

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей обеспечения требуемого уровня надежности радиооборудования и средств автоматизации (РЭО и СА) является повышение качества контроля их технического состояния.

Изучением технического состояния объектов, разработкой принципов, методов и средств их оценки занимается техническая диагностика.

Отказы и повреждения являются случайными событиями, место и время появления которых предугадать практически невозможно. Поиск неисправностей в судовых РЭО и СА обычно осуществляется членами судового экипажа или специалистами из подразделений обслуживания. На поиск и локализацию неисправности расходуется большая часть времени от общего времени восстановления оборудования.

Практика эксплуатации РЭО и СА показывает, что при отказах и повреждениях не все элементы выходят из строя, значительная часть их остается исправной и работоспособной. Большинство пользователей РЭО и СА знает, что объем разрушений в период нормальной эксплуатации невелик, а стоимость полной замены аппаратуры высока. Поэтому судовые специалисты прилагают усилия для того, чтобы восстановить объект на месте без вывода его из режима эксплуатации. Для решения этой задачи необходимо быстро найти и локализовать неисправный участок с возможно большей точностью, так как при этом снижается объем, время и стоимость восстановительных работ, сокращается расход запасных частей.

Предлагаемый вниманию читателей курс лекций по диагностике радиооборудования соответствует программе «Надёжность и техническая диагностика радиооборудования», «Надёжность и диагностика радиоэлектронного оборудования», «Диагностика и надёжность систем автоматики».

Книга является продолжением и развитием учебного пособия «Надёжность транспортного радиооборудования и средств автоматики» и «Надёжность и диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматики» (изд. «МОРКНИГА», М., 2012 г.), написанного авторами и рекомендованного Минобрнауки РФ для курсантов специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в качестве учебного пособия.

Объём каждой лекции рассчитан на два–четыре академических часа; количество лекций по дисциплине «Диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматики» — на изучение курса в течение одного семестра (16–17 недель).

Лекции содержат тщательно подобранные иллюстрации, а также примеры решения типовых задач. При возникновении дополнительных вопросов по темам автор рекомендует изучить соответствующий раздел учебных пособий, включенных в список рекомендуемой литературы.

## Лекция 1

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

## Задачи технической диагностики

Область научно-технических знаний, которая занимается разработкой теории, методов и средств определения технического состояния, а также принципов построения и организации использования систем диагностирования технических объектов, называется *технической диагностикой*. Техническая диагностика является важным средством обеспечения надежности, предупреждения и выявления отказов технических систем.

В процессе технической эксплуатации возникает необходимость в определении технического состояния (ТС) в настоящий, будущий и прошедший моменты времени. Определение ТС, в котором находится объект в настоящий момент времени, классифицируется как *диагностирование*, в будущий момент времени (предсказание ТС) — как *прогнозирование*; в некоторый момент времени в прошлом — как *генез* (ретроспектирование).

Задачи прогнозирования ТС решаются путем учета возможного изменения состояния объекта после настоящего момента времени, например, в связи с определением остаточного ресурса оборудования или периодичности ТО и ремонта по состоянию.

Задачи генеза решаются путем определения возможных или вероятных предысторий, приведших объект к настоящему ТС, например, в связи с расследованием причин аварий или выхода из работоспособного состояния блока питания (перегрузка по току или перенапряжение).

## Техническое диагностирование

*Техническое диагностирование* (далее — *диагностирование*) — определение технического состояния объекта диагностирования (ОД) с определенной точностью.

Результатом диагностирования (*диагнозом*) является заключение о техническом состоянии объекта с указанием (при необходимости) места, вида и причины отказа.

При диагностировании решаются три основные взаимосвязанные задачи:

1. *Проверка работоспособности объектов диагностирования*. Производится, как правило, при испытаниях перед его вводом в эксплуатацию, в период эксплуатации при их освидетельствовании Российским морским регистром судоходства. Она заключается в последовательном вводе в действие различных

участков объекта, проверке его функционирования в различных режимах. Если объект правильно функционирует во всех режимах, то он работоспособен. Если на каком-то этапе проверки (режиме) объект функционирует неправильно, то он считается неработоспособным. В этом случае требуется перейти к поиску неисправности объекта.

