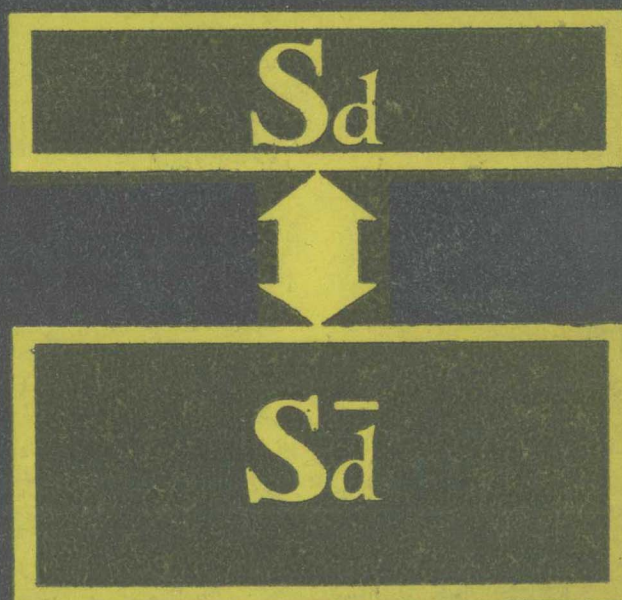


В. А. Г У Л Я Е В

ОРГАНИЗАЦИЯ
СИСТЕМ
ДИАГНО-
СТИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИ-
ТЕЛЬНЫХ
МАШИН



АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

В. А. ГУЛЯЕВ

ОРГАНИЗАЦИЯ
СИСТЕМ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
МАШИН

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1979

Организация систем диагностирования вычислительных машин.
В. А. Гуляев. — Киев : Наук. думка, 1979. — с. 116.

Монография посвящена вопросам формальной организации систем диагностирования, которая основана на процедурах формализации этапов генерации допустимых и отбора наиболее рациональных вариантов. Рассматриваются вопросы организации подготовки тестовых последовательностей, преобразования структур машин с целью улучшения контролепригодности, выбора аппаратно-программного обеспечения для реализации предлагаемых методик проектирования.

Рассчитана на специалистов, работающих в области технической диагностики средств вычислительной техники, и может быть полезна студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Ил. 17. Список лит.: с. 113—115 (61 назв.).

Ответственный редактор В. В. ВАСИЛЬЕВ

рецензенты Л. Я. НАГОРНЫЙ, М. В. СИНЬКОВ

Редакция физико-математической литературы

30501-329 БЗ=9*12=79 2405000000
Г М221(04)*79

© Издательство «Наукова думка», 1979

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Задачи организации комплексных систем диагностирования вычислительных машин	7
1. Особенности организации систем диагностирования вычислительных систем и машин	8
2. Формализация постановок задач рациональной организации систем диагностирования	18
3. О методологии формализованного решения задач рациональной организации систем диагностирования	21
Глава 2. Методы организации систем диагностирования	26
1. Краткие сведения о формальных моделях описания систем со средствами диагностирования	27
2. Формализация технических требований на разработку КСД	30
3. Общая модель информационных систем с самопроверкой	38
4. Процедуры выбора общей организации систем диагностирования	43
5. Алгоритмы выбора структур подсистем поиска неисправностей в ЦВМ	47
Глава 3. Тестовое диагностирование ЦВМ	52
1. Задачи тестового диагностирования ЦВМ	52
2. Проверка управляющего устройства	54
3. Метод синтеза функциональных тестов для проверки устройств вычислительных машин	57
4. Способ синтеза оптимальных программ проверок для управляющей вычислительной системы	65
Глава 4. Методы преобразования структур вычислительных систем и их элементов с целью улучшения характеристик контролепригодности	70
1. Зависимые параллельные проверки блоков ЦВМ	71
2. Метод проверки дискретных систем с учетом временных задержек сигналов	77
3. Методы построения тестопригодных структур с использованием свойств аддитивно-отличающихся чисел и параллельно-последовательной обработки информации	80
4. Связь структурных преобразований и архитектуры в вычислительных машинах и системах	86
5. Использование преобразований алгоритмов, реализуемых ЦВМ, для повышения эффективности избыточного кодирования	92

