



УДК 681.518.5

© 2001 г. **В.В. Воронин**, канд. техн. наук
(Хабаровский государственный технический университет)

ПОЛНЫЕ И ЧАСТНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Исходя из содержательного определения диагностической модели (*ДМ*), выделяется три вида знаний, используемых при поиске дефектов. Утверждается, что доминирующее значение в *ДМ* должно иметь знание о множестве возможных дефектов. Такое знание положено в основу формального определения полной *ДМ*.

Объект диагностирования (*ОД*) в технической диагностике – это такой технический объект, относительно которого решается определенная диагностическая задача. В общем случае диагностическая задача – задача по установлению степени соответствия технического объекта предъявляемым к нему требованиям. Принято различать две основные диагностические задачи: *прямая*, или задача контроля технического состояния, и *обратная*, или задача поиска дефектов. Исходя из этого, общее определение диагностической модели сформулируем в следующем виде. Диагностическая модель – это любое знание, используемое в процессе решения диагностической задачи и представленное в определенной форме.

Спектр форм *ДМ* широк – от образов дефектов и их признаков в сознании отдельного специалиста-практика по обслуживанию и ремонту *ОД* до математических конструкций, реализованных в формальных диагностических программах. Отметим, что прямая и обратная задачи являются по существу выражением в технической диагностике двух фундаментальных подходов теории систем. Задача контроля есть выражение функционального подхода; задача поиска дефектов – 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 *ДМ* имеет свои особенности. В дальнейшем будет сделан акцент на модели, используемые для поиска дефектов. Знания, используемые при решении обратной задачи, многообразны.

Для их систематизации выделим три вида знаний:

– *знания о возможных дефектах*, об их причинах и об их прямых и кос-

венных показателях. Отдельный дефект не является изолированным явлением. На множестве возможных дефектов объективно существуют разнообразные отношения. В [1] исследуются временные отношения, в [2] причинно-следственные отношения и в [3] – отношения эквивалентности. Также на множестве возможных дефектов (*ВМД*) может быть задана мера возможности, она исследуется в [4];

– *знание о структурной организации ОД*. Для объектов с функциональным процессом данный вид знаний дополняется знанием об этом 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 (см. ниже);

– *знания о возможных диагностических экспериментах*. Диагностический эксперимент есть процесс оценки диагностических показателей (*ДП*) при заранее определенных условиях с целью локализации дефектов.

Перечислим основные способы оценки *ДП*: органолептическая оценка, измерение, контроль, замена в *ОД* подозреваемых элементов на заведомо исправные, проверка подозреваемых элементов на заведомо исправном объекте, наблюдение за реакцией *ОД* при подаче стимулирующего воздействия и др.

Диагностический эксперимент, или процесс диагностирования, состоит из отдельных испытаний, которые принято называть элементарными проверками (*ЭП*). Элементарная проверка есть акт однократной оценки определенного *ДП*. Оценка *ДП* производится в заранее фиксированных местах *ОД*, их принято называть контрольными точками (*КТ*). Часто *ЭП* называют пару, первая компонента которой – это определенное воздействие на *ОД*, а вторая – реакция *ОД* на это воздействие. Ясно, что *ОД*, находящийся в разных технических состояниях (*ТС*), может выдавать разные реакции в одной и той же *ЭП*. При таком узком понимании *ЭП* можно различать три их вида. Первый вид – фиксируется значение входного воздействия и наблюдается реакция в нескольких *КТ* (вид *I: M*). Вторым видом – подается определенная последовательность входных воздействий и наблюдается последовательность реакций в одной *КТ* (вид *M: I*). Третий вид – общий случай: подается последовательность входных воздействий и наблюдается более одной *КТ* (вид *M: N*). Исход диагностического эксперимента всегда случаен, так как если он предопределен, то проводить его бессмыс-

ленно. Таким образом, всякий процесс диагностирования включает последовательности *ЭП* при известных условиях и заданном наборе *КТ*.