После определения работоспособности принимается решение о необходимости перехода к более сложному этапу диагностирования — поиску места отказа, так как отказ неработоспособного объекта может привести к аварийной ситуации, а затраты, связанные с таким отказом, могут во много раз превзойти затраты на его диагностирование.

Для оценки работоспособности диагностируемой системы используется ряд параметров, значения которых строго нормированы. Исходя из экономических условий, требований простоты и удобства эксплуатации, количество диагностируемых параметров должно быть минимальным.

*2. Поиск неисправности.* Эта задача решается только после того, как будет установлено, что объект находится в неисправном состоянии или его параметры заметно и устойчиво отклонились от норм.

Решение задачи заключается в проверке параметров в различных точках ОД. Оценка и сопоставление результатов проверок приводят к постепенному сокращению числа различных предположений о причине отказа и выявлению отказавшего элемента или группы элементов.

При поиске дефекта, прежде всего, необходимо выработать принцип разбиения объекта на области, в одной (или нескольких) из которых предположительно находится неисправный элемент. При разбиении следует учитывать характеристику объекта (его конструктивные особенности, технологичность оборудования, состав элементной базы и т. д.), характеристики системы технического обслуживания (состав и свойства используемой контрольно-измерительной аппаратуры, квалификацию обслуживающего персонала и т. д.), а также условия использования объекта. При этом следует иметь в виду, что методика поиска дефекта в объекте, находящемся в эксплуатации, отличается от методики поиска дефекта в объекте при его наладке после ремонта.

Техническое диагностирование осуществляется путем измерения и контроля количественных значений параметров или качественных признаков, анализа и обработки реакций объекта на рабочие или тестовые воздействия в соответствии с алгоритмом диагностирования.

*Алгоритм диагностирования* представляет собой совокупность предписаний о проведении диагностирования.

Контроль технического состояния объекта сводится к сопоставлению истинных значений параметров с их номинальными значениями с учетом допусков. На основании такого сопоставления делается заключение о техническом состоянии объекта.

При поиске дефекта, как правило, приходится осуществлять контроль значительно большего числа параметров, чем при проверке работоспособности. В связи с этим необходимо правильно выбрать глубину поиска. Например, в условиях эксплуатации достаточной глубиной поиска дефекта будет съемный

блок или модуль. При ремонте глубина поиска дефекта существенно увеличивается: поиск необходимо проводить до нахождения отказавшего элемента внутри блока, радиоэлектронного компонента (диода, транзистора, микросхемы и т. п.). Следует помнить, что увеличение глубины поиска требует более высокой квалификации обслуживающего персонала.

В большинстве случаев поиск отказавшего элемента в блоке целесообразно производить на штатных местах в системе управления, так как при этом не требуется специальных стендов и имитаторов. Кроме того, замена модуля, или так называемого типового элемента замены (ТЭЗ), требует меньше трудозатрат, чем замена всего блока. Наконец, информация об отказах ТЭЗ представляется более ценной, чем информация об отказах различных блоков и систем, содержащих однотипные элементы.

## **Трудности и ошибки, возникающие при диагностировании технических объектов**

Практика решения поисковых задач показывает, что процедура поиска состоит из ряда простейших проверок диагностических параметров. После каждой проверки происходит разветвление последовательности поиска. В конце появляется геометрическая фигура — дерево логических возможностей (ДЛВ), или просто дерево.

Каждая ветвь этого дерева ведет к отдельному конечному исходу поиска — неисправному элементу. Поэтому число ветвей дерева равно числу различных неисправностей в проверяемом устройстве.

Если число элементов в устройстве возрастает, то растет и число деревьев различных форм, которые можно построить при поиске неисправностей. В зависимости от взаимного положения проверок длины ветвей дерева изменяются. Во многих случаях удается построить дерево, у которого все ветви имеют одинаковые длины. При этом длины ветвей становятся наименьшими и говорят, что произошла минимизация средней длины ветви дерева.