Глава 5. Имитационное моделирование и задачи организации систем диагностирования	96
1. Методы имитационного моделирования в задачах организации систем диагностирования	96
2. Метод синтеза тестов на основе логического моделирования без внесения неисправностей	98
3. Использование функциональной декомпозиции при синтезе тестов	105
4. Вопросы организации программно-аппаратного обеспечения при решении задач организации систем диагностирования	109
Список литературы	113

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из основных путей сокращения сроков и повышения качества разработки вычислительных машин и систем является широкое использование автоматизации проектирования, базирующееся на формальных методах разработки структур ЦВМ [1, 5, 13, 39].

Наряду с разработкой принципов логической организации структур машин важное значение имеет организация средств технического диагностирования для обеспечения высоких показателей надежности и эффективности. Под организацией систем диагностирования понимается комплекс задач, связанных с определением их структуры и функций, выбором рационального состава технических средств и размещения их по структуре машины, определением технических требований к системе подготовки тестов и др.

В существующей литературе вопросам организации систем диагностирования вычислительных машин и систем, и в частности формализации ранних этапов проектирования (алгоритмического и блочного синтеза), практически не уделялось внимания. В ряде работ [31, 34, 37 и др.] описаны используемые концепции общей организации систем диагностирования, которых придерживаются разработчики машин. Эти концепции, как правило, имеют эвристический характер.

В настоящей монографии излагаются отдельные вопросы, связанные с формализацией этапов проектирования систем диагностирования вычислительных машин. Основное внимание уделяется формализации этапов генерации альтернативных вариантов систем диагностирования, вопросам отбора перспективных вариантов, методам решения возникающих в процессе проектирования оптимальных задач по размещению контрольного оборудования в составе ЦВМ, методам преобразования структур машин с целью улучшения характеристик контролепригодности.

Разработанные методы ориентированы на применение как в составе систем автоматизации проектирования ЭВМ, так и автономно, для решения отдельных задач организации процессов диагностирования.

В первой главе обсуждаются особенности организации систем диагностирования вычислительных машин и систем, приводятся основные используемые концепции построения, дается формальная постановка задач логической организации систем диагностирования, излагается методология решения возникающих при этом оптимальных задач.

Во второй главе рассматриваются методы организации систем диагностирования, в частности, описываются математические модели для задания вариантов систем диагностирования, излагаются процедуры выбора общих принципов

размещения контрольных средств по структуре вычислительной машины, приводятся алгоритмы выбора оптимального размещения контрольных точек и рационального состава контрольных средств в машинах и системах.

Третья глава посвящается изложению некоторых методов преобразования структур ЭВМ с целью улучшения характеристик контролепригодности. Эти вопросы практически не освещены в литературе.

Четвертая глава содержит некоторые вопросы организации тестового диагностирования ЦВМ.

Применению методов имитационного моделирования при синтезе систем диагностирования посвящена пятая глава, в которой рассмотрены преимущественно вопросы анализа результатов моделирования, что необходимо при выборе рациональных вариантов систем диагностирования.

ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Проблема организации комплексных систем диагностирования (СД) вычислительных машин включает в себя: анализ ошибок и их влияния на процесс функционирования машин, формулировку обоснованных технических требований к системам диагностирования, определение функций и выбор состава программных и аппаратных средств для их реализации, точек размещения этих средств в машине, установление связи с основным вычислительным процессом, организацию подготовки тестовых последовательностей и эксплуатационного обслуживания и т. д.