В рамках структурного подхода понятие *ЭП* применяют также к отдельным частям *ОД* или их совокупностям. В таком случае предполагается доступность входов и выходов этих частей. Какова мощность множества возможных *ЭП* (*ВМП*)? Очевидно, что данный *ОД* характеризуется конечным множеством *ВМП*. Формально для *ОД*, состоящего из n блоков, *ЭП* можно обозначить n разрядным двоичным набором по одному разряду для каждого блока [5]. Каждая *ЭП* устанавливает исправность или неисправность группы из k блоков. Остальные $n-k$ блоков остаются непроверенными. Различные *ЭП* могут иметь различную величину k и различный состав охваченных проверкой блоков. Нуль на i -м месте в двоичном наборе данной *ЭП* означает, что i -й блок *ОД* 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 *ЭП*. Единица на i -м месте указывает, что i -й блок данной *ЭП* не охвачен. При формальном рассмотрении можно считать, что существует столько разных *ЭП* данного *ОД*, сколько может быть различных n -разрядных двоичных наборов. Проверка, имеющая единичный набор, не дает полезной информации, ее следует исключить. Тогда общее число *ЭП* будет равно $2^n - 1$. При исследовании реальных *ОД* не все проверки могут оказаться технически осуществимыми.

В зависимости от характера последовательности *ЭП* различают два основных способа поиска дефектов: комбинационный и последовательный. При использовании первого способа *ТС ОД* определяется путем выполнения заданного числа *ЭП*, порядок осуществления которых безразличен. Выявление дефектных блоков производится после проведения всех заданных *ЭП*. С этой целью производится анализ результатов проведенных проверок. Для данного способа характерны такие ситуации, когда не все результаты выполненных *ЭП* необходимы для определения состояния *ОД*. При использовании второго способа проверки, осуществление которых достаточно для различения всех заранее заданных *ТС ОД*, выполняются в некотором порядке. Результат каждой *ЭП* анализируется непосредственно после его получения, и если *ТС ОД* еще не определено, то выполняется следующая по порядку проверка. Порядок выполнения *ЭП* может быть строго фиксированным или же зависеть от результатов предыдущих проверок. Поэтому алгоритмы, реализующие второй способ, можно разделить на условные, в которых каждая последующая *ЭП* назначается в зависимости от исхода предыдущей, и безусловные, в которых *ЭП* выполняются в некотором заранее фиксированном порядке.

Термин "диагностическая модель" можно понимать в широком и в узком смыслах. В первом случае это понятие включает в себя в достаточном объеме все три вида перечисленных выше знаний. Назовем такую *ДМ*

полной. Автору не известны научные работы, в которых бы формально описывалась полная *ДМ*. Хотя в практике диагностирования использование полных неформальных *ДМ* – это норма. Пример этому дают 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 дефектов, их диагностических показателей и методов устранения. В этой таблице сконцентрированы все три вида диагностических знаний. Кроме того, в инструкциях обычно точно сказано, с чего следует начать осмотр. Если обнаруживаются те или иные особенности функционирования *ОД*, то в инструкции сказано, какие дополнительные наблюдения или измерения необходимо сделать, какие профилактические мероприятия надо провести, или, наконец, указывается действие, устраняющее дефекты. Другими словами, описываются алгоритмы диагностирования и ремонта.

В результате субъект диагностической деятельности, реализующий указания инструкции, может и не знать, какова причина неисправности *ОД*. Инструкция составляется обычно группой квалифицированных специалистов с учетом опыта эксплуатации таких же или подобных систем.

Всякая *ДМ*, формализующая процесс поиска дефектов, нужна для двух применений: для построения алгоритмов диагностирования и для построения эталонной модели *ОД*. При автоматизации процессов диагностирования алгоритм поиска дефектов служит основой для синтеза технических средств диагностирования, а эталонная модель является носителем исправного или неисправного *ТС* в этих средствах.

Почему теоретическая диагностика до сих пор не имеет полных *ДМ*? По-моему, одна из причин следующая. Взять готовый математический аппарат и применить его к ограниченной этим аппаратом диагностической задаче – такова сегодня традиция в теории диагностирования. С другой стороны, все три вида диагностических знаний не формализуются адекватно в рамках любого из существующих математических аппаратов. Подобная ситуация имеет место и в других областях науки и практики [6]. Альтернатива установившейся традиции – это сочетание формальных и неформальных методов анализа в рамках целостного единого процесса исследования [6, 7]. Реализация такого подхода возможна в развитии теории диагностических экспертных систем.

