

УДК 621.37/39.029.3

И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

*Рассмотрены модели и методы мониторинга технологического оборудования для производства военной техники как составной части мониторинга производственной среды, обеспечивающей выполнение технологических операций сборки и монтажа электронных аппаратов.*

**Ключевые слова:** технологическое оборудование, жизненный цикл.

### Введение

В процессе производства военной техники происходит наиболее значительное изменение показателей жизненного цикла (ЖЦ) электронных аппаратов (ЭА), в этой связи особое значение приобретает мониторинг производственной среды, который в настоящее время осуществляется в рамках систем технического обслуживания технологического оборудования. Здесь мониторинг используется непосредственно для наладки, контроля, диагностики неисправностей и ремонта оборудования, являющегося, по сути техническим обеспечением производственной среды.

### 1. Характеристики существующих систем диагностики и контроля технологического оборудования

Организация современных систем диагностики и контроля, включающих средства вычислительной техники и автоматизации, сталкивается с необходимостью стыковки разного, порой уникального, оборудования с ЭВМ. При этом должны быть согласованы функциональные и технические возможности самых разнообразных устройств в условиях многообразия и сложности решаемых задач. Задача усложняется существованием множества возможных

вариантов состава интерфейсного оборудования, соответствующего разным стандартам.

Особенности объекта диагностики (ОД) существенно влияют на характеристики проектируемой диагностической системы. Автоматизированная система контроля (АСК) может быть спроектирована для различных стадий существования ОД: проектирование, производство, эксплуатация, которые так же значительно влияют на особенности системы [1, 2].

АСК должна позволять оперативно создавать ДП и проводить диагностику и контроль – это необходимо для уменьшения простоев производственного оборудования и повышения эффективности его эксплуатации. Таким образом, АСК, используемая на этапе эксплуатации электронного оборудования, должна удовлетворять следующим общим требованиям:

- гибкость системы, позволяющая относительно быстро перестраиваться с одного ОД на другой;
- высокая достоверность результатов диагностики и контроля, снижающая требования к квалификации обслуживающего персонала;
- высокая производительность;
- самодиагностируемость системы;
- модульный принцип построения технических и программных средств, обеспечивающий свободу её развития.

Такими свойствами может обладать система, являющаяся совокупностью программных и аппаратных средств, построенной на основе персонального компьютера.

## 2. Моделирование цифровых устройств системы управления технологическим оборудованием

Для анализа и синтеза цифровых устройств системы управления технологическим оборудованием (СУТО) используют разнообразные методы и модели [3, 4]. При анализе дискретных устройств и систем, описываемых уравнениями логического типа, обычно выделяют четыре уровня моделирования: системный, алгоритмический, логический, и уровень элементарных вентилях.

Для оптимальной реализации процесса диагностики и контроля необходимо четко определить два существующих типа контроля электронных систем технологического оборудования – технический контроль при разработке и изготовлении отдельных цифровых модулей и технический контроль при ремонте и наладке после

Для решения задач поиска неисправности в СУТО желательно, чтобы применялся принцип «сверху вниз», при котором средства моделирования всех уровней учитывают требования технического контроля. Этого требует введение соответствующих описаний способов внесения в них нарушений и разработки эффективных методов их анализа.

Существующие в настоящее время модели для описания диагностических систем информационно-логического типа, как правило, используют только одно отношение, а именно бинарное отношение типа «тест-неисправность». Бинарным отношением

$R$  на множестве  $M$  называется подмножество  $R$  всех упорядоченных пар, принадлежащее  $M \times M$ . Бинарное отношение может задаваться различными способами: матрицами, ориентированными графами, сечениями.

В модели, связывающей неисправности с тестами система представлялась как несвязанная группа функциональных элементов, вследствие чего связь «тест-неисправность» заменялась связью «тест-элемент», а сама неисправность рассматривалась, как неспособность элементов выполнять заданную функцию. Эта связь моделировалась путем сопоставления каждому тесту последовательности из  $N$  двоичных цифр, где каждая цифра соответствует элементу системы, причем  $k$ -я цифра равна 0, если тест проверяет  $k$ -й элемент, и 1, если тест не обнаруживает неисправность.