Многообразие структур вычислительных машин и систем и схем организации СД делает процесс выбора рациональной организации весьма сложным, что требует привлечения формальных методов проектирования, позволяющих перейти к автоматизированному проектированию.

В принципе задачи организации СД могут быть решены неформально высококвалифицированными разработчиками. Однако усложнение машин, сокращение сроков их морального старения, отсутствие специалистов достаточно высокой квалификации, особенно в связи с появлением новой элементной базы в виде микропроцессоров и тенденцией к их применению во многих сферах производства, делают актуальной разработку формальных методов организации СД.

Формализованное проектирование СД требует разработки определенных методологических принципов, позволяющих создать достаточно эффективные методики проектирования.

В соответствии с этим в настоящей главе рассматриваются методологические принципы, положенные в основу излагаемой в работе формализованной методики организации систем диагностирования.

В начале главы кратко рассмотрены задачи организации СД и выполнена формализованная постановка отдельных этапов ее решения.

1. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И МАШИН

Современные вычислительные системы (ВС) и машины (ВМ) при использовании их по назначению обладают, как и другие технические системы, определенным уровнем эффективности, который обеспечивается различными мероприятиями на стадиях разработки, производства и эксплуатации. Под эффективностью здесь понимается степень соответствия ВС и ВМ своему целевому назначению — решению различных задач вычислительного и управленческого характера.

Эффективность ВС и ВМ в процессе эксплуатации снижается за счет ненадежности входящих в их состав элементов, причем, несмотря на успехи современной технологии, ненадежность вычислительных систем остается на прежнем уровне из-за большой их сложности [47].

Для снижения влияния ненадежности и повышения эффективности ВС возникает необходимость в использовании средств обнаружения, локализации неисправностей и восстановления нормального технического состояния ВС.

Сложность современных ВС, расширение круга их применения, характеризующее невысокой квалификацией обслуживающего персонала, обуславливают необходимость автоматизации процессов проверки.

Комплексной системой диагностирования (КСД) ВС назовем совокупность программных и аппаратных средств, предназначенных для автоматизированного или автоматического определения технического состояния ВС и поддержания необходимого уровня ее эффективности [12, 33, 34, 35].

Вычислительные машины и системы являются прежде всего информационными системами, в которых в ходе вычислительного процесса отдельными устройствами производится ряд специфических операций по обработке информации, которые необходимо проверять. К ним относятся операции, связанные

- 1) с вводом и выводом информации;
- 2) с хранением информации в запоминающих устройствах и передачей ее между устройствами;
- 3) с арифметической и логической обработкой информации;
- 4) с выполнением управляющих операций, определяющих ход вычислительного процесса.

Как правило, КСД взаимодействует не с самими физическими явлениями, происходящими в ВС, — отказами (постепенными и внезапными), случайными сбоями, а с их информационными проявлениями — ошибками. Под ошибкой понимается всякое несоответствие между имеющим место преобразованием информации и преобразованием, которое надлежит выполнять в соответствии с принятым алгоритмом.

Процесс определения технического состояния ВС — процесс диагностирования и процесс поддержания заданного уровня эффективности электронной вычислительной машины — можно рассматривать как особый вид управления, который реализуется средствами проверок, поиска места неисправности и рационального обслуживания [12, 34, 35]. В процессе диагностирования имеется ряд последовательно связанных задач, которые решает КСД. Так, комплексная система диагностирования решает такие основные задачи:

- 1) обнаружение ошибки в работе ВС (исправно — неисправно) — задача контроля;
- 2) определение характера ошибки (сбой или отказ) — задача классификации;
- 3) поиск места отказавшего элемента;
- 4) устранение ошибки, вызванной отказом или сбоем (заменой отказавшего элемента и пр.) — задача коррекции.

Последняя задача характеризуется тем, что в результате ее реализации осуществляется целенаправленное управление составом оборудования машины или же выполняемой ею программой — обход отказавшихся блоков либо элементов, реконфигурации системы (саморемонт), повторение определенных участков программы и пр.

