

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Ивановский государственный химико-технологический университет»

## ДИАГНОСТИКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к практическим занятиям по курсу  
«Диагностика и надежность автоматизированных систем» для  
студентов дневного и заочного обучения специальности 22.03.01.

Составитель: А.П.Самарский

Иваново 2006

Составитель А.П. Самарский  
УДК 681.51 – 192 (075.8)

Диагностика и проведение испытаний автоматизированных систем.  
Методические указания к практическим занятиям по курсу «Диагностика и надежность автоматизированных систем» для студентов дневного и заочного обучения специальности 22.03.01./ Сост. А.П.Самарский; Иван. гос. хим.- технол. ун-т. Иваново, 2006. 32с.

В методических указаниях рассмотрены основные проблемы диагностики технических и программных средств автоматизированных систем, а также методы планирования испытаний автоматизированных систем на надежность. Представлены справочные данные для составления планов определительных и контрольных испытаний. Приведены задания для самостоятельного решения.

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент  
доктор технических наук А.Г.Липин (Ивановский государственный химико-технологический университет)

## 1. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Техническая диагностика систем автоматизации направлена на исследование текущего состояния системы, разработку методов идентификации состояний системы и принципов построения систем диагностирования.

Технические средства, используемые в различных системах автоматизации весьма разнообразны, поэтому методы диагностики должны учитывать различия в формах проявления технического состояния систем автоматизации, целесообразность использования тех или иных методов определения работоспособности и поиска неисправностей в зависимости от особенностей технической реализации системы. Условия непрерывной эксплуатации систем автоматизации предполагают ориентацию средств диагностики не только на обнаружение и локализацию места возникновения отказа, но и на определение его характера и возможных последствий. Задачи технического диагностирования систем автоматизации непосредственно связаны с задачами теории управления и с методами, используемыми для их описания и анализа.

Техническое диагностирование предполагает определение технического состояния объекта диагностики с определенной точностью. Поскольку необходимо идентифицировать работоспособные и неработоспособные состояния объекта, возникает задача формирования математических моделей влияния отказов на работоспособность объекта диагностики по тем или иным критериям. Результат анализа таких моделей позволяет определить наиболее рациональный алгоритм поиска неисправностей и направление проектирования систем диагностики. Организация диагностирования приведена на схеме (рис.1.1).

В процессе функционирования система может переходить из одного состояния в другое. В связи с этим, при построении моделей функционирования системы наиболее существенным является определение оператора перехода системы в те или иные состояния. Математическая формулировка оператора может быть различной, однако, любое состояние должно определяться этим оператором однозначно.

Переход системы из работоспособного состояния в неработоспособные происходит под влиянием различных отказов. При контроле работоспособности результат перехода системы в то или иное состояние всегда точно известен, хотя причины этого перехода могут оставаться неопределенными. В этом случае можно установить некоторую регулярную последовательность событий, которая с определенной достоверностью выявляет причину перехода.

Особенностью детерминированных моделей объектов диагностики является единственность траекторий, однозначно определяющих связь работоспособности объекта с характером возникающих неисправностей. Для случайных моделей оператор перехода учитывает вероятностные характеристики.