Развивается этот подход в направлении использования теоретико-информационных методов для оценки количества информации, которую несет тест, и выбора оптимальной последовательности тестов.

Предполагается, что в системе имеется  $n$  неисправностей и  $m$  тестов для их обнаружения. Элемент  $d_{ij}$  таблицы равен 1, если тест  $t_i$  не проходит при неисправности  $f_j$ , и равен 0, если тест  $t_i$  проходит при неисправности. При этом решалась задача определения различимости неисправностей, а модель применялась при выборе оптимальной системы тестов.

Другие модели были использованы для комбинационных сетей. Применяемая модель представляет собой таблицу неисправностей, имеющую строку для каждой входной комбинации и столбец для исправной и всех неисправных сетей. Осуществляется переход от таблицы неисправностей к дополнительным матрицам. Используется также взвешивание матрицы определенными «весами». Затем эти модели были обобщены в ряде работ применительно к логическим сетям, имеющим несколько выходов и выдающим реакции на тесты иначе, чем «проход-непроход».

Указанные модели, за исключением первой, предполагали, что неисправность представляет собой особое детерминированное нарушение в пределах элемента или модуля вроде тождественного равенства нулю либо единице определенной линии.

Первые модели, принадлежащие концепции «тест-элемент», описывают класс вычислительных систем с самодиагностикой. Так, показывается, что вычислительная система  $S$  обладает возможностью самодиагностики, если ее можно разделить на  $n$  взаимоисключающих дискретных подсистем  $S_{i,j} = 1, \dots, n$ , таких, что для них выполняются следующие условия.

Диагностируемость подсистем  $S_{i,j} = 1, \dots, n$ . Для каждой подсистемы  $S_i$  должна быть известна серия входных воздействий и эталонных реакций на них.

Среди подсистем  $S_{i,j} = 1, \dots, n$  существуют диагностирующие подсистемы  $S_{id}$ , способные выполнять следующие функции:  $f_1$  – подачи на вход проверяемой системы контролирующего набора;  $f_2$  – анализа реакции подсистем  $S_i$  путем сравнения ее с эталонной;  $f_3$  – переход в зависимости от результата анализа предыдущей операции к следующему контролирующему прибору;  $f_4$  – останов с индикацией места отказа.

Подсистемы  $S_i$  и  $S_{id}$  должны быть связаны между собой.

Гарантирована работоспособность хотя бы одной диагностирующей подсистемы.

Несмотря на полезность этой модели, она не относится к числу чисто формальных, а содержит описательные элементы.

Отношение «тест-неисправность» (тест понимается в широком смысле – один набор, последовательность, либо аппаратная реализация) задается в виде диагностического графа. Каждому блоку соответствует вершина графа  $d_{ij}$ , вершины графа соединяются дугой  $b_{ij}$ , если устройство  $u_i$  проверяет устройство  $u_j$ .

Вес ветви равен  $a_{ij}$ , причем  $a_{ij} = 0$ , если  $u_i$  исправно в предположении, что  $u_j$  исправно;  $a_{ij} = 1$ , если  $u_i$  неисправно в предположении, что  $u_j$  исправно;  $a_{ij} = x$ , если предполагается, что  $u_j$  неисправно. От графа осуществляется переход к матрице связности.

С помощью этой модели была определена категория  $t$ -проверяемость в предположении одно- и многошагового проведения системы тестов. Под  $t$ -проверяемостью понимается способность системы выдавать уверенный результат проверки в предположении, что  $t$  блоков неисправно.

Этот подход был развит в последующих работах, где учитывалось, какие именно неисправности делают тест недействительным, вводились параметры структуры системы и устанавливалась их связь с  $t$ -проверяемостью. Там же разрабатывались алгоритмы для определения  $t$ -проверяемости непосредственно по структуре системы.