Вычислительные системы как объект диагноза. Рассматривая современные ВС как объект диагноза, выделим следующие их особенности:

- 1) невозможность полностью адекватного описания процессов функционирования ВС с неисправностями;
- 2) высокая размерность математических моделей, используемых для описания ВС с целью построения процедур проверки;
- 3) интеграция в малом объеме при ограниченном числе входов и выходов большого числа логических элементов;
- 4) изменение характера отказов за счет усовершенствования интегральной технологии;
- 5) наличие различных форм представления информации и методов ее обработки;
- 6) изменение методологии проектирования, связанное с широким использованием систем автоматизированного проектирования для сокращения сроков проектирования и улучшения его качества;
- 7) появление новых объектов контроля, обусловленное тенденцией к реализации части или всего математического обеспечения аппаратными средствами.

Перечисленные особенности ВС усложняют и без того достаточно сложные задачи их диагностирования. При этом процесс проектирования КСД соизмерим, а иногда и сложнее процесса проектирования ВС.

Эффективность применения тех или иных методов диагностирования в ВС зависит от ряда причин, к которым в первую очередь следует отнести степень вводимой в машину избыточности,

количественные значения показателей надежности машины, степень учета структурных и функциональных особенностей построения машины и характера случайных ошибок, возникающих в процессе ее функционирования. При этом КСД оказывает различное влияние на характеристики надежности и эффективности ВС. Так, повышая достоверность вычислений и снижая время обнаружения и поиска неисправностей в ВС, система диагностирования в то же время снижает безотказность машины. Дополнительные затраты оборудова-

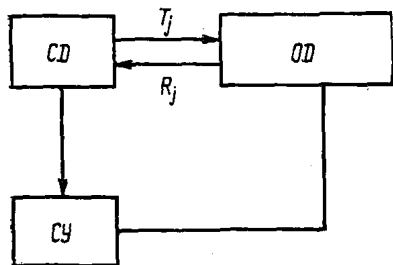


Рис. 1.

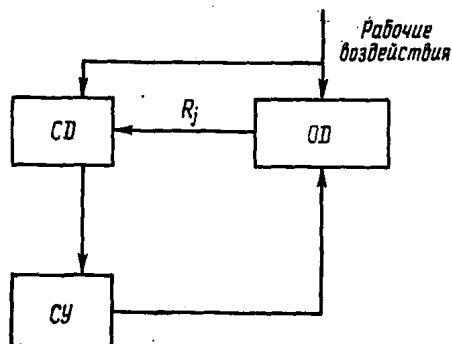


Рис. 2.

ния и времени на реализацию контроля для машин некоторых классов достигают таких размеров, что возникает вопрос о целесообразности применения того или иного вида контроля.

При объединении нескольких ВМ в управляющий вычислительный комплекс, который может иметь переменную структуру, система контроля может выполнять функции переключающего устройства для реализации резервирования и функции контроля передач информации между машинами.

В связи с широким применением систем диагностирования в ВС и ВМ разработка методики обоснованного выбора таких систем является актуальной задачей [1, 5, 12, 29, 40, 47].

Организация систем диагностирования в вычислительных машинах и системах. Обобщенные схемы тестового и функционального диагностирования технических объектов рассматривались в работах [12, 35]. Они показаны на рис. 1 и 2, где ОД — объект диагностирования; СД — средства диагностирования; СУ — средства устранения неисправностей. С помощью этих схем в ЦВМ решаются перечисленные выше задачи оперативного обнаружения ошибок и поиска места неисправности путем подачи тестовых воздействий T_j и анализа реакций R_j .

Уже на уровне таких общих схем диагностирования возникают задачи рациональной организации: как распределять функции по обнаружению и поиску, какие выбрать алгоритмы диагностирования, как распределить ограниченные ресурсы между подсистемами и т. д.

