

Ч-496

10-85-181

УДК 681.3 + 539.107

ЧЕРНЫХ

Евгений Васильевич

СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ

МНОГОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор

Игорь Филиппович
КОЛПАКОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Алексей Николаевич
СИНАЕВ

кандидат технических наук

Александр Яковлевич
ОЛЕИНИКОВ

Ведущая организация: Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова,
Москва

Защита диссертации состоится "_____" 1985 г. в ____ час.
на заседании специализированного совета Д.047-ОИ-02 при Лаборатории
высоких энергий Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область, Лаборатория высоких энергий, конференц-
зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "_____" 1985 г.

Учёный секретарь

специализированного совета *М.Ф. Лихачев* М.Ф. Лихачев

Актуальность работы. Автоматизированные системы в экспериментальной физике строятся на основе программно-модульного принципа. Повышенные требования предъявляются к средствам автоматизации установок физики элементарных частиц, рассматриваемым в работе. В 70-е годы типичная система автоматизации включала малую ЭВМ и модули - источники и приемники информации. Основой модульной системы является шина для соединения функциональных компонентов. Наиболее распространенные шины до настоящего времени - однопроцессорные стандартная шина КАМАК и приборная шина. Для шины КАМАК в ОИЯИ и других организациях созданы функционально полные наборы модулей, в конце 70-х годов началась разработка методов анализа и синтеза систем на основе однопроцессорных шин.

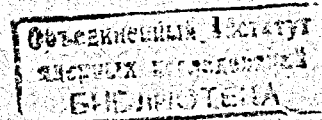
Рост числа измерительных каналов в спектрометрах и увеличение протяженности ускорителей потребовали создания более производительных систем автоматизации без увеличения затрат. В частности, для проведения экспериментов в области релятивистской ядерной физики на синхрофазотроне ОИЯИ стала актуальной задача создания систем автоматизации с более высокой производительностью, чем обеспечиваемая одной малой ЭВМ. Затраты на системы автоматизации синхрофазотрона, предназначенные для улучшения его параметров и повышения эффективности использования также были ограничены.

Решение возникших задач за счет использования более производительных ЭВМ приводит к резкому увеличению затрат. Более перспективным является способ реализации систем автоматизации на основе принципа параллелизма. Возможности широкого применения этого принципа для улучшения характеристик модульных систем появились в результате снижения стоимости микропроцессорных компонентов в течение последнего десятилетия. Необходимость создания параллельных систем выдвинула в теоретическом плане задачи анализа и синтеза, а в практическом плане - задачи реализации систем на основе модульных источников программ.

Цель работы. Диссертация посвящена решению задачи создания многопроцессорных систем автоматизации ряда экспериментальных физических установок на основе стандартной шины. Целями работы были также разработка и создание конкретного программно-модульного набора управляющих блоков для построения многопроцессорных систем - системного интерфейса и разработка методики анализа и синтеза этих систем.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовался математический аппарат теории множеств и общей алгебры, а также методы оптимизации. Практическая часть диссертации основывалась на использовании малых и микро-ЭВМ и модулей в стандарте КАМАК.

Научная новизна диссертации заключается в разработке методики анализа и синтеза многопроцессорных систем автоматизации для задач физики элементарных частиц. Предложены аналитическая и структурная



модели многопроцессорной шины^{/1/}. Выполнен системный анализ структурной модели шины, функциональной организации^{/1/} и характеристик^{/2+5/}. Предложена формализованная запись способов обмена информацией, разработана классификация структурных элементов шины, операций обмена информацией и видов адресации^{/1,5,6/}; предложена^{/7/} и реализована структура источника программ на основе принципа параллелизма^{/8+10/}. Предложена методика выбора оптимальных шины и числа процессоров в системе^{/3/}.

Впервые в стране разработан программно-модульный набор управляющих блоков для построения многопроцессорных систем автоматизации на основе стандартной шины^{/7,8,10,11,12/}, при этом принцип модульности реализуется как для источников программ, так и для источников и приемников информации. На основе этого набора созданы многопроцессорные системы автоматизации: а) бесфильмового магнитного спектрометра для детектирования быстрых частиц при рассеянии адронов и релятивистских ядер (спектрометр АЛФА)^{/13/}, б) медленного вывода пучка синхрофазотрона ОИЯИ^{/14,15/}, в) оперативных измерений показателя магнитного поля синхрофазотрона^{/16/}.

Практическая ценность результатов работы. Методика анализа и синтеза многопроцессорных систем автоматизации, разработанная автором, использовалась для создания систем автоматизации спектрометров, синхрофазотрона и стендовых установок Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в 1976–1982 гг. Ее использование способствовало получению ряда новых результатов в области физики адронов и улучшению качества работы синхрофазотрона.