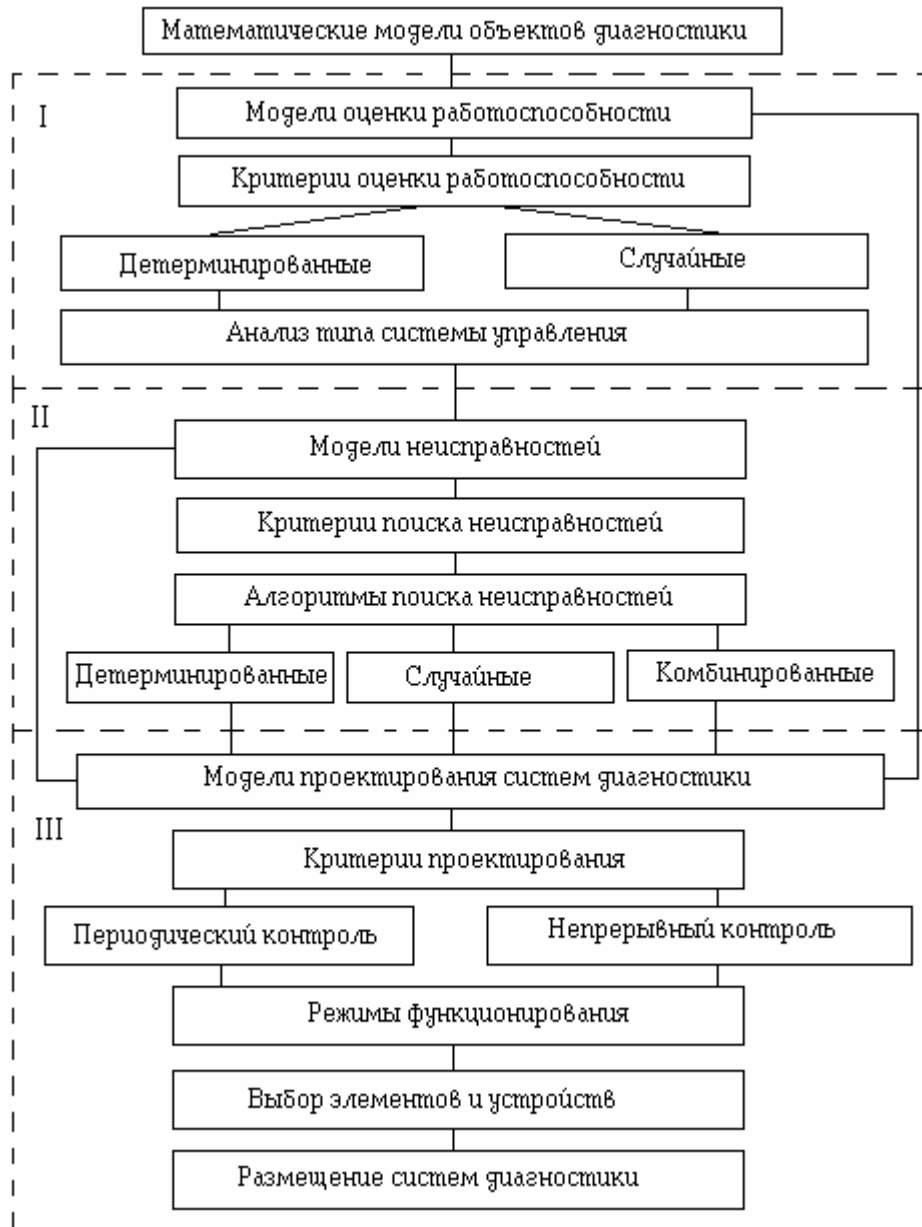


Рис.1.1. Организация технического диагностирования систем управления.

Состояние объекта диагностики в общем случае может быть описано  $n$ -мерным вектором

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad (1.1)$$

в котором  $x_1, x_2 \dots x_n$ - компоненты вектора.

Оператор перехода системы из одного состояния в другое может быть описан матрицей вида

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

где  $a_{ij}$  – коэффициенты преобразования.

Модель дает возможность представить любые изменения состояния системы в виде линейных или нелинейных преобразований. Например, если вектор  $X$  характеризует исходное состояние системы, то ее производное состояние для линейного преобразования вида

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad (1.3)$$

может быть записано в виде

$$X = AX. \quad (1.4)$$

Для широкого класса систем, описываемых дифференциальными уравнениями, математическая модель имеет вид

$$\frac{dX}{dt} = A(t)X + F(t); \quad X(0) = C, \quad (1.5)$$

где

$$F(t) = \begin{pmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ \vdots \\ f_n(t) \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$$

-  $n$ -мерные векторы.