Более подробная функциональная схема организации средств диагностирования [35] показана на рис. 3, где ГТ — формирова-

тель тестовых наборов и эталонных реакций; УС — устройство связи; ИУ — измерительное устройство; БП — блок принятия решения.

Организация процесса диагностирования вычислительных устройств состоит в выделении в их составе средств диагностирования и определении их взаимодействия с аппаратурой и программным

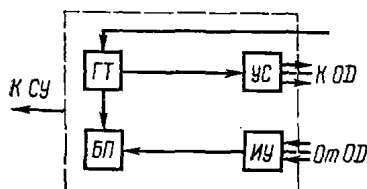


Рис. 3.

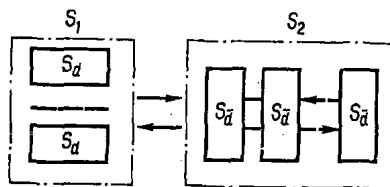


Рис. 4.

обеспечением ЦВМ. Такие средства зачастую объединяются под названием диагностической системы.

Под диагностической системой (СД) понимается система S_d , выполняющая следующие функции: f_1 — подача на вход проверяемой системы $S_{\bar{d}}$ входных воздействий; f_2, f_3 — соответственно съем и анализ выходных реакций; f_4 — переход по результату анализа к выбору нового воздействия; f_5 — останов.

Предполагается, что системы S_d и $S_{\bar{d}}$ связаны между собой.

Классическая схема диагностирования (рис. 1) соответствует случаю, когда одна вычислительная машина проверяет другую.

Для отдельных машин существуют три основные схемы организации тестового диагностирования, основанные на аппаратной реализации СД в виде так называемого жесткого ядра [31, 57]: с централизованным встроенным ядром; с централизованным внешним ядром; с распределенным встроенным ядром. При использовании централизованного ядра ЦВМ представляется в виде двух частей: S_1 , которая отвечает ядру, и S_2 , которая отвечает ОД (рис. 4).

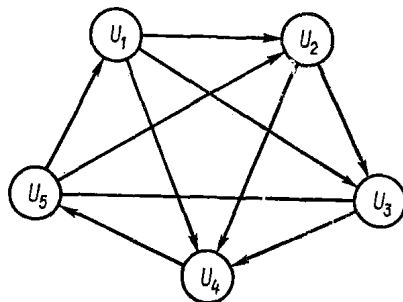


Рис. 5.

Эта схема получила самое широкое распространение для малых и средних ЦВМ и применяется в машинах систем IBM-360, IBM-370 [31]. Реализация S_1 выполняется встроенной, либо внешней, как, например, в машине Барроуз 7700 [56] или IBM 360 (35).

Недостатком такой схемы диагностирования является зависимость достоверности принимаемых решений от надежности оборудования ядра, что приводит к необходимости резервирования ядра, либо организации его по мажоритарному принципу (как в IPL — STAR).

Схема тестирования с распределенным встроенным ядром показана на рис. 5, где каждое устройство из $u_1, u_2, \dots, u_s$ может проверять несколько других (показано стрелками). Исследования таких систем выполнены в работе [56]. Там доказывается теорема о t -тестируемости, под которой понимается возможность одновременного обнаружения не менее t неисправностей в системе.

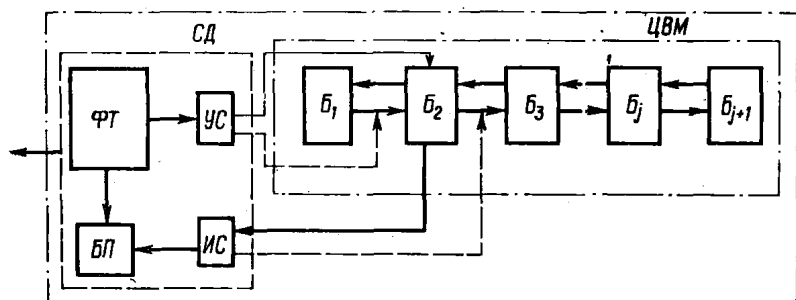
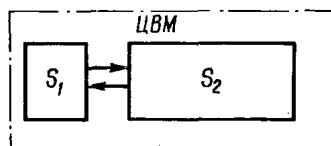


Рис. 6.

