

**ТЕОРИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ
СИСТЕМ СБОРА
И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

В. И. ВИНОГРАДОВ
(Ленинград)

УДК 621.317+681.14

**СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ
ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ МОДУЛЬНЫХ СТРУКТУР
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ
И УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ**

Проведение современных экспериментов привело к необходимости создания сложных системотехнических комплексов, включающих совокупность специализированных и универсальных процессоров, средств передачи, анализа и отображения дискретной информации в приемлемом для потребителя виде, а также средств, обеспечивающих их комплексное взаимодействие, для автоматизации измерений и управления экспериментами. Такие системы называются дискретными информационными системами.

Новое поколение электроники, основанное на интегральных компонентах, одновременно с представляемыми новыми возможностями выдвигает и новые требования к технологии, структуре и организации систем.

Для решения стоящих задач по методам построения модульной структуры, унифицированных каналов обмена и устройств сопряжения с ЭВМ под эгидой Комитета европейского стандарта в области ядерной электроники (ЭСОНЭ) разрабатываются электрические функциональные параметры модулей и линий связи [1, 2] для создания систем на базе широкого использования ЭВМ для контроля и управления различными процессами. Программно-управляемые модульные структуры (ПУМС) должны обладать гибким взаимодействием программных и аппаратных средств и могут использоваться не только в ядерной электронике, но и при управлении промышленными процессами, в медицинской электронике, радиовещании, связи и в задачах общей автоматизации.

Разработанные стандарты (известные под названием САМАС) должны обеспечивать совместимость функциональных модулей независимо от места их производства. Отдельные рабочие группы комитета решают следующие задачи: механические стандарты системы; тракты связи в секциях и магистральные каналы обмена; аналоговые сигналы, программное обеспечение, ориентированное на САМАС.

В качестве модулей используются любые преобразователи информации, функционирующие по унифицированным линиям связи в соответствии с любой из следующих операций: прием команд из процессо-

ра; посылка статусной информации; прием данных из процессора; посылка данных в процессор. Характерным для ПУМС является одноадресная структура микрокоманд и дискретный характер информации, что позволяет выносить к месту эксперимента измерительно-управляющее оборудование в виде выносных станций и обеспечивать более точную обработку информации при повышении общей ее достоверности. Узловым звеном обмена служит секционный контроллер, распределяющий потоки информации по назначению и занимающий в секции крайнее справа положение. Все разъемы для модулей унифицированы, а для контроллера, кроме унифицированного выхода на линию связи, дополнительно имеется управляющий выход, (разъем). В секциях устанавливается до 23 единичных модулей и контроллер. На магистральный канал связи подключаются до 7 секций, работающих от общего управления. Таким образом, совокупность модулей представляет собой трехмерную матрицу $C \times N \times A (2^3 \times 2^5 \times 2^4)$, по координатам которой расположены элементы памяти с функциональными возможностями $F (2^5 \text{ команд})$, взаимодействующие с ЭВМ.

К особенностям ПУМС следует отнести следующие:

1. Возможность адресного обращения и функциональность модулей, которые легко комбинируются для выполнения сложных функций.
2. Модули удовлетворяют физическим и электрическим стандартам и могут вставляться в произвольные места стандартных секций.
3. Модули имеют унифицированный выход на магистраль в секции, по которой передаются только цифровые данные. Линии связи унифицированы и не зависят ни от типа ЭВМ, ни от набора вставленных в секциях модулей.
4. Одна или несколько секций по магистральному каналу и средствам сопряжения соединяются с системным контроллером, организующим общее управление системой. В качестве управляющего органа могут использоваться как ЭВМ, так и специализированные устройства. Однако ПУМС в основном должна быть ориентирована на ЭВМ.
5. Конструкция модулей допускает применение перспективных компонентов, обеспечивающих более высокую плотность компоновки схем.
6. Усложнение и развитие дискретных информационных систем допускается на уровне управления магистральным каналом (между ЭВМ и секциями).
7. Стремление к простоте модулей.

При рассмотрении таких структур можно выделить основные преимущества и недостатки.

