

623

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 681.323

11-87-343

**БАН
Ярослав**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
С RISC - АРХИТЕКТУРОЙ ПРОЦЕССОРА**

**Специальность: 05.13.16 - применение
вычислительной техники, математического моделирования
и математических методов в научных исследованиях**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований и Институте экспериментальной физики САН, г. Кошице, ЧССР.

Научные руководители:

член-корр. САН
кандидат технических наук

И. Пландер
Р. М. Котов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Б. А. Котов

доктор технических наук

Е. М. Цупко-Ситникова

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Ленинградский институт ядерной физики АН СССР, г. Гатчина.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1987 г.
в _____ час. на заседании Специализированного совета Д047.01.04 при
Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан "___" _____ 1987 года

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ивч 3. М. Иванченко

I. Общая характеристика диссертации

Актуальность проблемы

На протяжении трех последних десятилетий вычислительная техника все стремительнее и шире охватывает различные сферы человеческой деятельности. Эта тенденция наблюдается и в настоящее время. Одной из сфер, в которой применение вычислительной техники достигло высокого уровня, является физика высоких энергий. Передовые эксперименты в этой области физики имеют в своем распоряжении большие и сложные детекторы, работа которых немаловажна без управления большим числом ЭВМ. Например, эксперимент UA 1 (ЦЕРН) потребовал определения около 50 000 калибрационных констант, и для фильтрации и съема данных во время эксперимента было использовано 450 программируемых процессоров, в том числе специализированные процессоры, микропроцессоры, микро- и мини-ЭВМ.

На архитектуру систем реального времени для сбора данных в физике высоких энергий накладываются специальные требования, определяемые количеством каналов информации и потоками информации в них. Важную роль в системах сбора данных в физике высоких энергий играют специализированные процессоры, разработка которых обусловлена необходимостью применения мощных вычислительных средств для специальных задач. Использование в этих задачах мощных стандартных ЭВМ, выпускаемых промышленностью, является неэкономичным.

Достижения в области технологии интегральных схем, архитектур вычислительных машин и технологии создания программного обеспечения делают все более актуальными разработки высокоэффективных специализированных средств вычислительной техники.

Цель работы

Целью работы является создание быстродействующей вычислительной системы для систем сбора и предварительной обработки данных, получаемых в экспериментах физики высоких энергий.

Научная новизна работы

I. В результате анализа программ обработки данных, получаемых в экспериментальных установках физики высоких энергий, впервые количественно показано, что применение принципов RISC вместе с возможностью оперативного изменения основных машинных команд

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

процессора позволяет минимизировать семантическое расстояние /SEMANTIC GAP/ между языком программирования этих задач и аппаратурой процессора.

2. Разработан новый способ повышения быстродействия микропрограммируемых процессоров архитектуры RISC, основанный на использовании свободной части микропрограммной памяти в качестве памяти операндов с быстрым доступом.

3. Впервые разработана быстродействующая специализированная КАМАК-ориентированная вычислительная система с RISC архитектурой процессора, предоставляющая экспериментатору возможность изменения состава команд процессора.

4. Разработано программное обеспечение для созданной впервые вычислительной системы, включающее в себя компилятор языка микропрограммирования, кросс-ассемблер, компоновщик и загрузчик, а также пакет программ для работы с ЭВМ СМ-4, являющейся host-машиной.

5. Создана методика настройки и отладки микропрограммных устройств. Впервые разработан и создан комплекс аппаратуры и программ для реализации этой методики на ЭВМ СМ-4 и КАМАК аппаратуре.

Созданный автором комплекс аппаратуры и программ для отладки, а также сама вычислительная система и ее программное обеспечение представляют собой базу для разработки и отладки широкого класса спецпроцессоров RISC-архитектуры, создаваемых на секционных микропроцессорах.

Практическая ценность работы

Реализована быстродействующая КАМАК-ориентированная вычислительная система, предоставляющая пользователю возможность изменения состава команд как в начале работы, так и динамически во время выполнения программы.