Поскольку вычислительные машины как объект диагностирования являются весьма сложными, то приведенные выше схемы тестирования применяются одновременно с разделением машины на блоки. Каждый блок является объектом диагностирования, и в функции ядра входит уже обеспечение блокировки воздействий от непроверенных блоков (рис. 6).

Стремление к экономии аппаратных затрат привело к использованию в такой схеме процедур проверки по способу «раскрутка», при котором ранее проверяемые блоки используются для проверки последующих.

В рамках перечисленных выше схем тестирования могут применяться различные процедуры диагностирования, среди которых можно выделить следующие:

1) процедура «дерево», при которой поиск начинается с большого числа функциональных блоков и на каждом шаге проверяется «успех» либо «неуспех» прохождения теста; в случае «неуспеха» производится переход к более подробному анализу подозреваемых блоков (эта процедура соответствует реализации условных алгоритмов диагностирования);

2) процедура «начиная с малого», при которой проверяется вна

чае малая часть, а затем с небольшими приращениями остальная часть машины;

3) процедура «пересечения», отвечающая безусловным алгоритмам поиска, при которой после анализа серии результатов тестов производится выделение «подозреваемых» на неисправность блоков.

Та или иная схема тестового диагностирования предполагает также выбор того или иного способа подготовки тестовых последовательностей для проверки отдельных устройств ЦВМ (автоматического, ручного, микропрограммного, с моделированием) и способов построения словарей неисправностей (автоматический, ручной, смешанный).

На рис. 7 показаны схемы тестового диагностирования, применяемые в современных ЦВМ. На рисунке приняты следующие обозначения: ПМК — память микрокоманд; ВЗУ — внешнее запоминающее устройство; ОЗУ — оперативное запоминающее устройство. Схема на рис. 7, а

соответствует организации тестового диагностирования в IBM 360/145, которая имеет ПМК емкостью 16 килобайт по 8 байт в слове, внешний аппаратный тестер, названный консольным файлом, который может загружать микропрограммную память и начинать микродиагностику. Микродиагностическая программа-резидент контролирует устройство управления и арифметико-логический блок, остальные микропрограммы проверяют память. Используемая стратегия заключается в тестировании малых частей аппаратуры с постепенным расширением области с использованием ранее проверенной аппаратуры. Схема на рис. 7, б отличается наличием ОЗУ, выбранного в качестве ядра. В этих случаях оператор снабжается техдокументацией — словарем, а также специальными средствами для проверки внешнего тестера. На схеме, приведенной на рис. 7, в, в качестве ядра используются два ПМК. На рис. 7, г показана организация тестового диагностирования, в которой ПМК проверяется с помощью схем контроля. Если ПМК перед обнаружением ошибки оказалось исправным, то оно сразу используется для проверки подозреваемого оборудования. Такая организация характерна для отечественной ЦВМ М-4030.

Стратегии использования основного и дополнительного оборудования в процессе тестового диагностирования могут быть разными.

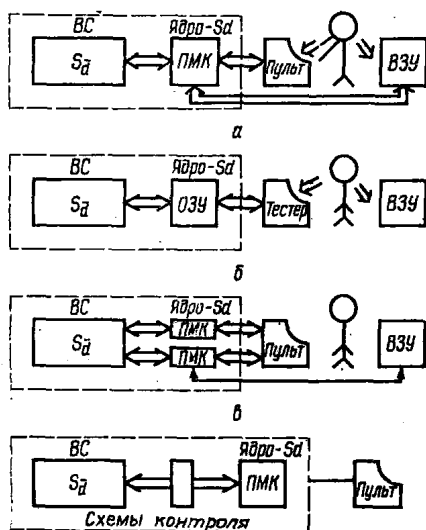


Рис. 7.