Вероятностная математическая модель объекта диагностики также может быть представлена в векторной форме. В этом случае оператор перехода в выражениях (1.4) и (1.5) является матрицей случайных величин.

Анализ математической модели объекта диагностики направлен на решение двух основных задач: получения качественной и количественной оценок влияния возможных отказов на работоспособность объекта и определения достаточного числа контролируемых параметров. При анализе математических моделей объектов диагностики существует два подхода. Первый заключается в том, что рассматривают максимально возможное число состояний объекта, определяемое числом элементов, из которых он состоит.

Второй подход предполагает разделение всего множества возможных состояний на главные и второстепенные, причем, последними можно пренебречь. Данный подход является основным при решении практических задач, поскольку учет всех возможных состояний может настолько усложнить

модель объекта диагностики, что она станет непригодной для практического использования.

Объективной мерой степени упрощения модели объекта диагностики служит время, отводимое на восстановление системы, и цена отказа системы. Эти параметры взаимосвязаны и образуют единый критерий, характеризующий эффективность решения задач диагностики и значимость возможных последствий отказа системы.

## 2. МЕТОДЫ ПОИСКА ОТКАЗАВШИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Основной задачей рациональной организации поиска отказавшего элемента является сокращение времени и средств, затрачиваемых на поиск. Широко распространен метод поиска дефектов, при котором локализация места возникновения отказа осуществляется с помощью тестов. Практическая реализация теста заключается в том, что объект диагностики выводится из эксплуатации, на входы его элементов подаются некоторые воздействия, имитирующие рабочие сигналы и проводится контроль реакций элементов на эти сигналы. Предполагается, что исправному состоянию элемента соответствует наличие сигнала на его выходе, а неисправному – его отсутствие. При этом вводятся следующие допущения:

- объект диагностики и все его элементы допускают контроль с помощью тестовых сигналов;
- известны формы проявления отказов элементов и соответствующие изменения контролируемых параметров;
- отказ одного из элементов влечет за собой потерю работоспособности всего объекта;
- известны экономические характеристики поиска.

При использовании тестов стремятся минимизировать число тестовых воздействий, при которых может быть обнаружен дефект любого из элементов системы. Построению системы тестов, как правило, предшествует анализ функциональной модели системы и построение таблицы неисправностей. Простейшая схема объекта диагностики представлена на рис.2.1.

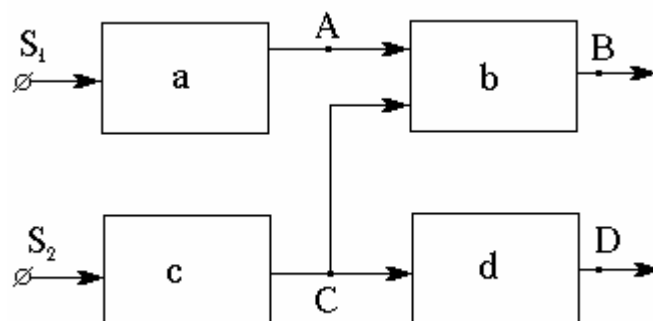


Рис.2.1. Структурная схема объекта диагностики.

На данном рисунке **a,b,c,d** – элементы объекта с соответствующими связями, **S<sub>1</sub>** и **S<sub>2</sub>** – входы, **B** и **D** – выходы. Таблица неисправностей этой системы может быть представлена в виде табл.2.1, в которой множество состояний объекта обозначено символом **E**, множество возможных проверок – символом **П**, исправное состояние элемента представлено, как **1**, а неисправное – как **0**.

Таблица 2.1.

Результаты тестового контроля.

Проверки <b>П</b>	Состояния объекта <b>E</b>				
	1111	0111	1011	1101	1110
<b>П<sub>A</sub></b>	1	0	1	1	1
<b>П<sub>B</sub></b>	1	0	0	0	1
<b>П<sub>C</sub></b>	1	1	1	0	1
<b>П<sub>D</sub></b>	1	1	1	0	0

Из таблицы следует, что пять возможных состояний объекта диагностики оказываются полностью различимыми с помощью четырех проверок.