Кажущаяся простота построения деревьев создает обманчивое мнение о примитивности решения поисковых задач. Диагностические задачи начинают привлекать внимание человека, когда их решения не регламентированы и существует некоторая свобода выбора вариантов поиска неисправностей. Но свобода выбора шагов поиска так же, как и свобода выбора ходов в сложной игре, используется участниками по-разному. Исход поиска или игры зависит от опыта, желания достигнуть цели, везения и множества других причин.

На успех поиска оказывают сильное влияние психологические факторы, особенности ОД и его параметров, степень знания и учета исполнителем работ методов и средств поиска.

При выборе ходов в логической игре и при выборе проверок во время поиска неисправностей происходит борьба между случаем и заранее запланированным выбором ходов (или проверок).

План поиска в форме ДЛВ представляет собой заранее упорядоченную (алгоритмизированную) последовательность поиска. Если поиск выполняется случайным выбором проверок, то появляется ветвь случайно сформированного дерева, характеристики которого отличаются от характеристик алгоритмизированного дерева и в среднем оказываются хуже. Поэтому надежда на эффективное решение задач поиска на основе угадывания точек проверок оправдывается только в редких случаях. Однако примеры успешного решения задач диагностирования путем случайного поиска привлекают внимание эксплуатационников. Одни из них воодушевляются этими успехами, у других отдельные успехи случайного, неорганизованного и необъясненного поиска вызывают неверное представление о непреодолимых трудностях поиска, об особой интуиции некоторых операторов. Но дело не в особой интуиции и не в сверхспособностях отдельных лиц, а в том, что нет доступных для массового оператора технологий диагностирования ОД. В связи с этим возникает ряд психологических трудностей, мешающих успеху поиска.

*Первая* трудность заключается в том, что диагност не всегда верно судит о количестве возможных исходов поиска, т. е. неисправных состояний системы и их взаимозависимостях. Такая неопределенность в представлениях о множестве различных решений не позволяет оценить необходимые поисковые усилия. Появляется неуверенность в успехе поиска.

*Другая* трудность состоит в отсутствии строгих определений понятий, связанных с процессом поиска. Человек-оператор оказывается не в состоянии правильно сформулировать суть проблем, возникающих при поиске. Он не может общаться с более опытными специалистами и обсуждать эти проблемы для лучшего их разрешения.

*Третья* трудность объясняется тем, что поисковым задачам в обучении специалистов по эксплуатации РЭО и СА отводится мало времени. Это время тратится, прежде всего, на изучение физических процессов, происходящих в схемах, и методов и средств измерений. В результате обучающийся начинает воспринимать знания, способствующие успеху поиска, но носящие вспомогательный характер, как обучение самому процессу поиска. При столкновении с реальными поисковыми ситуациями он начинает испытывать сомнения в своей профессиональной пригодности, хотя неудачи поиска связаны с недостатками обучения.

В основе *четвертой* трудности лежит слитное восприятие процесса поиска, в то время как этот процесс поиска по своей природе дискретен. Обучающийся, который наблюдает решение задачи поиска другим человеком, упускает из вида те шаги поиска, которые исполнитель проводит мысленно, а также проверки, выбираемые случайно или в силу субъективных соображений.

*Пятая* трудность возникает вследствие недостатка времени, препятствующего полному усвоению логики и физики работы объекта. Если поиск не алгоритмизирован заранее, то в условиях дефицита времени возникает стрессовое состояние, затрудняющее поиск.

Кроме психологических трудностей часто возникают *методические ошибки*. Это происходит при следующих условиях:

1. Недостаточное внимание, уделяемое изучению функциональных схем изделия, в то время как эти схемы наиболее полно из всех эксплуатационных документов отражают логику взаимодействия частей изделия.

2. Попытки представить последовательность поиска при диагностировании в виде совокупности измерений, исключив из этой последовательности наблюдение пассивных признаков, пробные замещения, физические исключения, смену режимов и другие приемы, характерные для диагностики.

3. Неоправданное мнение о том, что существует парная связь между диагностическим параметром и отказом определенного участка РЭУ. Для большинства деталей или элементов РЭУ необходимо провести проверку не менее чем двух диагностических параметров в зависимости от числа входов элемента и его положения в схеме.

