К.: Урожай, 1978. – 72 с.

70 Бельских, В. И. Диагностика и обслуживание сельскохозяйственной техники [Текст] / В. И. Бельских. – М.: Колос, 1980. – 576 с.

71 Кузьмин, Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности [Текст] : учеб. пособ. / Н. А. Кузьмин. – М. : Изд-во Форум, 2011. – 207 с.

72 Смирнов, Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилем [Текст] : учеб. пособ. / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. – СПб : Лань, 2012. – 619 с.

73 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей. Объекты и методы диагностирования : справ. пособ. в 6 тт. : Том 3. Методы диагностирования [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Из-во Майдан, 2014. – 420 с.

74 Наглюк, І. С. Концепція оцінки властивостей моторної та трансмісійної оливи транспортних машин за енергетичними параметрами [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / І. С. Наглюк. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 295 с.

75 Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособ. в 6 тт. : Том 3. Методы диагностирования [Текст] / В. Д. Мигаль, В. П. Мигаль. – 2-е изд. стер. – М. : ООО ИПЦ «Маска», 2013. – 548 с.

76 Бороденко, Ю. М. Діагностика електрообладнання автомобілів [Текст] : навч. посіб. / Ю. М. Бороденко, О. А. Дюба, О. М. Биков. – Х. : ХНАДУ, 2014. – 225 с.

77 Мигаль, В. Д. Диагностика автомобильных двигателей. Неисправности, параметры и средства [Текст] / В. Д. Мигаль. – Х. : Изд-во Майдан, 2014. – 490 с.

Учебное издание

Мигаль Василий Дмитриевич

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЕЙ.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Учебное пособие

В авторской редакции

Технический редактор Щепкин А.В.

Компьютерная верстка и дизайн обложки Щепкин А.В.

На обложке – логотип кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Фото Белова В.И.

Підписано до друку 10.07.2014. Формат 70х100/16.
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 32,25. Наклад 300 прим. Зам. № 14-61.

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1002 від 31.07.2002 р.

Видання і друк ТОВ «Майдан»
61002, Харків, вул. Чернишевська, 59
Тел.: (057) 700-37-30