Модель, не содержащая в достаточном объеме хотя бы один из видов диагностических знаний, будем называть частной *ДМ*. Приведем несколько примеров частных *ДМ*. Если перечислены идентификаторы возможных дефектов, допускается существование способа оценки вектора *ДП*, определены необходимые априорные вероятности, то для поиска дефектов может быть использована схема Байеса [8], согласно которой по наибольшему значению апостериорной вероятности принимается решение о текущем одиночном дефекте.

Во многих публикациях для поиска дефектов предлагается использовать схему, построенную на аппарате теории распознавания образов [9]. В таких случаях *ДМ* представляет собой перечень идентификаторов возможных дефектов; экспериментальный вектор *ДП*, представляющий точку в пространстве диагностических показателей; набор эталонных векторов *ДП* в этом пространстве. Считается справедливой гипотеза компактности областей пространства *ДП*. Суждение о наличии дефекта формулируется по принадлежности текущего вектора *ДП* к одной из этих областей.

Следующая схема поиска дефектов может быть построена на основе таблицы функций неисправностей [10]. Число строк этой таблицы равно мощности множества возможных *ЭП*, число столбцов – мощности *ВМД*, увеличенной на единицу. В ячейке (j, i) таблицы, находящейся на пересечении строки π_j и столбца d_i , записан результат R_j^i *ЭП* π_j *ОД*, имеющего дефект d_i . Если таблица обладает минимальным свойством различимости [10], то локализация дефекта осуществляется по совпадению результатов всех *ЭП* с одним из столбцов таблицы.

Все рассмотренные модели имеют приблизительно одинаковые порядковые возможности и недостатки. Их практическая применимость ограничивается сравнительно небольшими мощностями *ВМД*. Даже при таких мощностях они малореалистичны при учете временных отношений на *ВМД*. Схемы не позволяют анализировать причинно-следственные отношения на *ВМД*. Все они относятся к классу неструктурных моделей, т.е. предполагается, что *ОД* состоит из некоторого числа не связанных между собой частей. Поэтому в каждой модели неявно подразумевается, что идентификатор данного дефекта описывает его пространственную определенность в *ОД*. Диагностический эксперимент здесь безусловный: сначала оцениваются все элементы вектора *ДП* или выполняются все необходимые *ЭП*, а затем реализуются все необходимые вычисления и ставится диагноз. Таким образом, в каждой из трех моделей частично и явно описываются знания первого и третьего видов; подразумевается, что знания второго вида известны. Принципиальное отличие моделей – это механизм принятия решения. В первой модели он построен на условных апостериорных вероятностях, во второй – на эталонных векторах *ДП*, а в третьей – на эталонных наборах результатов необходимых *ЭП*.

Основные усилия по разработке первой и второй моделей прилагаются в процессе решения задачи о назначении элементов вектора *ДП*. Вектор *ДП* должен быть таким, чтобы обеспечить заданный уровень различимости дефектов. В третьей модели аналогичная задача связана с назначением элементов множества *ЭП* такого, которое обладает свойством минимальной различимости. Следовательно, разработка рассмотренных схем предполагает необходимость всестороннего исследования *ОД* для выявления особенностей его поведения в исправном и неисправном состояниях.

Структура пространства неисправных состояний, как правило, не компактна. Данный факт вынуждает разработчиков диагностического обеспечения заниматься проблемой относительной эквивалентности дефектов.

Видимо, появление в теоретической диагностике топологической модели [11] было обусловлено потребностью формализации задач, связанных с данной проблемой. Топологическая модель – это граф причинно-следственных связей с двумя видами вершин. Первый вид объединяет структурные параметры, по существу, это прямые показатели (*ПП*) дефектов; второй вид – косвенные параметры, или косвенные показатели (*КП*). Модель отражает структуру взаимозависимости между *ПП* и *КП*. Отсюда можно сформулировать суждение о ее назначении: это средство для формирования множества *ДП* с возможностью исследования различимости элементов множества *ПП* (дефектов) относительно выбранного множества *КП*. В топологической модели знания первого вида представлены в существенно большем объеме в сравнении с предыдущими моделями. Структуру *ОД* она также не отражает. Эта модель в отношении третьего вида знаний позволяет найти ответ на вопрос: «Какие *ЭП* следует назначить для обеспечения максимально возможной различимости дефектов?».