4. Незнание процессов, вызывающих появление отказов, и неумение оценить их влияние на диагностические параметры. При этом происходит смешение отказов вида «обрыв» с отказами вида «перегрузка», устойчивых дефектов и сбоев.

5. Нежелание обсуждать с другими лицами степень обоснованности выбора проверок при поиске и пренебрежение рациональным планированием поиска.

6. Неоправданно высокая оценка собственной диагностической деятельности лицами, получившими поисковые навыки на опыте, и, как следствие, сопротивление этих лиц внедрению рациональных методов поиска.

Перечисленные ошибки носят субъективный характер. Кроме того, возможны ошибки, связанные с пробелами в знаниях и недостаточным умением. К ним можно отнести:

1. Рассмотрение элементов системы изолированно, вне связи со структурой и другими элементами.

2. Перевод поиска с самого начала на уровень принципиальной электрической схемы, чтобы подменить поиск измерениями.

3. Попытки оценки результатов проверок сделать многоальтернативными, т. е. имеющими больше двух результатов. Эти попытки необоснованно связывают с необходимостью повышения точности измерений.

4. Пренебрежение случаями, когда одновременно появляются два или более дефектов в разных участках ОД.

5. Пренебрежение и, наоборот, приданье большого значения трудоёмкостям проверок параметров и особенно вероятностям отказов, что для больших объектов не играет существенной роли.

6. Необоснованный выбор места пробных замен, исключений переходов объекта в другие режимы при формировании последовательностей поиска.

7. Необоснованная преждевременная или ненужная разборка ОД.

8. Повторение проверок при отсутствии ошибок результатов их проведения.

9. Мнение о невозможности или нецелесообразности диагностирования цифровых средств методами функционального диагностирования посредством построения условных процедур поиска, которые наиболее близки к внешнему проявлению альтернативного мышления, присущего человеку.

При поиске и устранении неисправностей желательно иметь сведения о следующих характеристиках объекта диагностирования:

1. Модель ОД в графической форме с координатами элементов.
2. Виды отказов или повреждений и соответствующие им ожидаемые неисправности.
3. Диагностические параметры, способы и средства воздействия на ОД, точки контроля диагностических параметров и время проведения проверок.
4. Наиболее рациональные алгоритмы диагностирования, т. е. диагностические процедуры, применение которых приближает к минимуму стоимость и время восстановления ОД (суммарные стоимость, время поиска и устранения неисправностей).
5. Технологию устранения неисправностей на заданном уровне деления объекта на элементы.

## **Технические средства и системы диагностирования**

Для диагностирования РЭО и СА используются различные технические средства диагностирования (ТСД), представляющие собой совокупность средств, с помощью которых оценивается состояние технических систем (объектов диагностирования). Они включают аппаратурные и программные средства.

К *аппаратурным* средствам диагностирования относят различные устройства: приборы, пульты, стенды, специальные вычислительные машины, встроенную аппаратуру контроля и т. п.

*Программные* средства диагностирования представляют собой программы, записанные на каком-либо носителе информации, например диске, дискете и т. п. При этом могут быть использованы как рабочие программы объекта, содержащие операции, необходимые для диагностирования объекта, так и программы, специально составленные для диагностирования ОД. Программные ТСД применяются для диагностирования универсальных и специализированных вычислительных, управляющих и логических машин, с их помощью определяют неисправность с точностью до сменного модуля, функционального блока, конструктивного узла.

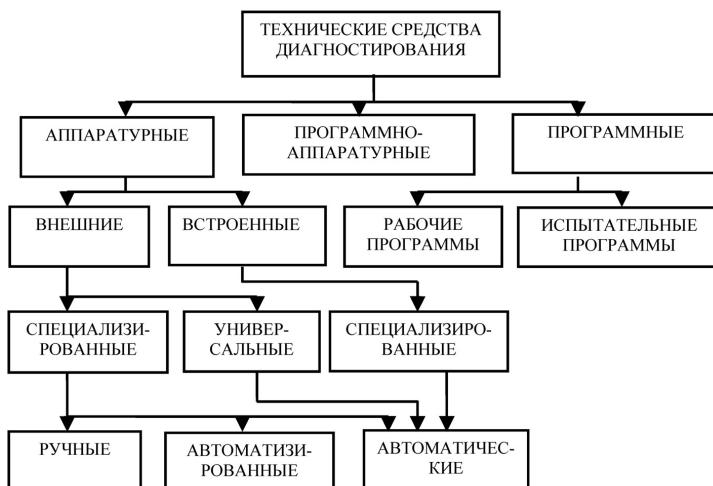
*Рабочие* программы позволяют осуществлять диагностирование объекта в процессе его использования по прямому назначению, а *специальные* программы требуют перерывов в выполнении объектом его функций.