Центральный процессор системы обладает производительностью $3 \cdot 10^6$ 16-разрядных инструкций в секунду, память 128 Кбайт, имеет сопряжение в стандарте КАМАК с host-машиной типа СМ, а также собственный КАМАК-контроллер, реализующий предельную скорость обмена по магистрали КАМАК: 10^6 16-разрядных слов в секунду при обмене по программному каналу. Для этой вычислительной

системы разработано программное обеспечение, включающее компилятор языка программирования, кросс-ассемблер, средства отладки, загрузчик и компоновщик.

Разработанная вычислительная система /ВС/ применена для решения задач распознавания треков на снимках с водородных камер в создаваемой в ЛВТА ОИЯИ совместно с ИЭФ САН измерительной-сканирующей системе на базе матриц ПЗС, в качестве спецпроцессора предварительной обработки и фильтрации данных, поступающих с матрицы ПЗС. Результаты показали, что для этого класса задач производительность созданной ВС на порядок (~ 50 раз) выше, чем ЭВМ типа СМ-4. Исследована возможность применения разработанной ВС для сбора и предварительной обработки данных электронного эксперимента, проводимого в МФФ в Праге. Создан и отлажен интерфейс для подключения созданной ВС в систему сбора данных установки Гиперон (Марс) ЛЯП ОИЯИ, как процессора для триггера второго уровня. В экспериментальном производстве ИЭФ САН, г.Кошице, ЧССР запущена в производство опытная партия таких ВС. Кроме того, разработанная автором в процессе создания ВС методика настройки и отладки микропрограммных устройств представляет технологическую базу для разработки, настройки и отладки микропрограммных устройств при создании вычислительных систем на секционных микропроцессорных схемах. Эта технология была внедрена в ИЭФ САН. Отдельные части системы, в частности компилятор языка AMDASM - 29 с, основное программное обеспечение системы КАМАК для ЭВМ СМ-4 успешно используются также в ряде организаций ЧССР, например, в Исследовательском институте ядерных электростанций г.Ясловске Богунице, в Институте вычислительной техники УПИИШ г.Кошице.

Апробация

Результаты диссертации докладывались на конференции по управлению процессами и экспериментами (Прага, 1985 г.), конференции молодых ученых (Кошице, 1986 г.), обсуждались на семинарах ИЭФ САН, семинаре Института технической кибернетики САН, г.Братислава, семинарах ЛЯП и ЛВТА ОИЯИ. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Она содержит 98 страниц машинного текста, 7 таблиц, 15 рисунков и список литературы из 70 наименований.

II. Содержание диссертации

Первая глава содержит обзор основных проблем, связанных с требованиями к архитектуре вычислительных систем реального времени для сбора данных в экспериментах физики высоких энергий.

Обсуждаются традиционный подход, проблемы, связанные с традиционным подходом, развитие требований современных экспериментов, развитие в области технологии. В конце первой главы приведена модель современной системы сбора данных с характеристиками задач и особенностями работы разных программируемых процессоров, в том числе описаны роль и задачи специализированных процессоров.

Во второй главе проанализированы требования, накладываемые на вычислительную систему (ВС), которая может быть использована в системах сбора и предварительной обработки данных, получаемых в экспериментах физики высоких энергий. Исследована архитектура вычислительной системы в целом, проведен статистический анализ типов выполняемых машинных инструкций и анализ требований, накладываемых на архитектуру центрального процессора такой ВС.

В главе приведены результаты измерений, касающиеся вероятностных характеристик использованных инструкций и их операндов, в задачах съема и обработки данных для машин разных типов (DEC-10, IBM-360, PDP-11, NOVA 820, VAX) и разных языков (PASCAL, C, FORTRAN, ASSEMBLER, BASIC, XPL), а также результаты измерений для программ съема и предварительной обработки данных в физике высоких энергий на машинах NOVA 820, CM-4, VAX и языках ASSEMBLER и FORTRAN.