Примерами структурных *ДМ* служат динамические и логические модели. Если качество переходных процессов является существенным условием работоспособности *ОД*, то в рамках *ДМ* предлагается использовать дифференциальные уравнения [12]. Причем для решения задачи поиска дефектов применяют аппарат теории идентификации, и дифференциальные уравнения используются в форме “ТАРовских” структурных схем [12]. По существу такая структурная схема является функциональной, в которой функциональные блоки описаны аналитически в виде передаточных функций. Знание первого вида здесь представлено опосредовано – через отклонения от номиналов, либо коэффициентов передаточных функций, либо динамических характеристик функциональных блоков. Как следствие этого для локализации реальных дефектов необходима дополнительная частная *ДМ*, описывающая соответствие между *ПП* дефектов и указанными выше отклонениями от номиналов. Поскольку “ТАРовские” структурные схемы предназначены для описания функциональной динамической структуры, а не для отражения диагностической структуры (при их разработке не берутся во внимание элементы *ВМД*), постольку “модель-соответствие” ставит с неизбежностью проблему относительной эквивалентности дефектов. Если же за абстрактные *ДП* взять отклонения динамических характеристик функциональных блоков (динамических звеньев), то проблема эквивалентности автоматически снимается, если глубина поиска не превышает уровня сменных блоков, обеспечен изоморфизм *ОД* и его динамической *ДМ*. Неоспоримое достоинство динамической *ДМ* – возможность описания диагностического эксперимента по схеме аппарата теории идентификации. Задают входную функцию, вычисляют динамические характе-

ристики в определенных точках структурной схемы и получают разность этих характеристик с экспериментальными характеристиками, измеренными в соответствующих *КТ ОД*. Но здесь кроется проблема технической возможности измерения динамических характеристик *ОД* в тех *КТ*, которые предписываются данной динамической *ДМ*. Другими словами, опять же должен существовать изоморфизм между структурой *ОД* и структурой его *ДМ*. При этом весь диагностический эксперимент является однородным и безусловным. Элементарная проверка – это измерение мгновенного значения динамической характеристики в заданной контрольной точке. Динамические *ОД*, 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 *ДМ* конструктивна в том смысле, что она непосредственно участвует в диагностическом эксперименте в качестве носителя исправного *ТС*.

Построение формальной *ДМ* – процесс неоднозначный. Несмотря на объективный характер модели, в деятельности исследователя очень много субъективного. Это прежде всего уровень детализации *ОД*. Диапазон “степеней свободы” при построении динамической *ДМ* в основном ограничивается перечнем типовых динамических звеньев, а при построении логической модели – принципом функциональной близости, заключающимся в том, что на любом уровне деления *ОД* на части каждый диагностический элемент (*ДЭ*) должен иметь только один выход [10,13].

Всегда диапазон варьирования диагностической структуры имеет два предельных случая. В первом случае, когда установлен уровень деления *ОД* на простейшие неделимые части, *ДЭ* модели должны отражать эти неделимые части (детали). Во втором, противоположном случае, когда *ОД* физически или директивно вообще не делится на части, в качестве единственного *ДЭ* модели рассматривается сам объект. Внутри этого диапазона *ДЭ* всегда отражают делимые части объекта.