По степени воздействия на объект технические средства диагностирования могут быть активными и пассивными. *Активные* средства диагностирования воздействуют на объект путем подачи на него входных сигналов, стимулирующих реакцию объекта диагностирования, которая затем используется для оценки его состояния. К активным средствам относятся генераторы импульсов,

ступенчатых и синусоидальных сигналов, цифровых кодов и т. п. *Пассивные* средства не формируют тестовые сигналы, оценка состояния ОД производится путем анализа информации, поступающей от него в процессе диагностирования.

По конструктивной связи с ОД различают встроенные и внешние ТСД. *Встроенные* ТСД встраиваются в общую конструкцию объекта диагностирования и проектируются с учетом технических решений и элементной базы этого объекта. К таким средствам диагностирования относятся дополнительные контрольные точки, входы для блокирования сигналов и задания требуемых значений сигналов, а также специальная аппаратура, которая при диагностировании изменяет структуру ОД, генерирует тесты и анализирует результаты их реализации.

*Внешние* ТСД не входят в конструкцию ОД. Они могут быть переносными, передвижными и стационарными. Стационарные средства чаще всего размещают на диагностических станциях, в испытательных и контрольных центрах специализированных береговых предприятий по ремонту судовой радиоэлектронной аппаратуры и средств автоматики.



**Рис. 1.1**  
*Классификация средств диагностирования*

Внешние средства диагностирования выполняют следующие функции:

- осуществляют подачу тестовых сигналов на проверяемый объект;
- обеспечивают получение информации о состоянии диагностических параметров объекта;
- обрабатывают поступающую информацию, в результате чего фиксируется работоспособное состояние или отказ объекта;
- локализуют место неисправности;
- обеспечивают соответствующую индикацию состояния объекта диагностирования и отказавшего функционального элемента.

Основным преимуществом внешних средств диагностирования является возможность их использования для различных объектов.

По степени универсальности ТСД подразделяются на специализированные и универсальные.

*Специализированные* ТСД предназначены для диагностирования одного объекта или группы однотипных объектов. *Универсальные* ТСД используются для диагностирования объектов различных типов, различного назначения и конструктивного исполнения. Такие средства изготавливаются, как правило, на основе ЭВМ и отличаются от специализированных возможностью ввода новых программ диагностирования.

По степени автоматизации ТСД разделяют на ручные, автоматизированные и автоматические.

Средства, требующие «интенсивного» участия человека-оператора в процессе диагностирования, относят к *ручным* (осциллографы, генераторы сигналов и др.). Средства, при использовании которых роль оператора сводится к выполнению отдельных достаточно простых операций (включение, переключение, выключение и др.), относят к *автоматизированным*. *Автоматические* ТСД функционируют без участия оператора.

Средства диагностирования являются объектами технической эксплуатации и диагностирования. Поэтому в них могут быть предусмотрены режимы самоконтроля, реализуемые с помощью встроенных или внешних средств контроля и диагностирования.

Технические средства диагностирования можно классифицировать:

- по *характеру решаемых задач* (контроль работоспособности; контроль работоспособности и поиск дефектов; контроль и прогнозирование работоспособности; контроль работоспособности, поиск дефектов и прогнозирование технического состояния);
- *периодичности процесса диагностирования* (непрерывного диагностирования и периодического действия);
- *способу обработки информации и представления результатов* (аналоговые, дискретные, с допускаемой оценкой результатов, с количественной оценкой результатов).

Для диагностирования судовых систем автоматизации применяются программные и аппаратурные, встроенные и внешние (стационарные и переносные) технические средства диагностирования с ручным и автоматизированным управлением.