Разработанный набор управляющих блоков изготавливался мелкими сериями в Опытном производстве ОИЯИ и используется в других организациях страны. Разработанные модели шин, расчетные формулы характеристик, методика выбора оптимальных шин и числа источников программ, а также созданный набор управляющих блоков применимы для построения многопроцессорных систем автоматизации в других областях научных исследований.

Реализация и внедрение результатов исследований. Разработанные методика и модели использовались при создании систем автоматизации магнитного спектрометра АЛФА^{/13/}, медленного вывода пучка синхрофазотрона ОИЯИ и оперативных измерений показателя магнитного поля синхрофазотрона^{/16/}.

Система контроля и управления медленным выводом пучка синхрофазотрона^{/14,15/} с 1976 года служит основой для автоматизации других систем ускорителя.

Разработанный системный интерфейс включает 9 типов цифровых и 5 программных модулей, освоен и выпускался Опытным производством ОИЯИ

в течение ряда лет. Эти модули нашли также применение в других организациях, в частности, в НИИЭФА, ИФВЭ (Серпухов) и ряде других.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на I всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 1976), на 9 международном симпозиуме по ядерной электронике (Варна, 1977), на I всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Душанбе, 1980), на 6-й всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ (Новосибирск, 1981), международной школе по применению ЭВМ в физике (Алушта, 1981) и 2 Европейском симпозиуме по обработке данных в реальном времени и управлению процессами (Версаль, 1982).

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 20 печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 160 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав основного текста и заключения, в том числе 48 рисунков и 10 таблиц, списка литературы из 131 наименования и приложения на 2 страницах.

Основные положения, представляемые к защите

1. Методика анализа многопроцессорных систем автоматизации в физике элементарных частиц, заключающаяся в разработке аналитической и структурной моделей многопроцессорной шины и на их основе – классификации структурных и функциональных элементов шины, а также расчетных формул основных характеристик шин.
2. Методика синтеза многопроцессорных систем на основе решения классической задачи оптимизации, обеспечивающая выбор оптимальных многопроцессорной шины и числа источников программ.
3. Структурное построение многопроцессорных систем автоматизации на основе стандартной многопроцессорной шины и разработанного программно-модульного набора управляющих блоков и модулей ввода-вывода ЭВМ, позволяющих строить параллельные системы.
4. Реализация многопроцессорных систем автоматизации бесфильмового магнитного спектрометра для детектирования быстрых частиц при рассеянии адронов и релятивистских ядер, а также медленного вывода пучка синхрофазотрона ОИЯИ. Создание двухпроцессорной системы оперативных измерений показателя магнитного поля синхрофазотрона ОИЯИ.

Структура работы. Во введении даны определения, обоснована актуальность представляемой тематики, поставлены задачи исследования, изложено содержание диссертации и основные положения, которые выносятся автором на защиту.

В главе I "Многопроцессорные шины в системах автоматизации физики элементарных частиц" рассмотрены задачи, решаемые системами автоматизации. Выполнен анализ организации систем автоматизации спектрометров и ускорителей с точки зрения связей их компонентов, а также анализ стандартных шин как средства реализации этих связей. Определены наборы шин для каждого из этих двух видов систем и сформулированы требования к характеристикам шин. Приведен краткий обзор стандартных многопроцессорных шин, рассмотрены их особенности и организация многопроцессорной системы для обработки данных в физике элементарных частиц. Даны рекомендации по применению шин в системах автоматизации.

В главе II "Структура и функции многопроцессорных шин" рассмотрены предложенные автором аналитическая и структурная модели многопроцессорной шины. На их основе формализовано описание способов обмена информацией по шине, разработана классификация структурных и функциональных элементов шины, проанализированы характеристики шин и приведены основные соотношения для их расчета. Сформулирована методика оптимального выбора многопроцессорной шины для однокреитной системы.

В главе III "Оптимизация многопроцессорных шин" приводится решение задачи оптимального выбора многопроцессорной шины крейта по предложенным критериям. Выполнен анализ пропускной способности шин и выведены формулы длительности операций на основе разработанных функциональных диаграмм операций. Исследована зависимость пропускной способности системы от числа источников программ. Рассчитаны затраты на шины. Проанализирован критерий затрат на единицу пропускной способности в зависимости от числа источников программ. Выполнены сравнение многопроцессорных шин и выбор их для конкретной задачи.

Глава IV "Разработка и применение модульных многопроцессорных систем автоматизации в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ" посвящена разработке и применению многопроцессорных систем на основе стандартной шины. Системы реализованы на базе разработанного модульного многопроцессорного системного интерфейса. Рассмотрены его структура, функции и характеристики. Описано применение интерфейса в магнитном спектрометре АЛФА, системе контроля и управления параметрами медленного вывода пучка синхрофазотрона ОИЯИ и разработка на его основе системы оперативных измерений показателя неоднородности магнитного поля синхрофазотрона ОИЯИ.