Рассмотрим два других крайних случая. Если фиксированный *ДЭ* соответствует нескольким не связанным между собой частям, то для проверки его исправности требуется обязательно проверить все эти части. Это означает, что число *ЭП* должно быть, по крайней мере, равно числу частей, описываемых данным *ДЭ* и не имеющих между собой функциональных связей. Число необходимых *ЭП* данного *ДЭ* может быть сокращено при наличии таких связей. Когда все части внутри *ДЭ* связаны между собой и их функции генерируют один внешний выход по схеме конъюнкции, тогда состояние данного *ДЭ* может быть оценено одной *ЭП* сигнала на этом выходе. Именно эти крайности достаточно полно характеризуют принцип функциональной близости: при определении внутреннего содержания *ДЭ* следует собирать в нем части, работающие на формирование общего сиг-

нала на его единственном выходе. Использование данного принципа в логической *ДМ* всегда позволяет найти такую условную или безусловную последовательность *ЭП*, которая гарантирует фиксацию всех логически неисправных *ДЭ*. Кроме того, это идеальный аппарат для построения систем функционального диагностирования распределенных *ОД*. Здесь каждый *ДЭ* взаимно однозначно моделирует пространственно обособленную часть *ОД*, и тем самым обеспечивается изоморфизм *ОД* и его *ДМ* [10].

Несоблюдение принципа функциональной близости (*ДЭ* имеют более одного выхода) может быть связано с так называемым “поперечным нарезанием” функциональных схем, когда в *ДЭ* объединяются участки нескольких параллельно изображенных на схемах трактов. В результате этого возникает проблема тестового диагностирования. Для каждого внутреннего *ДЭ* (элемент, у которого входы соединены хотя бы с одним выходом других *ДЭ*) и каждого недопустимого входного набора этого *ДЭ* должны быть поставлены в соответствие минимум два его выходных набора: один для исправного состояния и один или несколько – для неисправных состояний. При этом уровень сложности решения задачи поиска существенно возрастает.

Логическая *ДМ* не только отражает определенную диагностическую структуру *ОД*, но может дополнительно включать следующие сведения: перечень точек подачи рабочих и тестовых воздействий; перечень точек проверки *ДП* с описанием способов их оценки и приближенными данными о затратах времени на оценку; перечень допустимых значений *ДП*; описание возможностей пробных замещений *ДЭ* и возможностей появления различных дефектов одного и того же *ДЭ* (обрыв, перегрузка, расстройка и др.). Таким образом, она в достаточной мере описывает знания второго и третьего видов.

Логическая *ДМ* участвует в диагностическом эксперименте косвенно, а именно: она служит средством для разработки оптимального алгоритма поиска дефектов. Поэтому для нее должно быть определено понятие “модели дефекта”. Моделью дефекта называют формализованное представление факта проявления физического дефекта в виде неправильных значений сигналов на входах или выходах *ДЭ* логической *ДМ*.

Обе разновидности структурных *ДМ* имеют существенный недостаток – объем знаний первого вида в них существенно ограничен: логическая модель описывает только дефекты, нарушающие логику функционального процесса, а динамическая – динамику этого процесса. Интересный опыт в данном отношении имеет теория надежности [14], ее структурные модели для расчета количественных показателей надежности включают только такие элементы, возможность отказа которых по каким-либо причинам и для любых последствий в заданном временном интервале не вызывает сомнений. Иными словами, уровень детализации элементов структурной модели объекта назначается исходя из статистических данных по интенсивности

отказов его физических элементов. Это означает, что учитываются возможные дефекты этапа эксплуатации.

Комбинационные и последовательностные схемы, являясь специфической, структурной диагностической моделью цифровых устройств [10], также требуют задания модели 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 дефектов (определение диагностических тестов) с необходимостью ставит проблему изоморфизма физической структуры *ОД* и диагностической структуры его модели. Важность проблемы изоморфизма подчеркивается также в работах по исследованию *ДМ* программных средств [15]. Только если эта проблема решена, выводы, полученные на *ДМ*, будут справедливы и для *ОД*. Кроме того, применение конечных автоматов в качестве *ДМ* цифровых устройств остро ставит проблему эквивалентности дефектов. Контроль внешних выходов явно недостаточен. Необходимы серьезные исследования контролепригодности цифровых устройств с целью расширения множества *ДП* путем назначения внутренних контрольных точек. Структурные конечные автоматы можно отнести к классу «полуструктурных» *ДМ*. Они имеют структуру, но она никак не используется в организации диагностического эксперимента, который строится на идеологии черного ящика.

Структурные «ТАРовские» схемы и структурные конечные автоматы – математические модели, которые применяются разработчиками систем в процессе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Эти же модели без существенных изменений пригодны для решения диагностических проблем. Логические же модели – это собственный формальный аппарат технической диагностики.