К преимуществам относятся: гибкость в перестройке аппаратуры (конфигурация) для новых целей; простота диагностики ошибок и эксплуатации; независимость процессоров от аппаратуры; совместимость вновь разрабатываемых модулей; организация систем любой сложности набором модулей в секциях, а секций в стойках; произвольное расположение модулей в секциях; простота перестройки алгоритма функционирования; гибкая организация мультиплексных режимов; возможности использования системной организации высокого уровня на базе общих методов программирования и соответствующих языков; перспектива использования микроэлектроники со средней и большой степенью интеграции.

К недостаткам относятся: большие затраты на первичную разработку; аппаратурная избыточность и соответственно некоторое снижение надежности; не очень рациональное использование аппаратуры в простых системах: каналы связи не приспособлены для передачи на большие расстояния.

Состав шин в секции: командные линии вместе с индивидуальными линиями модулей (N), идущие от управляющего разъема ко всем нормальным разъемам, состоят из общих четырех линий субадреса (A), пяти функциональных линий (F); линий таймирующих сигналов (S_1 и S_2); 24 шины чтения (R) и записи (W) данных по всем нормальным разъемам; ответная линия (Q), сквозная для всех разъемов; линия «занято» (B) для указания об использовании линий связи; линии индивидуальных запросов (L) от модулей; шины питания.

Магистральный канал связи обладает общими линиями для чтения и записи данных, имеет асинхронный цикл связи по принципу «запрос — ответ» для адаптации к длинам линий связи. Передача сигналов осуществляется по скрученным телефонным парам.

По назначению модули можно разделить на следующие группы: входные модули, предназначенные для чтения информации, преобразованной в дискретную форму, положений и позиций контактов, интенсивностей потоков (радиоактивности), чтения данных с перфоленды и др.;

выходные модули, управляющие печатающими устройствами, выводом данных на перфоленду, управляющие средствами отображения, двигателями, токами или напряжениями;

модули сопряжения, предназначенные часто для общего использования от системного контроллера, например устройства управления магнитной лентой, магнитными дисками, телетайпом, блоком запоминающего устройства (ЗУ), модемом;

модули для переработки сигналов, включая мультиплексоры аналоговых сигналов, усилители с переменным коэффициентом усиления, модули выбора режимов и управления порогом дискриминаторов, не имеющие выходов на линии связи в секции;

модули, выполняющие арифметические преобразования, например преобразование двоичного кода в десятичный, умножение и деление и др.

Для координации работы модулей служит иерархия контроллеров, работающих как без использования ЭВМ, так и ориентированных на ЭВМ:

наиболее простым контроллером может служить устройство для ручного управления (Manual Controller), предназначенное для автономной проверки модулей и имеющее, как правило, возможность занесения до двух команд САМАС и регистр данных;

секционный контроллер, работающий под управлением сигналов из магистрального канала, которые задаются системным контроллером или ЭВМ;

программируемый контроллер, обеспечивающий операционное управление всеми секциями через магистральный канал, может быть развит до любой степени сложности.

В качестве программируемого контроллера может быть использована малая ЭВМ. При использовании ЭВМ контроллеры могут осуществлять обмен информацией с ЭВМ в режимах: при полностью программном управлении; при программном управлении с выбором режимов программируемых и автономных передач; при программируемом и автономном управлении передачами; при полностью автономном управлении от специализированного процессора (СП).

Для возможности совмещения различных каналов обмена с ЭВМ развивается системный контроллер, управляющий магистральным каналом связи. В системный контроллер могут быть включены модули как программных, так и автономных обменов, модули приори-

тетов обслуживания запросов и интерфейсы к различным ЭВМ. Автономный обмен осуществляется с более высокой скоростью, чем программный; при этом доступ к памяти часто осуществляется в режиме «украденного цикла». В современных ЭВМ обеспечивается возможность программного управления переходом между программно-управляемыми и автономными передачами.

Более сложные контроллеры обеспечивают управление программируемых и автономных передач (по выбору) для индивидуального выбора скорости обмена.

Вершиной иерархии может служить разработка специализированного процессора, работающего на блоке ЗУ ЭВМ и получающего подготовленные инструкции из памяти. Последнее обеспечивается многопроцессорной макроструктурой системы и еще не было нигде достигнуто.