В Заключении изложены основные теоретические и методические результаты диссертационной работы, следующие из нее выводы и наиболее крупные практические результаты, полученные на основе разработок автора в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и других организациях.

В Приложении приведены акты о внедрении работ автора в других организациях.

Содержание работы. В общем случае при реализации каждой функции системы автоматизации спектрометра: отбор физических событий, регистрация и обработка данных и контроль и управление применяются отдельные шины. Под шиной понимается совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих обмен информацией между модулями по унифицированному набору линий связи через интерфейс шины в модуле. В состав модульной системы автоматизации

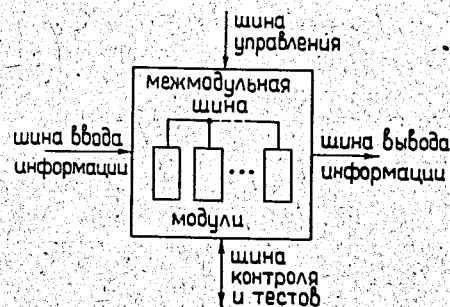


Рис. 1. Шины в модульной системе автоматизации

входят источники программ, источники и приемники информации и шины, описываемые следующими характеристиками: C_0 , байт/с – пропускная способность (или $t_{\text{цикла}}$, мкс – длительность цикла на шине); E – затраты на шину; вместимость по числу модулей M или числу адресов ZU , доступных в цикле Z_M ; время наработки на отказ $T_{\text{но}}$ или обратная ей частота отказов Λ ; протяженность L , м¹.

Многопроцессорная шина обеспечивает унифицированную связь нескольких (N) источников программ и подключение к ним источников и приемников информации^{5/}. В состав системы входят шины: ввода и вывода данных, управления и контроля, межмодульная шина для соединения модулей. Эту структуру связей имеет как система в целом, так и аппаратура, решающая одну из указанных выше задач (рис. 1). Модули предварительного отбора событий, как правило, соединяются не шиной, а непосредственно друг с другом. В спецпроцессорах используются стандартные шины КАМАК, MULTIBUS и др. и специализированные ЭСЛ – шины. Шины регистрации рассмотрим на примере спектрометра UA1 в ЦЕРНе (рис. 2). Эта шина 1 для чтения данных с детекторов, шина 2 для объединения данных с различных детекторов и записи в буферное ЗУ, шина 3 для

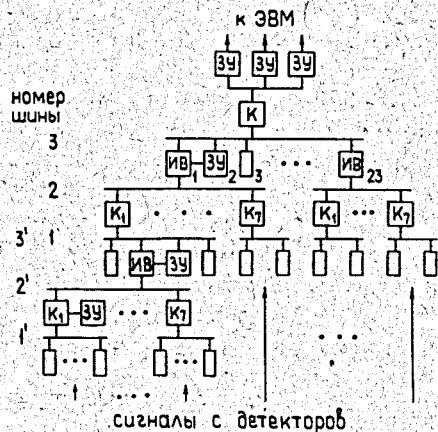


Рис. 2. Шины регистрации в спектрометре UA1 в ЦЕРНе (рис. 2). Эта шина 1 для чтения данных с детекторов, шина 2 для объединения данных с различных детекторов и записи в буферное ЗУ, шина 3 для

Г) Колпаков И.Ф., ПТЭ, 1979, № 2, с. 1-33.

предварительной обработки данных о событии и ввода в ЭМ. Характеристики шин регистрации спектрометров существующих и нового поколения приведены в таблицах 1 и 2. Сравнение таблиц показывает, что для новых спектрометров необходимо увеличение числа модулей и емкости ЗУ на порядок, числа источников программ в 2-4 раза. Снижение затрат при большом числе однотипных модулей может быть достигнуто упрощением структуры шины, а также использованием шин регистрации (обычно шины КАМАК) для выполнения других функций.

Таблица 1. Характеристики шин регистрации данных¹⁾.

Размещение аппаратуры регистрации	Номер шины	L, м	t цикла, мкс	Емкость			$\bar{\Lambda}$ ⁴⁾	\bar{E} ⁴⁾
				M	S M, килобайт	N		
На пропорциональных камерах	1	0,5	0,1+0,3	256+700 каналов	0,01	1	0,7	0,6
	2	>100	0,2+1	16 крейтов, 26+35 разрядов в ветви	0,6	1	1,0	0,8
	3 ³⁾	0,5	1,5	5+7 приемных блоков	4	1	1,0	1,0
В крейте КАМАК	1	0,5	1,0	350 каналов	0,1 0,4 ²⁾	1	0,7	0,6
	2	60	1,0	7 крейтов, 25 разрядов в ветви	0,7 3,0 ²⁾	1	0,8	0,8
	3 ³⁾	0,5	3,0	2 приемных блока	1,5	2	1,0	1,0