Объект диагностирования и средства технического диагностирования образуют *систему технического диагностирования* (СД).

В настоящее время имеется два направления разработки диагностической аппаратуры систем технического диагностирования. В первом случае применяются ЭВМ, контролирующие состояние всех основных узлов объекта диагностирования, во втором — используется более простая аппаратура для контроля его состояния.

В СД входят встроенные средства контроля по модулю, пригодные для специализированных устройств (блоков памяти), арифметических устройств, каналов связи, использующиеся в вычислительной технике.

Для диагностирования дискретных объектов произвольной структуры применяют универсальные методы синтеза схем встроенного контроля. В обеспечении высоких показателей надежности сложных вычислительных систем существенную роль играют самопроверяемые узлы и блоки ЭВМ, а также схемы встроенного контроля.

Создано направление обеспечения *контролепригодности*, суть которого состоит в преобразовании структуры проверяемого устройства в вид, удобный для диагностирования. Для этого в устройство еще на этапе его проектирования вводят дополнительную аппаратуру — встроенные средства тестового диагностирования.

В системе управления электростанцией типа ASA-S/G, системе автоматической защиты генераторных агрегатов AGS, системе ДАУ AFA-1 встроенные средства диагностирования позволяют определить группу неисправных блоков (модулей) с точностью до 1–3 сменных блоков.

Локализация неисправностей модулей (типовых элементов замены) системы ASA осуществляется с помощью программы проверки модулей. Процесс проверки индицируется на модуле DAZ 001, продолжительность проверки 3–10 с. При положительном результате проверки модулей на DAZ 001 циклически индицируется код «8888», при отрицательном результате на нем появляется четырехзначный код неисправности. Следует заметить, что в данном случае проверяются лишь некоторые цифровые входы и выходы модулей: DAR (устройство цифрового вывода на реле), ASI-E (устройство сопряжения), PGA 001 (блок согласования уровней). Поэтому, несмотря на положительный результат проверки модулей, требуется проверка отдельных сигнальных проводов по «карте неисправностей», в которой требуется участие человека-оператора.

В процессе проверки средствами диагностирования осуществляется измерение и анализ реакций ОД на определенные воздействия, которые испытывает данный объект.

В системе *функционального диагностирования* (рис. 1.2а) диагностирование осуществляется во время функционирования объекта, на который поступают только рабочие воздействия (РВ). Средствами технического диагностирования измеряются и анализируются реакции рабочих воздействий (РРВ), в том числе параметры рабочих воздействий.

Системы функционального диагностирования используются при работе объекта по назначению. Вместе с тем при функциональном диагностировании могут применяться режимы, имитирующие функционирование объекта. Устройства для имитации функционирования могут быть как частью ОД, так и частью средств диагностирования. В системе *тестового диагностирования* (рис. 1.2б) на объект подают специальные тестовые воздействия (ТВ), средствами технического диагностирования измеряются и анализируются соответствующие реакции ОД на тестовые воздействия (РТВ).

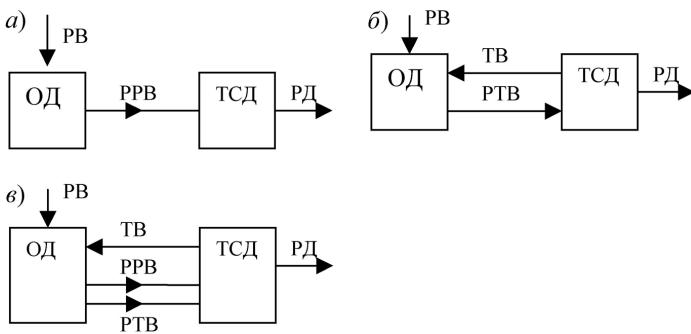


Рис. 1.2

*Схемы систем функционального (а), тестового (б) и функционально-тестового (в) диагностирования*

Системы тестового диагностирования могут применяться для технического диагностирования не только выключенных объектов, но и функционирующих (в последнем случае тестовые воздействия не должны нарушать правильного функционирования объекта).

При совместном функциональном и тестовом диагностировании реализуется система функционально-тестового диагностирования (рис. 1.2в).