Все виды рассмотренных структурных моделей концентрируют информацию о дефектах физических частей объекта в своих элементах, а связи между элементами модели предполагаются абсолютно надежными. Даже в комбинационных схемах нарушение связей моделируют константными неисправностями. Это серьезное ограничение. Результаты анализа *ВМД* различных *ОД* говорят о равновозможности дефектов физических элементов и дефектов физических связей или отношений между этими элементами. Например, нарушение пространственных отношений (несоосность, непараллельность, недопустимый зазор и т.п.) – характерный пример дефектов отношений механических *ОД*. В рассмотренных структурных *ДМ* связи между *ДЭ* не отражают дефекты отношений между частями *ОД*.

Внутри временного отрезка $[t_2, t_3]$ степень возможности элементов *ВМД* изменяется (t_2, t_3 – соответственно моменты начала и окончания этапа эксплуатации). Например, в окрестности точки t_3 будут преобладать “ре-

сурсные” дефекты. Поэтому формализованное знание о деградиационных процессах может также рассматриваться как частная разновидность *ДМ*.

Задача разделения *ОД* на части оказывается также связанной с проектированием технических объектов и их ремонтом. При проектировании структуры объекта может быть принят различный уровень деления его на части. Число уровней деления и содержание частей может в некоторых пределах меняться. При этом сохраняется закономерность, состоящая в том, что по мере увеличения объема каждой части число их уменьшается. А также 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, *ИС*, 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, суммарная стоимость поиска и восстановления, начиная с определенной глубины, может возрасти. Следовательно, имеет смысл постановка оптимизационной 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 (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 дефектов усложняется. Замена таких частей приводит к необходимости длительных демонтажных работ, а затем, после устранения дефекта – к длительным сборочным работам. Поэтому механизм размещения частей в межблочном пространстве должен соответствовать основному принципу ремонтпригодности: ненадежные части размещать в легкодоступных местах.

Характер отношений между структурными и неструктурными *ДМ* проявляется также в вопросе о назначении глубины поиска дефектов. В рамках неструктурного подхода требуемую глубину поиска задают через фиксированное разбиение *ВМД* (*D*) на *m* непересекающихся подмножеств *D_i*.

Контроль исправности соответствует минимальной глубине поиска, при которой $m=2$, а $D_1=\emptyset$ и $D_2=D$. Максимальная глубина соответствует поиску до элемента $ВМД$, при этом максимальное число классов разбиения с учетом кратности дефектов определяется как $m=2^n$, где n – число возможных одиночных дефектов. Все промежуточные значения числа классов разбиения находятся внутри отмеченного диапазона. Каждое разбиение фактически определяет отношение эквивалентности на $ВМД$. Элементы классов эквивалентности либо нет смысла различать, либо они не различимы в рамках существующего диагностического обеспечения.

Задание глубины поиска через разбиение $ВМД$ не учитывает соответствие между классами эквивалентности и конструктивными частями $ОД$. Поэтому такой подход, имея высокую степень универсальности, неудобен в практических приложениях. В рамках структурного подхода глубину поиска можно задавать через разбиение множества конструктивных частей $ОД$ на непересекающиеся подмножества. При этом, как правило, в каждое подмножество включают такие части, которые в совокупности образуют конструктивно законченные блоки $ОД$. Их обычно называют сменными блоками. Если каждому сменному блоку $ОД$ взаимно и однозначно соответствуют $ДЭ$ его структурной $ДМ$, то структуры объекта и его модели будут изоморфны. Следовательно, исследование возможностей по назначению глубины поиска можно вести и в рамках $ДМ$.

Целесообразно обобщить оба рассмотренных выше подхода. Для этого, во-первых, конструктивный принцип деления $ОД$ логично дополнить данными об особенностях сложившейся технологии ремонта. Во-вторых, сама технология ремонта для конкретных производственных условий имеет свои особенности, а именно: она объективно отражает $ВМД$. Поэтому нет смысла выделять в отдельной $ДЭ$ “абсолютно” надежные части $ОД$ и $ДЭ$ следует выделить столько, сколько того требует существующая технология ремонта.