Основные трудности, возникающие при анализе диагностических моделей, состоят в том, что необходимо перечислить все неисправности, число которых может быть весьма значительным. Необходимо одновременно рассматривать математические модели неисправностей, математические модели объекта диагностики и организацию способа их взаимодействия для сохранения адекватности.

В настоящее время моделирование на ЭВМ функционирования цифровых устройств стало неотъемлемой частью программного обеспечения систем управления диагностикой. Можно выделить четыре уровня моделирования:

- анализ электронных схем (на уровне резисторов, транзисторов и т.д.);
- моделирование на уровне логических элементов;
- моделирование на уровне регистровых передач;
- эмуляционное моделирование на системном уровне.

В соответствии с вышеизложенным, при моделировании микропроцессорных систем необходимо использовать три уровня описания:

- алгоритмический;
- функциональный;
- вентильный.

Полное математическое описание строится по линейному принципу

$$L = L_{vy} + L_{fy} + L_{ay} ,$$

где  $L_{vy}$  – язык вентильного уровня;  $L_{fy}$  – язык функционального уровня;  $L_{ay}$  – язык алгоритмического уровня. Многоуровневая модель выглядит следующим образом

$$L = L_{ay} (L_{fy} (L_{vy})) .$$

Такая последовательность создания диагностических тестов, как показала практика, является наиболее оптимальной с точки зрения снижения трудоемкости и уменьшения временных характеристик процесса диагностики СУТО. Это связано с тем, что на каждом этапе создания тестовых наборов, тестовые алгоритмы осуществляют поиск неисправности с заданным уровнем детализации.

Таким образом, происходит ступенчатое углубление детализации. На рис. 1 показан процесс поиска единичной неисправности системы СУТО, на рис. 2 – процесс поиска кратных неисправностей одного структурного модуля, на рис. 3 – процесс поиска независимых неисправностей в различных модулях.

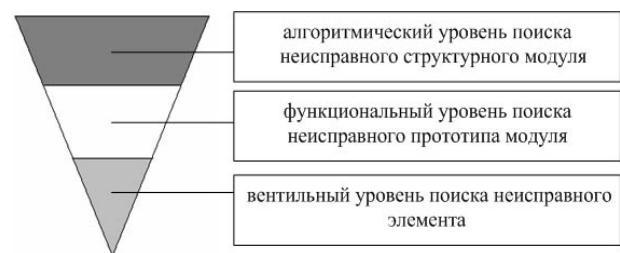


Рис. 1. Модель процесса поиска одиночной неисправности модуля

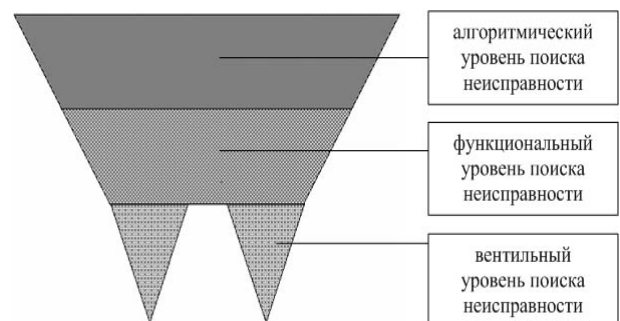


Рис. 2. Модель процесса поиска кратных неисправностей в модуле

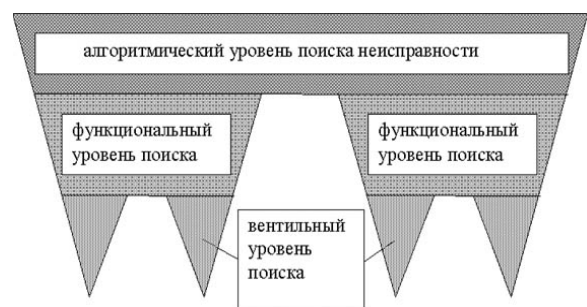


Рис. 3. Модель процесса поиска независимых неисправностей в различных модулях

Исходя из многоуровневой структуры модели для каждой системы УЧПУ формируется специальный последовательный алгоритм диагностики – нумерационный тест. Нумерационный тест строится в следующей последовательности:

- создаются математические модели отдельных микропроцессорных блоков верхнего уровня;
- выделяются элементы описания соответствующего уровня, для чего осуществляется декомпозиция на алгоритмические блоки, функциональные узлы, логические элементы;
- на множестве дефектов с использованием отношения эквивалентности выделяются классы эквивалентных дефектов;
- классы дефектов упорядочиваются, в результате чего получается решетчатая модель, которая в совокупности с математической образуют диагностическую модель отдельного микропроцессорного блока;
- для каждого класса эквивалентных дефектов определяется идентификатор;
- производится построение теста путем размещения идентификаторов в соответствии с расположением элементов решетчатой модели;
- осуществляется переход к более низкому уровню описания того элемента объекта диагностики для которого глубина поиска дефекта недостаточна.

В общем случае описание такой трехуровневой диагностической модели (ДМ) представляется в следующем виде

$$DM = (M; B),$$

где  $M$  – математическая модель системы, представленная в виде

$$M = (S; BAS; J),$$

где  $S$  – структурная схема СУТО;  $BAS$  – базис микропроцессорной системы (заданный в каждом структурном модуле системы СУТО);  $J$  – интерпретация схемы  $S$  в базисе  $BAS$ ;  $B$  – решетчатая модель системы СУТО, полученная в результате упорядочивания классов эквивалентных дефектов.

ДМ задается в неявном виде: математическое описание исправной системы СУТО, физические дефекты и правила получения всех других описаний объекта.

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ

I.Sh. Nevlyudov, A.A. Andrusевич

*Розглянуті моделі і методи моніторингу технологічного устаткування для виробництва військової техніки як складової частини моніторингу виробничого середовища, що забезпечує виконання технологічних операцій збірки і монтажу електронних апаратів.*

**Ключові слова:** технологічне устаткування, життєвий цикл.

### PROVIDING OF MONITORING OF INDEXES OF LIFE CYCLE IN DIGITAL SYSTEMS MANAGEMENT TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

I.Sh. Nevlyudov, A.A. Andrusевич

*Models and methods of monitoring of technological equipment are considered for the production of military technique as component part of monitoring of production environment, providing implementation of technological operations of assembling and editing of electronic vehicles.*

**Keywords:** technological equipment, life cycle.

## Заклучение

Эти методы абстрактно моделируют процесс функционирования исправного или соответственно, неисправного цифрового устройства. Абстрактные методы построения проверяющих тестов для цифровых модулей технологического оборудования основаны на задании модели конечного автомата исправного цифрового модуля. Проверяющие тесты, построенные такими методами, обнаруживают все неисправности, искажающие таблицы переходов и выходов автомата, в частности и те, которые увеличивают число его состояний не более чем на заданную величину. Это обуславливает высокую достоверность результатов диагностирования цифровых модулей такими методами. Однако из-за того, что цифровые модули являются конечными автоматами, эти методы применимы только для модулей небольшой сложности и могут быть использованы при построении тестов для отдельных блоков, на которые расчленяются реальные цифровые модули.

## Список литературы

1. Фергусон Дж. Обслуживание микропроцессорных систем / Дж. Фергусон, Л. Макари, П. Уильямс. – М.: Мир, 1989. – 332 с.
2. Сосонкин В.Л. Понятийный аппарат комплекса производственных стандартов для числового программного управления оборудованием, - ISO 14649 STEP-NC (Standard for the Exchange of Product model data for NC) / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 8.. – С. 37 – 44.
3. Берштейн Л.С. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия / Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. – Таганрог: ТРТУ, 2001. – 110 с.
4. Сосонкин В.Л. Концепция числового программного управления мехатронными системами: интеграция на основе комплекса производственных стандартов STEP (Standard for the Exchange of Product model data) / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – М.: ВИИИ, 2003. – №2. – С. 38 – 44.

Поступила в редколлегию 6.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент Д.В. Агеев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.