Эффективная система технического диагностирования может быть создана для контролепригодных (приспособленных к проведению контроля заданными средствами) судовых технических средств. Радиооборудование и средства автоматизации считаются контролепригодными, если в процессе проектирования и создания РЭО и СА учтены требования технического диагностирования. Таким образом, для создания эффективных систем технического диагностирования целесообразным является одновременное проектирование объекта и средств его диагностирования.

С 01.01.1987 введен в действие ГОСТ 26656-85. «Контролепригодность. Общие требования». Стандарт распространяется на изделия, являющиеся объектами диагностирования.

Приспособленность к диагностированию (ПД) для различных объектов устанавливается соответствующими ГОСТами.

Например, ГОСТ 19838-82 «Характеристика контролепригодности изделий авиационной техники. Правила изложения и оформления».

Стандарт устанавливает формы и правила выполнения документа «Характеристика контролепригодности», отражающего контролепригодность изделий авиационной техники: пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, их силовых установок, бортовых систем и функционально связанного оборудования и вооружения.

Действует документ Р 50-84-88 «Рекомендации. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Показатели и оценка ремонтопригодности и контролепригодности».

## Лекция 2

# ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ

### Понятие диагностической модели объекта

Для формализации процесса диагностирования необходимо разработать модель объекта диагностирования, которая предполагает разбиение ОД на отдельные элементы, функционально связанные между собой.

Под *диагностической* моделью понимается другой объект, способный за- мещать реальный объект при исследовании и позволяющий получить информа- цию, необходимую для осуществления технического диагностирования.

В качестве модели РЭО как объекта диагностики чаще всего используется *функциональная* модель, которая наиболее полно отражает логику взаимодействия частей системы. Она может быть построена на основе принципиальной или структурной схемы объекта, а может существенно отличаться от нее тем, что при ее построении разбиение объекта на отдельные элементы должно опре- деляться требуемой точностью локализации неисправностей. Функциональная модель для диагностирования системы может быть построена также на основе формализованного представления текстовых документов с использованием ус- ловных знаков. Для разработки алгоритмов и программ диагностирования и изучения объектов диагностирования, а также для разработки средств диагно- стирования и исследования эффективности систем диагностирования широко применяется математическое моделирование. Оно используется и в тех случа- ях, когда по каким-либо причинам не представляется возможным исследовать требуемые характеристики реального объекта.

*Математической* моделью ОД называется формальное описание объекта и его поведения в различном техническом состоянии. Процесс создания мате- матической модели сложного объекта можно разбить на следующие этапы:

- 1) составление содержательного описания объекта;
- 2) построение формализованной схемы;
- 3) преобразование формализованной схемы в математическую модель.

В диагностике различают две математические модели — неявную и яв- ную.

*Неявная* модель объекта диагностирования предполагает наличие только одного описания исправного объекта и правил получения моделей для любой неисправности.

*Явная* модель содержит наряду с описанием исправного объекта описание каждой его неисправной модификации. Такая математическая модель объекта диагностирования может строиться в виде элементарных проверок объекта и их результатов. Элементарная проверка представляет собой отдельную часть про- цесса диагностирования, которая характеризуется подаваемым на объект тесто- вым или рабочим воздействием и снимаемым с объекта ответом. Результат  $R_j^i$  элементарной проверки в общем случае можно представить в виде:

- для исправного объекта:

$$R_j = \psi(\pi_j); \quad (2.1)$$

- для неисправного объекта:

$$R_j^i = \psi^i(\pi_j), \quad (2.2)$$

где  $\pi_j$  — допустимая элементарная проверка из множества  $\Pi$  всех допустимых элементарных проверок  $j = 1, 2, \dots, |\Pi|$ .

Результаты, полученные по (2.1) и (2.2), можно представить в виде *таблицы функций неисправности* ОД (табл. 2.1), в которой столбцы соответствуют допустимым элементарным проверкам  $\pi_j$  из множества  $\Pi$ , строки — техническим состояниям объекта из множества  $S$ .

Таблица функций неисправности представляет собой наглядную универсальную математическую модель объекта диагностирования, которую целесообразно использовать при классификации основных принципов и процедур построения алгоритмов технического диагностирования РЭО и СА.