Результаты анализа типов команд и способов адресации в задачах сбора и предварительной обработки следующие:

- распределение частоты использования отдельных типов машинных команд показывает, что при выполнении программ упомянутых задач более чем 90% из всех выполненных процессором команд являются команды ограниченного числа типов;

- распределение использования различных способов адресации сильно зависит от архитектуры процессора, но и в случае наличия у процессора большого количества способов адресации чаще всего используется небольшое число (обычно 4) прямых способов адресации;

- необходимое время съема информации определяется, в основном, источником данных (детектором) и может быть решающим фактором в определении "мертвого времени" экспериментальной установки.

Из современных архитектур центральных процессоров этим требованиям лучше всего удовлетворяет архитектура RISC

(REDUCED INSTRUCTION SET COMPUTER), позволяющая выполнять одну команду практически за один цикл процессора.

Поэтому было решено создать центральный процессор в этой архитектуре, причем, для конкретного применения в эту архитектуру введена возможность оперативного изменения микропрограммной генерации машинных команд пользователем.

В диссертации предложена система, совмещающая архитектуру RISC с возможностью оперативного изменения микропрограммной генерации машинных команд до уровня генерации сигналов протокола ввода/вывода, что позволяет снизить до минимума семантическое расстояние между архитектурой центрального процессора и машинным языком программирования целого класса задач, связанных со сбором и предварительной обработкой данных в физике высоких энергий.

В третьей главе описаны технические средства созданной ВС. В результате анализа требований к ВС и возможностей их реализации (глава 2) было решено создать микропрограммируемую пользователем КАМАК-ориентированную ВС с RISC архитектурой центрального процессора ^{1/4}, в состав которой входят:

- интерфейс host -компьютера, выполненный в стандарте КАМАК;
- оперативная память;
- центральный процессор;
- канал ввода/вывода;
- контроллер крейта КАМАК;
- арбитр шины.

ВС имеет системную шину с импедансом 120 Ом. Вычислительная система спроектирована для работы на линии с host - компьютером. Блок-схема ВС приведена на рисунке 1. Соединение с host -компьютером реализовано через интерфейс в стандарте КАМАК. Центральный процессор, микропрограммируемый пользователем, имеет архитектуру RISC и выполняет инструкции в режиме "THREE STAGE PIPELINING" при использовании режима "передачи управления с задержкой". Блок-схема центрального процессора приведена на рисунке 2. В каждом цикле процессор одну инструкцию выполняет (ALU - арифметическо-логическое устройство), одновременно считывает из оперативной памяти следующую и декодирует ее (CSU - управляющее устройство процессора) и вычисляет адрес размещения третьей инструкции в оперативной памяти. Центральный процессор способен выполнить около 3-х миллионов машинных инструкций в секунду (цикл 300 - 350 нс в зависимости от инструкции) или 5 миллионов инструкций в секунду в случае выполнения программы ограниченной