Примечания: 1) по данным работ: Айхнер Г. и др. Сообщ. ОИЯИ I-80-644, 1980; Басиладзе С.Г. М.: Энергоиздат, 1982; Lindsay J. B. e. a. NIM, 1978, 156; Nitz D. IEEE Transactions, 1979, NS-26. 2) для аналоговых измерений. 3) для первого варианта используется шина КАМАК, для второго - шина системного крейта. 4) экспертная оценка величин $\bar{\Lambda} = \Lambda_i / \Lambda_{КАМАК}$ и $\bar{E} = E_i / E_{КАМАК}$, где i - номер шины и i = 1,2,3.

Таблица 2. Характеристики шин регистрации данных в спектрометре UA1.

Номер шины	L, м	t цикла, мкс	Емкость			$\bar{\Lambda}$	\bar{E}
			M	S M, килобайт	N		
1	0,5	0,5	1280	2,5	2	0,8	1,3
2	65	1,4	22	2	1	1,2	0,6
3	0,5	1,0	5	8+32	5	1,0	1,0
4	100	1,3	3	64	3+8	1,0	1,0

Примечания: 1) в качестве шины 1 используется COMPLEX, шины 2 - REMUS¹⁾. 2) см. Примечание 4 к табл. 1.

Использование шин для выполнения нескольких функций исключается в подсистеме начального этапа отбора событий и обработки на специпроцессорах, где необходимо максимальное быстроедействие обмена информацией.

Система автоматизации ускорителя включает шину связи нескольких ЭМ между собой, шину связи с оборудованием и шину передачи информации между ЭМ и местными системами. Для создаваемых ускорителей про-

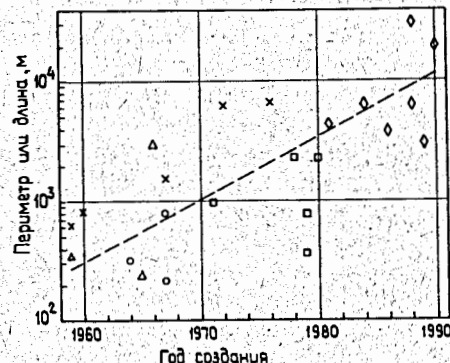


Рис. 3. Периметр или длина крупнейших ускорителей для физики высоких энергий: X, O - синхротроны (p,e); Δ - линейные (e); □ - со встречными пучками; ◇ - сооружаемые, проектируемые.

пускная способность последней должна быть 10^6+10^7 бит/с, а шины связи с оборудованием на порядок выше. Надежность шин должна быть повышена на порядок. Протяженность шин передачи информации достигает десятков тысяч метров (рис. 3). В работе указаны возможные области применения многопроцессорных шин. В спектрометрах для отбора событий и специпроцессоров - FASTBUS, для систем контроля - 16-разрядная шина VME, приборная шина и локальные сети, для автономной обработки событий - 32-разрядные шины FASTBUS и VME. В системах ускорителей для местных систем сбора данных и управления - FASTBUS и шина VME, для более простых задач - 16-разрядная шина VME, КАМАК и приборная шина. Связь крейтов может осуществляться по принципам, реализованным в шинах FASTBUS и VME. Необходима разработка специализированной многопроцессорной шины передачи информации, так как локальные сети не обеспечивают требуемых протяженности или быстрогодействия и помехоустойчивости. Перспективны также разрабатываемые P896, MULTIBUS-II, а на начальном этапе - COMPLEX.

Задача оптимального выбора шины сформулирована как классическая задача оптимизации^{3,4)}. Предложен процесс выбора шины в крейте последовательно в четыре этапа, отличающиеся критерием эффективности: совокупность наиболее важных характеристик, важнейшая характеристика, за-

1) Ponting P.J. CERN EP-Electronics Note, 1980, Note 80-01.

траты на единицы основных характеристик и характеристики, не поддающиеся количественной оценке. Первый и четвертый этапы выполняются эвристическими методами, далее рассмотрены второй и третий этапы.

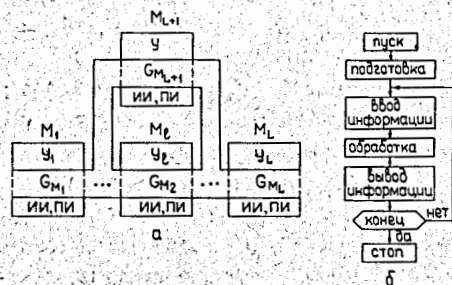


Рис. 4. Структура многопроцессорной системы (а) и функциональная диаграмма работы узла: \$Y\$ – аппаратура управления, \$M\$ – узел, \$ИИ\$ и \$ПИ\$ – источники и приемники информации, \$G_M\$ – шины.