Сформулируем основное методологическое положение для разработки полной $ДМ$: $ВМД$ и его особенности являются главным основанием для синтеза структурного представления об $ОД$ и для назначения элементов $ВМП$. Другими словами, знания первого вида доминируют, определяют или обуславливают знания второго и третьего видов. Исходя из данного неформального положения, определим на теоретико-множественном уровне понятие полной $ДМ$ в виде неоднородной системы следующего вида:

$$\{D, E, V, M_D, M_E, M_V, M_{DE}, M_{DV}, M_{EV}, M_{DEV}\},$$

где D – множество возможных дефектов; E – множество диагностических элементов; V – множество возможных проверок; M_D, M_E, M_V – множества отношений соответственно на D, E и V ; M_{DE}, M_{DV}, M_{EV} – множества отношений соответственно между элементами множеств D и E, D и V, E и V ; M_{DEV} – множество отношений между элементами множеств D, E и V .

Элемент $d_i \in D, i=1, n$, есть идентификатор, фиксирующий определенный формальный дефект [3]; $e_j \in E, j=1, m$ – j -й ДЭ – это идеальная сущность, отображающая определенную реальную часть ОД; $v_k \in V, k=1, q$ – идентификатор k -й ЭП, фиксирующий возможность оценки определенного ДП.

Обычно элементом называют произвольную неделимую при заданной глубине поиска часть ОД. Неделимость элемента условна и вызвана стремлением к упрощению поиска. При этом вполне возможно, что при изменении глубины поиска потребуется разложение одного элемента или, наоборот, объединение двух элементов в один. Неразличимый при данной, но, возможно, различимый при другой глубине поиска элемент ОД назван выше сменным блоком. Соответствующую данному блоку ОД идеальную сущность его ДМ будем называть диагностическим элементом. Блок – это часть ОД, ДЭ – это часть его ДМ.

Анализ соотношений мощностей n, m и q позволяет разработчику диагностического обеспечения получить дополнительные обобщенные знания о текущей диагностической ситуации. Число вариантов упорядочения для k величин определяется как $k!$. Поэтому число формальных вариантов соотношений для мощностей m, n, q равно 6 ($n \leq m \leq q, n \leq q \leq m, m \leq n \leq q, m \leq q \leq n, q \leq n \leq m, q \leq m \leq n$).

Очевидно, объективно существуют разнообразные отношения на множествах D, E и V , а также между элементами этих множеств. В соответствии с [6] можно принять гипотезу о конечности множеств M возможных отношений. Множества M формально в зависимости от области определения разбиты на 7 классов. Определение состава каждого класса требует отдельного исследования. В таблице перечислены известные сегодня отношения в рамках каждого из выделенных классов.

Тип отношения	Наименование отношения	Класс отношений	Символ
Идентифицирующие	Иметь имя	M_D, M_V, M_E	ρ
Временные	Быть одновременно	M_D, M_V, M_{DV}	R_1
	Быть раньше	M_D, M_V, M_{DV}	R_2
Причинно-следственные	Быть причиной	M_D, M_V, M_{DE}	R_3
	Быть целью	M_{DV}	R_4
	Действие-объект	M_{EV}, M_{DEV}	R_5
Пространственные	Быть в окрестности	M_D, M_E	R_6
	Находиться сзади	M_E	R_7
	Принадлежать	M_E, M_{DE}, M_{EV}	R_8
Динамические	Двигаться к	M_E	R_9
Прагматические	Служить для	M_{DE}, M_{DV}, M_{EV}	R_{10}
	Быть препятствием для	M_N, M_{DX}	R_{11}
	Обладать состоянием	M_D, M_V, M_E	R_{12}
	Участвовать в процессе	M_E, M_V, M_{DV}, M_{EV}	R_{13}
Классификационные	Быть элементом классы	Все классы	R_{14}
	Быть эквивалентными	M_V, M_{DV}, M_{EV}	R_{15}
Сборочно-разборочные	Крепится к, связан с	M_E	R_{16}