С ростом числа элементов увеличивается число состояний объекта диагностики и, соответственно сложность процедуры тестирования. Минимизация алгоритма тестирования может быть проведена с использованием методов алгебры логики. Рассмотренный способ особенно эффективен при диагностировании дискретных систем.

Предположение об однозначности отказов, эквивалентное допущению о последовательном (в смысле надежности) соединении элементов, дает возможность использовать и другие методы построения алгоритмов поиска дефектов. К таким методам относится *метод половинного разбиения*.

Для системы из **N** последовательно соединенных элементов введем параметры оценки алгоритма поиска отказавшего элемента: **t<sub>i</sub>** – среднее время проверки **i** – го элемента; **q<sub>i</sub>** – вероятность отказа системы из-за отказа **i** – го элемента.

Величина **q<sub>i</sub>** определяется, как

$$q_i = \frac{1-p_i(t)}{1-p_c(t)} = \frac{1-e^{-\lambda_i t}}{1-e^{-\lambda_c t}}, \quad (2.1)$$

где **p<sub>i</sub>(t)** – вероятность безотказной работы **i**-го элемента; **p<sub>c</sub>(t)** – вероятность безотказной работы системы; **λ<sub>i</sub>** – интенсивность отказов **i**-го элемента; **λ<sub>c</sub>** – интенсивность отказов системы. При малых интенсивностях отказов элементов и системы в целом выражение (2.1) можно представить в виде:

$$q_i \approx \frac{1-(1-\lambda_i t)}{1-(1-\lambda_c t)} = \frac{\lambda_i}{\lambda_c} \quad (2.2)$$

или

$$q_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (2.4)$$

Задача поиска неисправного элемента состоит в нахождении такой последовательности проверок, при которой на поиск дефекта затрачивается минимум времени.

Рассмотрим методику построения алгоритма поиска отказавшего элемента при равенстве  $q_1=q_2=\dots=q_N$  и  $\tau_1=\tau_2=\dots=\tau_N$ . Разделим условно систему на 2 части, содержащие, соответственно,  $m$  и  $N-m$  элементов. Неисправный элемент с вероятностью  $p_1= m/N$  может находиться в цепочке из  $m$  элементов и с вероятностью  $p_2= (N - m)/N$  – в цепочке из  $N - m$  элементов.

Математическое ожидание числа неисправных элементов определяется, как

$$M = mp_1 + (N - m)p_2 = \frac{m^2 + (N-m)^2}{N} \quad (2.5)$$

Функция (2.5) имеет минимум при  $m = N/2$ . Очевидно, что при этом отказавший элемент с равной вероятностью  $p_1=p_2=0,5$  может находиться как в левой, так и в правой части системы.

Таким образом, при сформулированных условиях оптимальный порядок проведения проверок состоит в последовательном делении цепочки элементов пополам. Направление деления каждый раз определяется результатом теста в точке деления. При различных значениях  $q_i$  и  $t_i$  тестирование проводится также, исходя из равенства вероятностей нахождения отказавшего элемента слева или справа от точки деления, однако местоположение этой точки зависит от вышеназванных величин и, в каждом случае, определяется отдельно.

### 3. ПРИНЦИПЫ ДЕТЕРМИНИРОВАННОСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПОИСКА ОТКАЗАВШЕГО ЭЛЕМЕНТА.

При создании новых совершенных систем управления решение задач диагностики осуществляется на стадии проектирования. Для большинства проектируемых систем расчетные значения характеристик надежности имеют низкую достоверность даже в том случае, когда используются элементы с известными показателями надежности. Последнее объясняется тем, что статистические данные, полученные для определенных сочетаний эле-



ментов и определенных режимов эксплуатации, не всегда или не в полной мере соответствуют для других сочетаний элементов и других режимов работы.