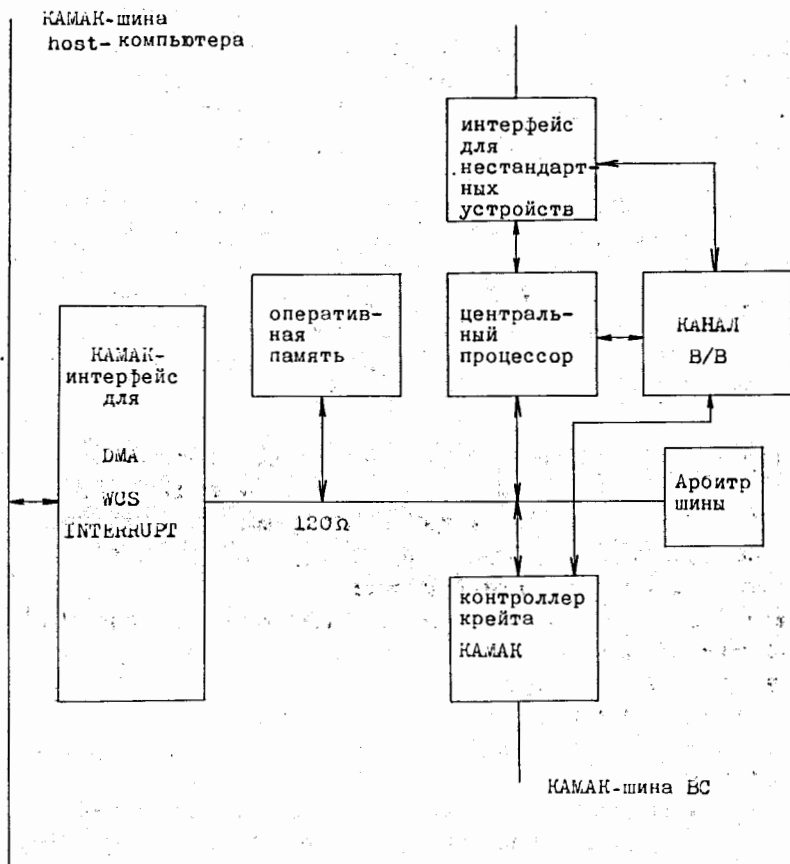


Рисунок 1

длины (макс. 4К слов), полностью помещенной в микропрограммной памяти процессора.

Канал ввода/вывода позволяет пользователю микропрограммно управлять стандартным контроллером крейта КАМАК (СС2023), генерировать сигналы протокола ввода/вывода для подключения к процессору ВС нестандартных устройств, например матрицы ПЭС.

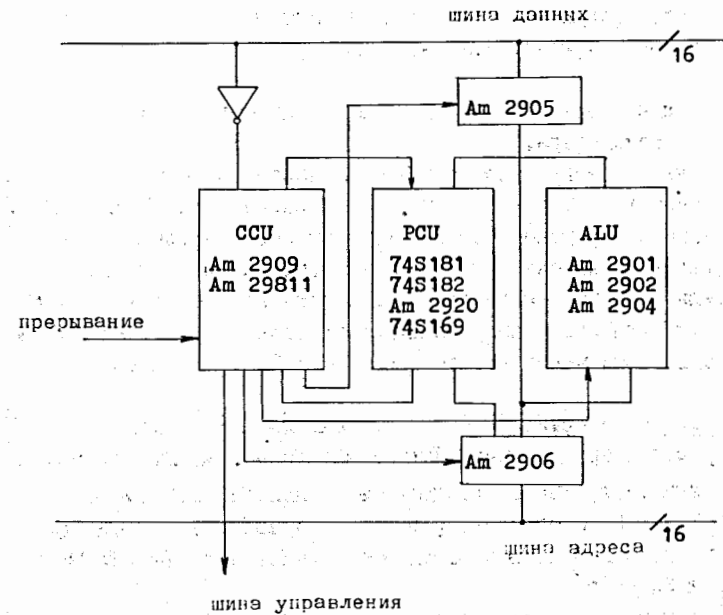


Рисунок 2

Идея прямого микропрограммного управления стандартным контроллером основана на факте, что микропрограммный цикл процессора в 5 раз короче (200 нс.) программного цикла КАМАК-системы. Процессор во время текущего цикла КАМАК-системы успевает подготовить и начать следующий цикл. Этот подход позволяет реализовать непрерывное чтение данных из КАМАК системы в программном режиме со скоростью 10^6 16-разрядных слов в секунду.

Четвертая глава содержит описание программного обеспечения, разработанного автором. Программно были обеспечены:

- автоматизация процесса создания и отладки микропрограмм ^{17,2/};
 - процесс создания программ на языке ASSEMBLER ^{15/};
 - программирование КАМАК системы на host-компьютере ^{1/};
 - управление вычислительной системой из host-компьютера.
- В состав разработанного программного обеспечения включены:
- компилятор языка микропрограммирования - AMDASM-29c ^{1/};
 - программное обеспечение для работы с микрокодом;
 - кросс-ассемблер;
 - компоновщик;
 - загрузчик;

- основное программное обеспечение системы КАМАК на host-компьютере (программный драйвер крейт-контроллер DC -106 для ОС RSX -IIM);

- программное обеспечение управления вычислительной системой из host-компьютера.