где \$q=1, \dots, r; r < n^n\$ и в множествах \$(a_1, \dots, a_n)_q\$ отсутствуют элементы с одинаковыми индексами. Отношение \$R\$ реализуется в виде операций обмена информацией двух элементов или одного и нескольких или нескольких соответственно: \$a_1 R a_j; a_1 R a_1, \dots, a_{i-1} R a_j, a_{i+1}, \dots, a_n; R a_1, \dots, a_n\$, где \$i, j=1, \dots, n; i \neq j\$. С помощью некоторого заданного отношения эквивалентности \$X\$ множество \$R\$ разбивается на ряд непересекающихся подмножеств: \$R = \bigcup_{l=1}^L R_l\$, где \$R_l = \{a_1, \dots, a_n\}\$. Подмножества \$R_l\$ связаны некоторым заданным отношением порядка \$Y\$ и реализуются на множестве линий связи \$G\$, то есть \$R_l \rightarrow G\$. Если множество \$G\$ с помощью отношения эквивалентности \$X\$ также разбивается на ряд непересекающихся подмножеств \$G = \bigcup_{l=1}^L G_l, L \geq 1, L > 1\$, то \$R_l \rightarrow G_l\$. Каждый интерфейс элемент \$a_i\$ как конечный автомат имеет множество состояний. Из него можно выделить подмножество состояний, которые проходятся последовательно элементом при выполнении операции обмена. Операция обмена представляет собой соответствие одноименных элементов подмножеств состояний интерфейсных элементов, участвующих в операции.

В соответствии с аналитической моделью разработана структурная модель шины (рис. 5). Каждому виду обмена: арбитражу, обмену данными и прерыванию соответствует группа интерфейсных элементов, группа операций и группа линий параллельной шины. На последовательной шине операции выполняются последовательно во времени. Операции арбитража и

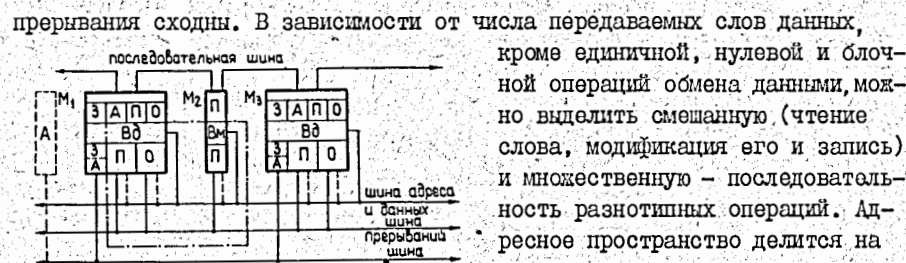
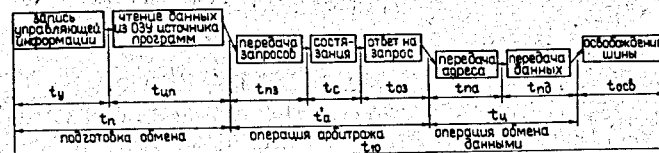


Рис. 5. Структурные элементы многопроцессорной и однопроцессорной (штрих-пунктир) шин: \$З\$ – запросчик, \$А\$ – арбитр, \$П\$ – прерыватель, \$О\$ – обработчик прерываний, \$Вд\$ – ведущий, \$Вм\$ – ведомый, \$М\$ – модули: \$M_1, M_3\$ – источники программ, \$M_2\$ – источник или приемник информации.

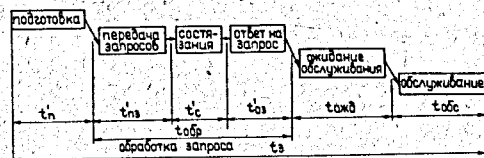
пропускной способностью \$C_{II}\$ каждый пропускную способность \$C = k(b, N)NC_{II}\$. Коэффициент занятости шины \$b = t''/(t' + t'')\$, где \$t'\$ – время: \$t'\$ – занятости и \$t''\$ – занятости шины при выполнении операции обмена. Тогда максимальная пропускная способность шины равна \$C_{max} = 1/t''^{1/2}\$. Затраты на шину равны \$E = N_{II}E_{II} + kX_{II}E_{II} + E_{Y_0}\$, где \$E\$ – затраты: \$E_{II}\$ – на интерфейс источника программ, \$E_{II}\$ – на источник и приемник информации, \$E_{Y_0}\$ – на устройство обмена в системе; \$k\$ – коэффициент оценки затрат на интерфейс шины в модуле. \$N_{II}\$ и \$X_{II}\$ – число источников программ и источников и приемников информации. Частота отказов шины может определяться как суммарное число отказов шин всех видов. Отличительная черта многопроцессорных шин – субмодульность функциональная (набор фиксированных длин слов адреса и данных) и конструктивная (набор размеров печатных плат и шин вне крейта с меньшим числом разъемов), обеспечивающая снижение затрат на малые системы.