Большинство отношений из таблицы существуют объективно. Они отражают процессы функционирования *ОД* и закономерности изменения его *ТС*. Некоторое подмножество отношений задается разработчиком диагностического обеспечения в результате формализации процедур поиска дефектов. Так, например, для одной части множества *D* задается отношение принадлежности к множеству *ДЭ* (R_8 для M_{DE} описывает дефекты блоков), а другая часть дефектов может быть связана с нарушением сборочно-разборочных отношений (объективные изменения отношений R_{16} описывают дефекты связей). В *ОД* с функциональным процессом можно, очевидно, выделить тракты прохождения вещества, энергии или информации. Эти тракты естественным образом отражаются в логической *ДМ*. В зависимости от положения дефекта в определенном тракте можно на множестве *D* задать отношение следования. Оно существует объективно, относится к типу пространственных отношений (R_7 на *D*) и обладает свойствами алгебраического отношения нестрогого порядка. В логической *ДМ* для каждого тракта на множестве *E* также существует отношение следования. Оно задается субъективно (R_7 на *E*) и имеет свойства алгебраического отношения строгого порядка. Ясно, что должно существовать гомоморфное отображение $\varphi : D \rightarrow E$ отношения $\langle R_7, D \rangle$ в отношение $\langle R_7, E \rangle$, и только в таком случае логическая модель тракта будет конструктивной. Учет всех перечисленных отношений реально возможен в рамках такой конструкции, которая сочетает достоинства формальных и неформальных методов. Один из перспективных вариантов такой конструкции – диагностическая экспертная система.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин В.В.* Временные отношения на множестве дефектов // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2001. № 6. С.67 – 69.
2. *Воронин В.В.* Анализ причинно-следственных отношений на множестве возможных дефектов // Информатика и системы управления. 2001. №1. С.65-73.
3. *Воронин В.В.* Формальное преобразование соответствий между дефектами и их диагностическими показателями // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: Сб. трудов междунаро. науч. конф. Т.2. Смоленск, 2001. С.124-127.
4. *Воронин В.В.* Распределение вероятностей на множестве формальных дефектов // Известия вузов. Приборостроение. 2001. №5. С.57 – 61.
5. *Брюле Д.Д., Джонсон Р.А., Клетский Е.Д.* Отыскание неисправностей в технических устройствах // Зарубежная радиоэлектроника. 1961. № 7. С.42-58.
6. *Поспелов Д.А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981.
7. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
8. *Биргер Н.А.* Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978.
9. *Горелик А.Л., Скрипкин В.А.* Методы распознавания. М.: Высш. шк., 1984.
10. *Пархоменко П.П., Согомонян Е.С.* Основы технической диагностики (Оптимизация



- алгоритмов диагностирования, аппаратные средства. М.: Энергия, 1981.
11. Грундспенькис Я.А., Маркович З.П., Осис Я.Я. Построение топологической модели объекта. // Кибернетика и диагностика. Рига: Зинатне, 1972. Вып.5. С.19-35.
 12. Шалобанов С.В. Структурные методы диагностирования линейных непрерывных систем управления. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1997.
 13. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М: Радио и связь, 1989.
 14. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. М.: Радио и связь, 1988.
 15. Гулеев В.А., Коростиль Ю.М. Диагностирование программного обеспечения микропроцессорных систем. К.: Тэхника, 1991.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

УДК 681.518.5

© 2001 г. А.М. Патрусова

(Братский государственный технический университет)

МЕТОД ВТОРИЧНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Предлагается прикладной метод вторичной идентификации, позволяющий повысить точность идентификации линейных динамических объектов с заранее известными структурами передаточных функций и окрестностями значений их коэффициентов, полученными по результатам первичной идентификации.

Введение

Анализ методов первичной идентификации промышленных тепловых объектов с известными структурами передаточных функций, коэффициенты которых связаны определенными зависимостями со структурными параметрами, был рассмотрен в работе [1]. Основным условием, предъявляемым к найденным коэффициентам, является возможность их физической интерпретации, а также возможность декомпозиций зависимости этих коэффициентов с целью определения структурных параметров исследуемых объектов.

Задача вторичной идентификации состоит в том, чтобы, не нарушая принятых условий, повысить точность идентификации.