Программное обеспечение создано на машине СМ-4, которая используется в качестве host-компьютера для разработанной автором ВС.

Созданное программное обеспечение существенно повышает эффективность работы пользователя при программировании процессора. Пользователь получает эффективные средства для создания и отладки микропрограмм для программирования процессора на языке ассемблер и для обмена данными между процессором и host-компьютером.

Пятая глава содержит описание системы для разработки и отладки микропрограмм процессоров. Для повышения эффективности отладки микропрограмм центрального процессора вычислительной системы (описан в главе 2 работы) автором была разработана система для создания и отладки микропрограмм, предназначенных для ЭВМ СМ-4 и электроники КАМАК/2/.

В программное обеспечение системы вошло программное обеспечение крейта КАМАК, компилятор языка AMDASM-29c, программы загрузки эмулятора микропрограммной памяти, программное обеспечение для программирования постоянных запоминающих устройств, программируемых пользователем (ПЗУП).

Программное обеспечение работает под управлением операционной системы RSX - IIM - V4.0 на ЭВМ СМ-4.

Аппаратура системы реализована в стандарте КАМАК и включает в себя модули микропрограммного запоминающего устройства с произвольной выборкой (эмулятор микропрограммной памяти), модуль интерфейса, модули программирования ПЗУП, позволяющие программировать памяти типа SN 74188, SN 74S287, SN 74S571, I3604, I 3601.

Работа системы схематически приведена на рисунке 3. Система для разработки и отладки микропрограмм реализована таким образом, что она может работать самостоятельно для отладки микропрограммных приборов и как составная часть вычислительной системы, описанной в главе 3 работы.

Шестая глава посвящена применению результатов диссертации. Созданная ВС была применена для распознавания следов заряженных частиц на снимках с трековых камер, снятых с помощью матриц ПЭС /6,8/ в создаваемой в ЛБГА ОИЯИ совместно с ИЭФ САН измерительно-сканирующей системе.