В соответствии с моделью определена пропускная способность шины, используемая в качестве критерия эффективности на втором этапе выбора шины. Последовательности микроопераций для операций арбитража, прерывания и обмена данными – на примере единичной операции – показаны на рис. 6. Приводимые длительности микроопераций относятся к сигналам с уровнями ТТЛ. Для вывода формул длительностей операций обмена построены диаграммы состояний функционального модуля при их выполнении. Выведены также формулы длительностей операций арбитража и прерывания в зависимости от схем их реализации. В соответствии с формулами вы-

численны времена занятости современных многопроцессорных шин для операций – единичной и прерывания. Так как они отличаются незначительно, рассчитаны пропускные способности шин на примере единичной операции (рис. 7).



а



б

Рис. 6. Операции на шинах: а) арбитража и обмена; б) прерывания.

более высокими приоритетами. Пропускная способность вновь разработанных шин выше, чем КАМАК^{6/}. FASTBUS в 2+5 раз превосходит другие шины.

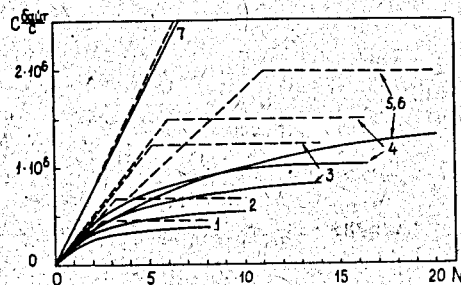


Рис. 7. Зависимость максимальной и минимальной пропускных способностей от числа источников программ для многопроцессорных шин при среднем времени занятости 10 мкс: 1 (0,39) и 3 (0,19) – системные крейты фирм Kinetic-Systems и GEC-Elliott, 2 (0,31) – многоконтроллерный крейт, 4 (0,17) – COMPEX, 5 – EUROBUS и 6 (0,09) – VME, 7 (0,01) – FASTBUS. В скобках указаны соответствующие значения коэффициента занятости.

До числа источников программ $N = 8+10$ COMPEX сравним с EUROBUS и VME, а далее последние превосходят все шины, кроме FASTBUS. VME и EUROBUS обеспечивают большую возможность распараллеливания задачи, так как позволяют работать большему числу источников программ^{17/}. Отметим, что в 1976 году лучшим был системный крейт фирмы GEC-Elliott^{3/}.

На третьем этапе оптимального выбора шины в качестве критерия эффективности используются затраты на единицу пропускной способности $e = \frac{1}{C} [b(N-1)+1] \cdot (E_{\Pi} + \frac{E_0}{N})$, где E – затраты: E_0 – на узлы шины, не зависящие от числа источников программ; E_{Π} – на узлы связи источника программ с шиной. Выполнен расчет этих затрат^{3,5/}. В соответствии с

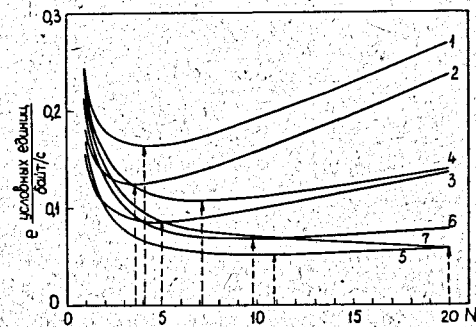


Рис. 8. Зависимости затрат на единицу пропускной способности шин от числа источников программ. Обозначения шин см. в подписи к рис. 7.

ны затрат на новые шины близки, что свидетельствует о необходимости привлечения и других критериев сравнения. Отметим, что в 1976 году лучшим был системный крейт фирмы GEC-Elliott.

Были созданы системы автоматизации магнитного спектрометра АЛЬФА^{13/}, комплекса медленного вывода пучка^{14,15/} и измерения показателя неоднородности магнитного поля синхрофазотрона ОИЯИ^{16/}. Для достижения требуемых характеристик систем источники программ или их интерфейсы также выполнены в виде модулей. Размещение их в одном крейте обеспечило меньшие затраты в сравнении с разработкой специализированных местных систем. Синтез модульного набора источников программ и интерфейсов ЭВМ – системного интерфейса – выполнялся в 3 этапа: 1. Выбор стандартной шины, 2. Определение типов модулей, 3. Разработка аппаратных и программных модулей. На первом этапе использовалась методика, изложенная ранее. Установлено, что оптимальным по пропускной способности и затратам на ее единицу являлся в 1976 году системный крейт фирмы GEC-Elliott (рис. 7,8). Поэтому было решено использовать близкий к нему по характеристикам, но выполненный на компонентах советского производства универсальный драйвер ЛВЭ ОИЯИ.