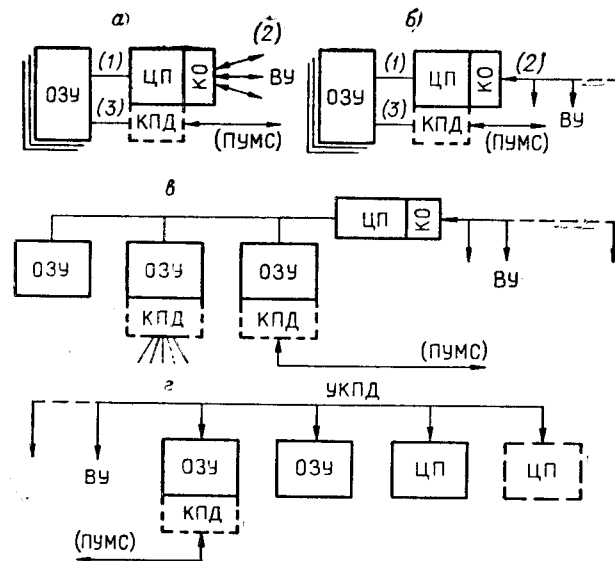


Рис. 1. Общая структура ЭВМ:

a — все каналы обмена разделены; *б* — магистральный канал обмена с ВУ; *в* — магистральные каналы к ОЗУ и ВУ; *г* — унифицированный КПД через общую магистраль; КПД — канал прямого доступа; ХО — канал обмена; ЦП — центральный процессор; ОЗУ — оперативное ЗУ; ВУ — внешнее устройство.

Это наиболее рациональная структура сопряжения, так как универсальный процессор занимается только организацией задач и анализом данных, которые реализуются через СП и набор модулей. Особенно целесообразен последний вариант при использовании ЭВМ среднего класса, решающий одновременно фоновые задачи.

Малые машины по своей структуре сближаются с модульной структурой аппаратуры. Можно определить следующие типы мини-ЭВМ (рис. 1):

1) машины с классической структурой каналов обмена; при этом выделяются каналы связи процессора с ЗУ, с внешними устройствами и каналы прямого доступа (КПД) в память; каналы могут быть веерного типа и магистрального;

2) машины с унифицированным каналом обмена, в которых обмен процессора и ЗУ происходит по той же магистрали, что и обмен внеш-

них устройств (ВУ) и ЗУ. Задающим органом может быть любое устройство, а блоки ЗУ только управляемые. Все ВУ рассматриваются как элементы памяти с некоторыми функциональными возможностями.

В зависимости от типа используемых ЭВМ создаются различные средства сопряжения, обеспечивающие совместное использование программных средств машины и возможностей аппаратуры (функциональных модулей и контроллеров). Программное обеспечение САМАС делится на две части [3]: 1) описатели устройств (модулей), указывающие размещение и адреса устройств; 2) инструкции в языке САМАС или Ассемблера. Адреса модулей, секций и магистрального канала (ветви) предварительно должны быть описаны, а в предложениях следует только символическое обращение. Такое математическое обеспечение в Сакали (Франция) ориентировано, например, на малую ЭВМ Телемеканик Т-2000 (длина слова 19 бит, объем ЗУ равен 8 К). Метод языка имеет преимущества: простоту; время исполнения команд САМАС то же, что и программы в Ассемблере. В худшем случае могут использоваться две инструкции Ассемблера. Однако эта работа не ориентирована на системное прерывание.

Операционная система САМАС была разработана на базе расширенного Фортрана [4]. Программное обеспечение управляет системой САМАС, объединенной с циклотроном, разработанным в Юлихе (ФРГ), на базе символического кодирования. При этом большое внимание уделено вопросам обнаружения ошибок и надежности. Запуск программ осуществляется от трех источников: 1) модулей САМАС; 2) часов реального времени; 3) телетайпа.

Имеются три уровня прерывания: телетайп может быть прерван запросом от модулей или часами по окончании последней команды, а модули прерывают задачу, запущенную от часов.

Операционная система представляет до 200 операндов. Каждому операнду дополнительно принадлежат две ячейки ЗУ, содержащие номинальные и действительные величины. Блоки из 200 номинальных величин могут быть записаны и считаны символическими командами. Команда кодируется тремя словами в ЭВМ. Если задача определена, она записывается в ЗУ. При исполнении она вызывается из ЗУ и декодируется в функцию (F), код операнды (CNA) и параметр.