Так, в системе IBM-360 применяется следующая стратегия:

- 1) проверяется контрольная аппаратура;
- 2) выбирается один из имеющихся в ЭВМ тестов;
- 3) проверяются схемы сравнения информации;
- 4) проверяется базовая часть ОЗУ;
- 5) производится загрузка в ОЗУ диагностического пакета из ВЗУ.

Эти операции осуществляются вручную. Затем производятся обычные операции, основанные на использовании принципа расширяющихся областей. Для этого:

- 1) сравнивается информация, считываемая с устройства управления, с эталонной;
- 2) проверяются служебные блоки ЭВМ с помощью устройства управления;
- 3) производится программная проверка каналов и терминального комплекта ЭВМ;
- 4) проверяется полный объем ОЗУ тестами из ПЗУ.

Следует заметить, что использование в схемах тестового диагностирования ЦВМ тестов, составленных на уровне микрокоманд, так называемой микродиагностики, позволяет сократить затраты оборудования на контроль с 50 до 1%, сократить время диагностирования и обеспечить полноту охвата контролем до 95%. При этом существенно упрощаются требования к системе подготовки тестов; в ряде случаев тесты оказываются простыми и могут быть построены вручную. Наряду с этими преимуществами не требуется больших объемов памяти при организации процесса тестирования.

Таким образом, организация только системы тестового диагностирования оказывается достаточно сложной проблемой, причем стандартных решений, пригодных на все случаи проектирования машин, не существует, а при их выборе преобладают интуитивные методы, основанные на опыте разработчика. В то же время нетрудно заметить, что отдельные этапы, например выбор числа контрольных точек, легко формализуются.

Аналогичные способы организации можно проследить и для функционального диагностирования ЦВМ. Так, нашли применение централизованный, распределенный и смешанный принципы размещения контрольного оборудования. Реализация распределенного принципа размещения показана на рис. 8.

Организации функционального тестирования свойственны свои принципы, одним из которых является требование непрерывности контроля, позволяющее избежать необнаруживаемых ошибок при передаче информации от одного узла к другому. Важное значение имеют своевременность обнаружения ошибки, полнота охвата контролем.

Использование схем функционального диагностирования также требует предварительного анализа проверяемых блоков с целью выбора наиболее эффективных способов обнаружения возникающих в них ошибок, в первую очередь обусловленных сбоями.

Рассмотренные выше схемы организации процессов диагностирования предполагали, что ОД содержит все функциональные элементы. В то же время возможна ситуация, когда отдельные элементы СД (генераторы тестов, блок принятия решения) являются общими для ряда подсистем. Средства функционального диагностирования используются в тестовом диагностировании. В рамках каждой из схем диагностирования возможно применение различных сочета-

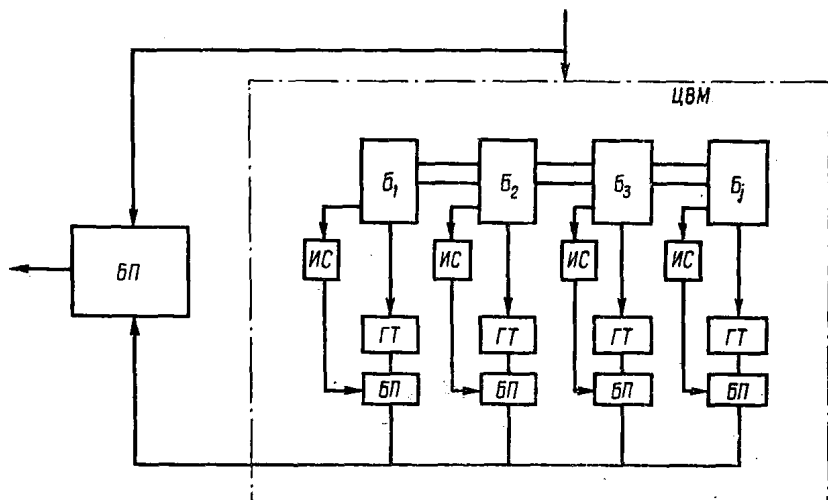


Рис. 8.