В состав системного интерфейса входят (рис. 9) интерфейс программного канала ЭВМ^{11,12/}, интерфейс канала прямого доступа^{7,18/} и

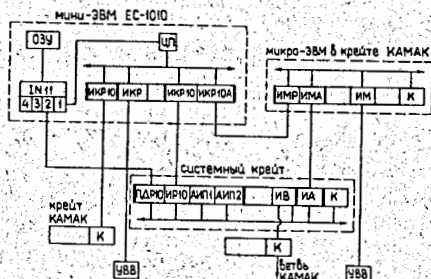


Рис. 9. Структура системного интерфейса: ИКР, ИН11 – интерфейсные карты, ИМ – интерфейсный модуль, АИП12 – автономные источники программ, ИВ – интерфейс ветви, УВВ – устройство ввода-вывода, К – контроллер крейта. Разработанные устройства выделены на рисунке.

автономные источники программ^{8,10/}. Последние необходимы для достижения требуемой пропускной способности, так как по программному каналу обеспечивается не более 25% требуемой пропускной способности. В источниках программ реализован принцип параллелизма: одновременно работают два операционных устройства в каждом из них^{7/}. Например, во время приема информации о профилях и положении выведенного пучка синхрофазотрона параллельно с чтением информации с преобразователей, производится переключение коммутатора датчиков (проволочные ионизационные камеры), а при записи слова данных в буферное ЗУ – запускаются и работают аналого-цифровые преобразователи^{9/}. В работе рассмотрены этапы проектирования модулей системного интерфейса: системный, алгоритмический, логический и технический. Так как шина арбитража в универсальном драйвере отсутствует, в системах реализована дисциплина с абсолютными приоритетами источников программ^{8/} или используется регистр прерываний^{19/}. Разработан набор подпрограмм выполнения операций КАМАК – основа программного обеспечения модульной системы^{10/}. Приведены данные об эффективности системного интерфейса. Автономные источники программ обеспечивали повышение про-

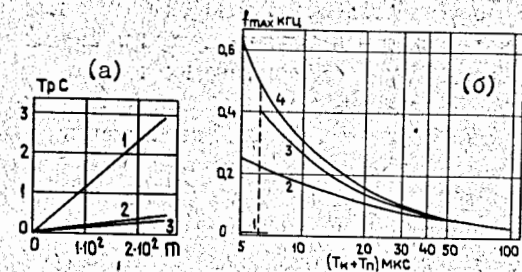


Рис. 10. Зависимости времени измерений от заданного числа пусков аналого-цифрового преобразователя (а) и максимальной частоты дискретизации сигнала от времени измерения (б): 1 – программа в ЭВМ, 2 – "жесткая" программа, 3 – модуль АИП12^{10/}, 4 – "идеальная" кривая; T_R , T_P – время переключения коммутатора и преобразования аналого-цифрового преобразователя.

Основные результаты работы

1. Создана методика анализа и синтеза программно-модульных систем автоматизации на основе многопроцессорных шин в области физики элементарных частиц. Разработаны аналитическая и структурная модели шины, на основе которых предложена классификация структурных и функциональных элементов шины и выведены выражения для расчета ее характеристик. Предложена методика оптимального выбора шины, примененная к существующим шинам.

2. Разработан системный интерфейс с модульной аппаратно-программной структурой, в котором впервые в СССР реализован принцип модульности совместно для источников программ и источников и приемников информации на основе стандартной шины. Организован малосерийный выпуск модулей.

3. Реализованы при непосредственном участии автора системы автоматизации спектрометра АЛФА и медленного вывода пучка синхрофазотрона ОИЯИ. На установке АЛФА при измерении спектров фрагментации релятивистских ядер дейтерия и гелия получены данные, указывающие на возможность существования нового резонанса, система автоматизации медленного вывода пучка синхрофазотрона обеспечила измерение пространственных характеристик выведенного пучка и ряда параметров ускорителя. Система служит основой для развития с 1976 года и способствовала реализации задач автоматизации многих систем ускорителя и ускорению ядерных пучков. В системе оперативных измерений показателя магнитного поля синхрофазотрона, разработанной автором, обеспечено измерение за время, в течение которого величина показателя неизменна, и исследование его изменений за цикл ускорителя; в 10 раз уменьшено суммарное время измерений в сравнении с программным управлением.