Общие черты языка программирования САМАС должны отражать следующие особенности:

- 1) не должно быть ориентации на определенную ЭВМ;
- 2) данные о расположении, размере модулей и числе прерываний должны восприниматься компилятором с проверкой ошибок;
- 3) все модули определяются наименованием, а функции—глаголами;
- 4) независимо от длины слова ЭВМ требуется манипуляция 24-рядными словами;
- 5) программист должен иметь возможность определять ограниченный класс предложений и использовать их с реальными аргументами в программах;
- 6) программист должен быть способен проверять Q -сигнал после любой операции;
- 7) должен быть обеспечен доступ к компилятору для проверки внешней части программ и получения смыслового выхода в контексте системы;
- 8) в дополнение к перечисленному могут потребоваться некоторые возможности развития арифметического обращения. Рассмотрим основные варианты систем, применяющиеся в крупнейших научных центрах.

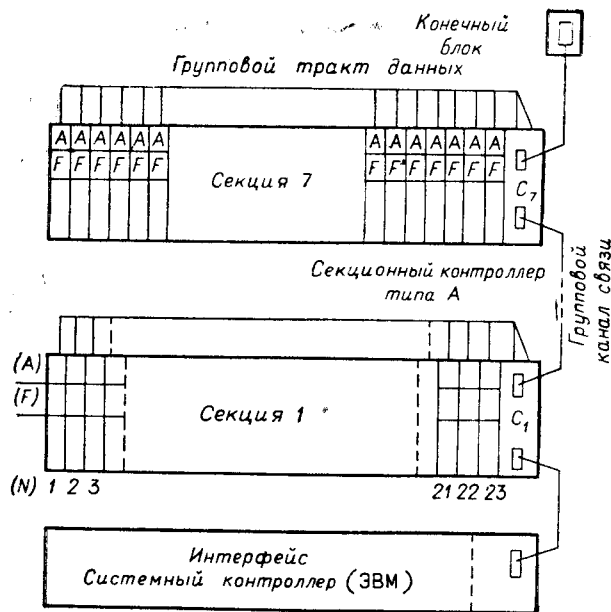


Рис. 2. Пример межсекционных связей в стандарте САМАС.

В Харуэлле (Англия) на смену стандарту H2000 была разработана на интегральных системах серия модулей H7000, которые интерпретируются как модули в стандарте САМАС. Разработанная в 1968 году система «Янус» послужила основой для дальнейшего развития структуры систем. В настоящее время развиваются одно- и многосекционные системы, ориентированные на малые машины, например, РДР-8, РДР-516. Разработаны контроллеры для управления секциями и системный контроллер (рис. 2), в котором расположены специальные блоки для управления выносным оборудованием

на расстоянии 25 и 300 футов, а также контроллеры связи с ЭВМ, причем эти контроллеры работают по синхронному циклу. Для автономной работы без ЭВМ был разработан программируемый контроллер, который через переднюю панель соединяется с ЗУ, обеспечивающим прямую адресацию до 256 инструкций. ЗУ может быть на диодной матрице или на сердечниках. Цикл обработки инструкции занимает обычно около 6 мкс. При сложных инструкциях время цикла возрастает до 17 мкс.

С развитием стандарта САМАС на многосекционные системы появился стандартный контроллер типа А, работающий в асинхронном цикле с системным контроллером (СК). При этом формируются четыре фазы взаимодействия:

I. Передача команды в канал; сигнал таймирования *ВТА* от СК переводится в единичное состояние.

II. Запуск операции и подготовка к передаче данных и ответа *ВQ*. Сигнал *ВТВ* из начального состояния в выбранной секции переводится в нулевое состояние.

III. Передача данных и требуемого *ВQ*. Сигнал *ВТА* возвращается в нулевое состояние.

IV. Конец обмена; сигналы возвращаются в исходное состояние. Поиск запроса осуществляется, как правило, жесткой коммутацией *L*-сигналов. Из управляющих сигналов через магистраль передается только «Пуск». Сигналы «Сброс» и «Запрет» образуются по инструкциям.