ний технических средств диагностирования. Все это предопределяет множество различных вариантов, требующих оценки.

Наличие в составе ЦВМ контрольного оборудования предопределяет необходимость организации схем его проверки.

В последнее время появился ряд работ [62] по построению самопроверяемых схем контроля. Под ними понимаются схемы, ошибки в которых обнаруживаются в процессе функционирования проверяемого устройства. При этом необходимо оценивать, что является более рациональным — периодические проверки или введение дополнительного оборудования для обеспечения условий самопроверяемости. Важное значение приобрела проблема рациональной организации средств реконфигурации и устранения неисправностей в вычислительных системах [34].

Таким образом, организация систем диагностирования ЦВМ представляет собой сложную комплексную проблему, эффективное решение которой может быть достигнуто только на пути комплексного учета структурных, функциональных и статистических свойств машин.

Имеющиеся в настоящее время немногочисленные исследования в области организации систем диагностирования решают, как правило, частные задачи [2, 22, 30] в рамках структурных описаний [56].

Теория организации систем диагностирования ЭВМ требует также соответствующих методов для описания процессов диагностирования, в том числе представления исходной информации о средствах диагностирования, что и обуславливает проведение исследований по разработке моделей высокого уровня для описания процессов диагностирования и составления тестов, а также по анализу их с целью преобразования для улучшения характеристик контролепригодности машин.

Все это предопределяет следующую схему исследований: разработка общей методологии решения подобных задач, проведение теоретических исследований по анализу и синтезу систем диагностирования ЦВМ и практическое использование полученных результатов.

Задачи синтеза средств для КСД. Рассмотрим, в чем состоят особенности синтеза средств диагностирования применительно к различным уровням описания устройств ВС.

Представляется целесообразным формализовать правило проверки. Его можно на языке предикатов записать следующим образом:

$$\forall x, y E_{x, y} F \{ [Y_0 - \psi(X)] < \delta \vee [Y_0 - \psi(X)] = 0 \},$$

где X, Y — элементы произвольного множества M ; ψ — оператор, производящий отображение X в Y ; δ — некоторая константа.

Приведенная запись означает, что условие проверки выполняется — предикат $F(X, Y)$ равен единице, если существуют такие X и Y , что для них всех выполняется условие $Y_0 - \psi(X) < \delta$ либо $Y_0 - \psi(X) = 0$.

В зависимости от вида оператора ψ , осуществляющего отображение множества X во множество Y , и формы задания ψ , X и Y можно указать следующие уровни организации контроля.

1. **Алгоритмический уровень**, при котором математической моделью, описывающей ЭВМ, служит решаемая ею задача. При этом X и Y являются, как правило, элементами непрерывного множества, а δ — допустимая ошибка вычислений. Для реализации контроля на этом уровне используются программные средства, в свою очередь реализованные на одном из алгоритмических языков (АЛГОЛ и др.) либо в машинных кодах.

Задача синтеза состоит в отыскании приближенных зависимостей $\hat{\psi}$ для отыскания $\check{Y}$ и определении допустимого δ .

Реализация проверок заключается в сравнении Y с $\check{Y}$ в одной или нескольких точках.

2. **Алгоритмически-структурный уровень**, при котором математической моделью являются алгоритмы. Осуществляется чисто программными средствами, и результатом выполнения проверки является получение информации о работоспособности того или иного устройства (арифметического, запоминающего). По существу на этом уровне