Разработанные автором программно-управляемые модули нашли применение в ряде организаций: НИИЭА, ИФВЭ (Серпухов) и других.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Черных Е.В. Структура и характеристики стандартных интерфейсов многопроцессорных систем. – Дубна, ОИЯИ, 1980, – 15 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-80-813).
2. Черных Е.В. Стандартные интерфейсы многопроцессорных систем. (Обзор). – Дубна, ОИЯИ, 1980, – 23 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-80-830).
3. Черных Е.В. Выбор стандартных интерфейсов многопроцессорных систем. – Дубна, ОИЯИ, 1980, – 11 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-80-812).

4. Черных Е.В. Выбор интерфейсов программно-модульных многопроцессорных систем. - В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ: Тезисы докл. VI всесоюзн. конф., Новосибирск, ИАЭ СО АН СССР, 1981, с. 60-61.
5. Черных Е.В. Стандартные интерфейсы для программно-модульных многопроцессорных систем, ПТЭ, 1982, № 4, с. 5-35.
6. Chernykh E.V. About the second generation of bus structures. - In: Real - Time Data and Process Control-II (1982). E.G. Kingham, G.Le Lann, N.E. Malagardis, editors; North-Holland Publ. Co., INRIA, 1984, p. 251-253.
7. Черных Е.В. Канал прямого доступа ЭВМ ЕС-1010 для универсального драйвера ветви. - Дубна, ОИЯИ, 1977. - 6 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-IO526); В кн.: IX международный симпозиум по ядерной электронике, Варна, 1977: Докл. Дубна, ОИЯИ, ДИЗ-III82, 1978, с. 196-199.
8. Ефимов Л.Г., Черных Е.В. Автономный блок управления универсальным драйвером ветви КАМАК для приема информации о пространственных характеристиках выведенного пучка. - Дубна, ОИЯИ, 1977, - II с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-III08).
9. Ефимов Л.Г., Черных Е.В. Автономный блок управления для универсального драйвера ветви КАМАК, ПТЭ, 1979, № 3, с. 90-93.
10. Черных Е.В. Модуль управления для оперативного измерения аналоговых сигналов. - Дубна, ОИЯИ, 1981, - 9 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-8I-409).
11. Нгуен Вьет Зунг, Смирнов В.А., Черных Е.В. Интерфейсная карта ИКР-10 для подключения к программному каналу ЭВМ ЕС-1010. - Дубна, ОИЯИ, 1975. - 9 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-90I9).
12. Нгуен Вьет Зунг, Нгуен Фук, Смирнов В.А., Черных Е.В. Модуль источника управления универсальным драйвером в стандарте КАМАК от ЭВМ ЕС-1010. - Дубна, ОИЯИ, 1975. - 8 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-897I); ПТЭ, 1976, № 3, с. 74-76.
13. Аблеев В.Г., Аврамов И., Антонов Л., Воробьев Г.Г., Гаджев Н., Запорожен С.А., Димитров Х., Номофилов А.А., Няглов А., Пискунов Н.М., Ситник И.М., Строковский Е.А., Струнов Л.Н., Филипповски А., Черных Е.В. и др. К применению многопроцессорной системы МСА САМАС на установке "Альфа-3С". В кн.: Тезисы первого всесоюзного семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. Душанбе, Дониш, 1980, с. 125.
14. Chernykh E.V., Efimov L.G., Kulikov I.I., Nguen Viet Zung et al. The organization of a JINR proton synchrotron beam slow extraction parameter monitoring and control system in the CAMAC standard on-line with an ES 1010 computer. - IEEE Transactions on Nuclear Science, 1977, v. NS-24, No. 6, p. 2561-2564.
15. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Куликов И.И., Нгуен Вьет Зунг, Смирнов В.А., Черных Е.В. Многократная система в стандарте КАМАК на линии с ЭВМ ЕС-1010. - В кн.: I всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. - Тезисы докл. Киев, Изд. ИЯИ, 1976, с. 64-65.
16. Черных Е.В. Двухпроцессорная система автоматизации оперативного управления измерениями показателя неоднородности магнитного поля синхротрона. - Дубна, ОИЯИ, 1981, - 7 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-8I-473).
17. Chernykh E.V. Comparison of standard interfaces. - Electronics Newsletter. CERN, 1982, No. 10, p. 4.
18. Смирнов В.А., Хмелевски Е., Черных Е.В. Блочная передача данных в стандарте КАМАК (Обзор). - Дубна, ОИЯИ, 1975. - 10 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-86I4); Nukleonika, 1975, v. 20, No. 11-12, p. 1047-1052.
19. Черных Е.В. Параллельный входной регистр в стандарте КАМАК. - Дубна, ОИЯИ, 1974. - 9 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-79I3).
20. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Куликов И.И., Смирнов В.А., Черных Е.В. Организация программного обеспечения ветви КАМАК на линии с ЭВМ ЕС-1010 в системе реального времени. - Дубна, ОИЯИ, 1978, - 16 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: IO-II238).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1985 года.