В ЦЕРНе (Швейцария) модульная структура системы допускает работу с одной или несколькими ЭВМ. Стандартная длина слов 16 разрядов (это определяется разрядностью используемой ЭВМ). К 1970 году в ЦЕРНе имелось около 1200 счетчиков, широко применялись ЭВМ типа SDS-920, IMB-920, IBM-1800, HP-2115. Особый интерес представляет модульная структура системного контроллера. Специальный управля-

ющий тракт объединяет программные модули с исполнительным контроллером. На правах программного модуля вставляется устройство сопряжения с ЭВМ, причем расположение модулей в СК определяет их приоритет. Специальные модули для чтения и исполнения инструкций (за 2 цикла САМАС) обеспечивают возможность выносным модулям задавать программу работы, например для вывода данных на печатающее устройство и средства отображения.

Поиск запросов осуществляется с помощью программных модулей на 30 коммутируемых инструкций, язык которых обеспечивает реакцию переходов команд по Q-сигналу. Важные преимущества структуры: а) легкость обеспечения мультиплексирования работы ЭВМ и ручных блоков с модулями САМАС; б) способность гибкого управления одновременно рядом секций; при этом сопряжение с одной или с несколькими ЭВМ может осуществляться набором соответствующих модулей (интерфейсов).

Особый интерес представляет работа некоторых фирм. Швейцарская фирма «Сен-Электрик» разработала секционный контроллер, который может подсоединяться к магистрали обмена с ВУ как специальное внешнее устройство. При этом роль магистрального канала выполняет одна из ЭВМ фирмы Data General (машины Nova 800, Nova 1200, Supernova). Контроллер служит одновременно сопряжением с ЭВМ. Такая структура обеспечивает одномагистральную систему, но контроллер полностью ориентирован на определенный тип ЭВМ.

Фирма Digital Equipment Corporation пошла по пути создания системного контроллера, работающего на унифицированном канале обмена (Unibus) ЭВМ РДР-11. С помощью инструкций ЭВМ выбираются инструкции САМАС, причем каждое 16-разрядное слово вызывается по одной инструкции, а 24-разрядное — по двум инструкциям. Выход операции *GL* (чтение упорядоченных запросов) имеет свой вектор адреса на унифицированном канале. По прерыванию осуществляется переход прямо к программе, обслуживающей данный запрос из модуля.

В Юлихе (ФРГ) разработан секционный контроллер, работающий непосредственно на унифицированный канал обмена РДР-11, имеющий асинхронный цикл связи. Адресные линии канала используются как для адресации управляющих регистров, так и для адресации регистров СА-МАС непосредственно в секциях, обеспечивая вектор *CNA* для всех модулей системы.

В Ленинградском институте ядерной физики разрабатывается программно-управляемая модульная структура, основу которой составляет универсальный процессор (УП «Минск-22») и специализированный процессор, управляющий магистральным каналом связи. При этом организация модулей и секционных контроллеров удовлетворяет требованиям САМАС [5].

Сопряжение СП и УП осуществляется с помощью общего блока МОЗУ, с которым автономно работает СП в процессе сбора информации и управления экспериментами (рис. 3). УП вызывается только в необходимых случаях по прерыванию. Каждому эксперименту выделяется своя секция, номер которой определяет и зону памяти, разрешенную пользователю. УП имеет доступ к блоку памяти по магистральному каналу, охватывающему все стандартные блоки МОЗУ, работающие со своими СП. Таким образом, иерархия каналов следующая: на самом низком уровне находится магистраль в пределах секций, обслуживающая модули отдельного эксперимента; на втором уровне находится магистраль, объединяющая все семь секций с СП, обеспечивающего управление экспериментом в режиме разделения времени; на третьем уровне