Наиболее объективными характеристиками, обеспечивающими эффективное решение задач диагностики, являются **относительные веса контролируемых параметров**. Весовые константы содержат объективную и достаточно полную информацию о надежности свойств и структурных особенностях системы управления и ее составляющих. С этой целью необходимо рассматривать элементы системы управления с точки зрения их информационных свойств. Взаимосвязь между информационными и энергетическими характеристиками элемента выражается соотношением:

$$WJ_a = \frac{W_m}{\eta_3}, \quad (3.1)$$

где  $W$  – энергетический показатель качества элемента,  $\eta_3$  – энергетический коэффициент полезного действия элемента,  $W_m$  – предельное значение энергии, характеризующее максимально возможную чувствительность элемента к повышению качества и  $J_a$  – коэффициент, определяющий информационные свойства элемента. Как показывает опыт разработки и эксплуатации систем управления, совершенствование качественных показателей системы (при постоянном значении  $\eta_3$ ) ведет к снижению остальных величин.

Известно, что в информационно-управляющих устройствах число элементов  $N$ , в среднем, пропорционально показателю их качества  $v$ :

$$N = k n, \quad (3.2)$$

где коэффициент  $k$  характеризует эффективность схем, в которых используются элементы. Усложнение устройств и систем приводит к увеличению числа элементов и к ухудшению надежности. Средняя интенсивность отказов системы, содержащей элементы  $m$  типов, составит

$$\lambda_{cp} = \sum_{i=1}^m \rho_i \lambda_i, \quad (3.3)$$

где  $\rho_i$  и  $\lambda_i$ , соответственно, доля и интенсивность отказов элементов  $i$ -го типа в системе. Среднее время наработки на отказ в этом случае определяется, как

$$T_{cp} = \frac{1}{N \lambda_{cp}}. \quad (3.4)$$

После подстановки в это соотношение уравнений (3.2) и (3.3) получим:

$$v T_{cp} = \frac{1}{k \lambda_{cp}}. \quad (3.5)$$

Таким образом, одновременное повышение качественных характеристик и надежности систем управления возможно только при улучшении надежности элементов (снижении  $\lambda_{cp}$ ) и улучшении эффективности схемных решений (снижении  $k$ ).

Опыт создания и эксплуатации систем управления показывает, что для выполнения наиболее существенных функций требуются элементы и узлы с наиболее сложной структурой. Сложность, в свою очередь, связана с относительным весом параметров, характеризующих элементы и узлы системы управления.

Относительный вес  $i$ -го контролируемого параметра может быть определен модулем его изменения:

$$V_i(a_0) = \left| \frac{a_i}{a_{i0}} \right|, \quad (3.6)$$

причем

$$\left. \begin{aligned} V_i(a) &= \left| \frac{a_i}{a_{iN}} \right| && \text{при } a_i < a_{iN} \\ V_i(a) &= \left| \frac{a_{iN}}{a_i} \right| && \text{при } a_i > a_{iN}, \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

где  $a_i$  – текущее значение  $i$  – го контролируемого параметра,  $a_{i0}$  – начальное значение  $i$  –го параметра,  $a_{iN}$  – номинальное значение  $i$  – го параметра.

Наиболее объективной характеристикой работоспособности систем автоматизации является их точность. В то же время, выбранный критерий работоспособности должен учитывать специфику процессов диагностирования, вероятностный характер отказов, экономические издержки диагностирования и др. Задача алгоритмизации процесса поиска дефекта наиболее эффективно решается при выборе в качестве определяющего параметра точности системы управления и с учетом вероятностных и экономических характеристик этой системы. В большинстве случаев алгоритм поиска неисправностей сводится к выбору последовательных решений по направлению поиска. В результате поиска должен максимизироваться критерий  $f(v)$ , в качестве которого рассматриваются относительные веса каналов, трактов, блоков и элементов объекта диагностики.

#### **4. ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ.**

Структурное и конструктивное разнообразие систем автоматизации затрудняет создание единой унифицированной системы диагностирования и