Таблица 2.1

Таблица функций неисправности

| R |           | Множество $\Pi$ |     |         |         |               |
|---|-----------|-----------------|-----|---------|---------|---------------|
|   |           | $\pi_1$         | ... | $\pi_j$ | ...     | $\pi_{ \Pi }$ |
| S | $s_0$     | 1               |     | 1       |         | 1             |
|   | $s_1$     | $R_1^1$         |     | $R_i^1$ |         | $R_{ \Pi }^1$ |
|   | $\vdots$  |                 |     |         | $\dots$ |               |
|   | $s_i$     | $R_i^i$         |     | $R_j^i$ | $\dots$ | $R_{ \Pi }^i$ |
|   | $s_{ S }$ | $R_1^s$         |     | $R_j^s$ | $\dots$ | $R_{ \Pi }^s$ |

*Примечания:*  $s_0$  — исправное техническое состояние объекта;  $s_i$  — неисправное  $i$ -е состояние объекта;  $R$  — результат проверки. Результаты  $R_j^i$  элементарной проверки  $\pi_j$  объекта, находящегося в техническом состоянии  $s_i$ , проставляются в клетках таблицы ( $j, i$ ).

Таблица функций неисправности позволяет:

- 1) определить минимальное количество диагностических параметров для проверки работоспособности системы;
- 2) определить неисправный элемент комбинационным методом (по совокупности значений диагностических параметров);
- 3) выявить кратные дефекты, образующие «совпадающие», «ложные» и «несуществующие» коды;
- 4) построить алгоритм поиска дефекта последовательным методом, а также сочетанием последовательного и комбинационного методов;
- 5) определить минимальные частные наборы диагностических параметров для выделения конкретного технического состояния объекта (исправного и неисправных);
- 6) построить дешифратор технического состояния объекта и на его основе разработать устройство автоматического контроля и поиска дефектов.

При построении математических моделей объекты диагностирования РЭО и СА разделяют на *объекты непрерывного действия* (непрерывные объекты), параметры которых рассматриваются как непрерывно изменяющиеся во времени, и *объекты дискретного действия* (дискретные объекты), значения параметров которых задаются на конечных множествах, время отсчитывается дискретно.

Примерами объектов непрерывного действия являются электрические цепи с резисторами, аналоговые системы автоматического регулирования, операционные усилители с отрицательными обратными связями, электродвигатели.

В отличие от объектов непрерывного действия, у объектов дискретного действия входные и выходные координаты зависят не только от технического состояния, но и от положения отдельных элементов. К объектам дискретного действия относятся электрические цепи с контактными коммутирующими устройствами, системы логического управления. Системы, содержащие объекты непрерывного и дискретного действия, относятся к *гибридным объектам*. Характерным примером гибридного объекта является аналого-цифровой преобразователь сигналов.

## Диагностические модели непрерывных объектов

Различают две группы диагностических моделей объектов непрерывного действия — аналитические и симптомные.

*Аналитические* модели можно представить в виде алгебраических или дифференциальных уравнений, задающих зависимости между входными, внутренними переменными и выходными функциями объекта.

К *симптомным* относятся функционально-структурные, функциональные графы-модели, матричные и логические модели, в которых основными носителями информации являются симптомы (признаки), характеризующие выходные функции.

При составлении симптомных моделей сложный объект диагностирования разбивают на небольшое количество обобщенных функциональных элементов, до которых осуществляется поиск дефекта, и производится качественная допусковая логическая оценка признаков состояния (*работоспособное — неработоспособное* или *в норме — не в норме*).

Для решения практических задач технического диагностирования РЭО и СА, которые могут быть отнесены к объектам непрерывного действия, широко применяются простые и легко автоматизируемые допусковые способы оценки технического состояния по результатам контроля диагностических параметров объекта.

Для описания объектов непрерывного действия используются относительно простые симптомные функционально-структурные модели.

*Функционально-структурная модель* объекта диагностирования строится либо на основе функциональной схемы объекта, либо на основе формализованного описания текстовых документов. Такая модель должна отвечать следующим требованиям:

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)