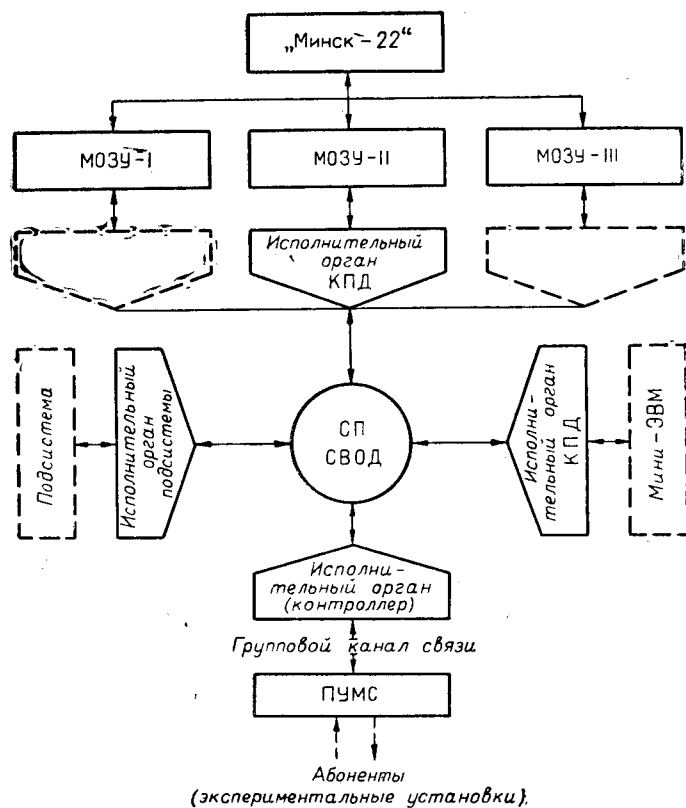


Рис. 3. Блок-схема системы взаимодействия и обмена данными (СВОД) между ПУМС и МОЗУ ЭВМ.

находится магистраль, объединяющая блоки памяти различных СП, соответствующих своим классам экспериментов, с УП ЭВМ среднего класса («Минск-22»).

Система обеспечена сетью терминальных средств (дисплей, телетайпы). В целом дискретная система предназначена решать вопросы полной автоматизации экспериментов в лаборатории нейтронных исследований [6]. В качестве входного рабочего языка развивается автокод «Инженер», дорабатываемый до возможности общения экспериментатора с системой и для написания программ эксперимента.

ВЫВОДЫ

Развитие программно-управляемых модульных структур является перспективным направлением, основанным на совершенствующейся технологии интегральных схем и открывающим новые возможности в использовании современных ЭВМ для построения систем автоматизации измерений, контроля и управления экспериментами на высоком организационном уровне.

Измерительную и управляющую аппаратуру целесообразно конструировать в виде отдельных выносных станций, вынесенных к исследуемому объекту и имеющих развитые автономные возможности по отбору, сжатию и предварительной обработке информации (включая

мини-ЭВМ), а все взаимодействия с вычислительными ресурсами осуществляются в дискретной форме.

Развитие средств сопряжения с ЭВМ целесообразно направить по пути модульной структуры системного контроллера, комплектуемого по необходимости модулями сопряжения с определенным видом ЭВМ. Системный контроллер должен комплектоваться из модулей, ориентированных как на программные, так и на автономные управления операциями обмена.

Расширение ассортимента функциональных модулей, включая арифметические и запоминающие модули, обеспечит возможность модульного конструирования микро-ЭВМ, строго согласованного с задачами по оперативной обработке данных. Последнее позволяет построить специализированные процессоры любой сложности, набором соответствующих модулей в стандартной секции. Микропроцессоры могут быть соединены с общей памятью малой или средней ЭВМ, что приводит к созданию более развитых взаимодействий и организации в дискретных информационных системах.

В качестве основы входного языка может служить любой развитый алгоритмический язык, дополненный специальными операторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. EURATOM Report. EUR-4100 e. March 1969.
2. Specification of Branch Highway and CAMAC Crate Controller type A. EUR-4600 e. Oct. 1970.
3. M. Sarquiz, P. Valois. An Approach to a CAMAC language.—CAMAC bulletin, ESONE Committee, Nov. 1971, № 2.
4. V. Mertens. A CAMAC Operating System for Control Applications.—CAMAC bulletin, ESONE Committee, Nov. 1971, № 2.
5. В. И. Виноградов, С. Н. Николаев. Организация и применение программно-управляемых модульных структур в системах для автоматизации научных экспериментов.—Школа по автоматизации экспериментов. Рига, 1971.
6. В. И. Виноградов, В. И. Кадашевич, И. А. Кондуров, С. Н. Николаев, Ю. Ф. Рябов. Программно-управляемая модульная структура для автоматизации экспериментальных исследований. Препринт ФТИ-379. Л., 1971.

*Поступила в редакцию
17 февраля 1972 г.*