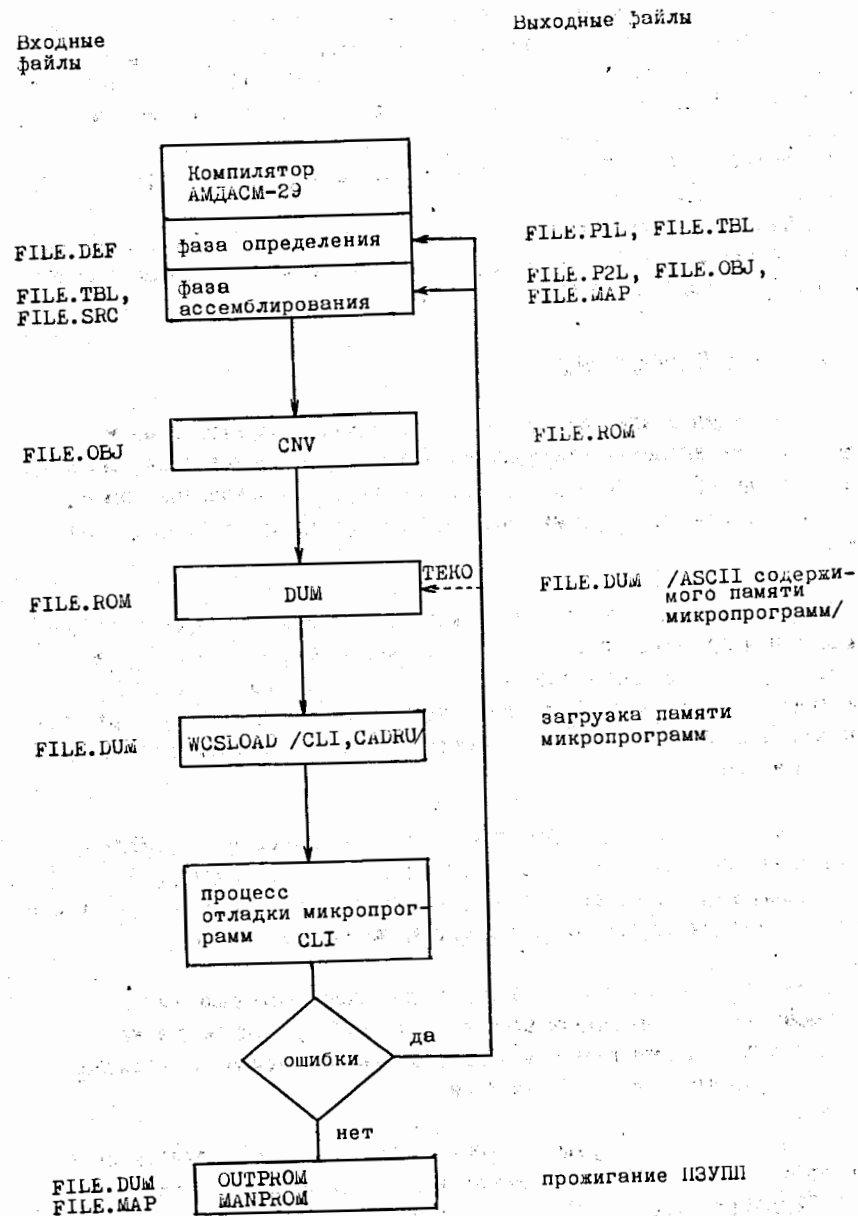


Рисунок 3

Алгоритмы распознавания были реализованы для матрицы размером 256 x 256 точек. Введение специализированных машинных инструкций для решения этой задачи (ВС это позволяет - она микропрограммируемая пользователем) позволяет распознавать треки в реальном времени, т.е. за 0,17 - 0,2 секунды в зависимости от шума (0-20%).

Специализированная ВС для этой задачи на порядок быстрее (50 раз), чем ЭВМ СМ-4.

Созданная автором система для отладки микропрограммных устройств была внедрена в ИЭФ САН г.Кошице. Позволяет сократить время отладки микропрограммных устройств в 2-3 раза.

III. Основные результаты

1. Проведен анализ алгоритмов и программ обработки данных, получаемых на экспериментальных установках для исследований в физике высоких энергий с точки зрения оптимального использования команд, способов адресации и организации их выполнения процессорами управляющих ЭВМ.

2. В результате анализа показано, что применение принципов RISC-архитектуры при создании специализированных процессоров, с введением возможности оперативного изменения микропрограммной генерации машинных инструкций, позволяет минимизировать семантическое расстояние между машинным языком программирования этих задач и аппаратурой процессора.

3. Разработана быстродействующая специализированная, КАМАК - ориентированная вычислительная система с RISC -архитектурой процессора, предоставляющая экспериментатору возможность оперативного изменения микропрограммной генерации машинных инструкций.

4. Разработан новый способ повышения быстродействия микропрограммируемых процессоров архитектуры RISC, основанный на использовании свободной части микропрограммной памяти в качестве памяти операндов с быстрым доступом.

5. Разработано программное обеспечение для специализированной вычислительной системы, включающее в себя: компилятор языка микропрограммирования, кросс-ассемблер, компоновщик, загрузчик, основное программное обеспечение системы КАМАК для ЭВМ СМ-4, а также пакет программ для работы с ЭВМ СМ-4, являющейся host-машинной.

6. Реализован метод сравнения быстродействия процессоров и приведено сравнение созданной вычислительной системы с ЭВМ СМ-4.

7. Создана методика настройки и отладки микропрограммных устройств. Разработан и реализован комплекс аппаратуры и программ для реализации этой методики на ЭВМ типа СМ и КАМАК-аппаратуре.

8. Созданная вычислительная система была применена для распознавания следов заряженных частиц на снимках с трековых камер; снятых с помощью матрицы ПЗС. Созданная ВС позволяет распознавать следы на картинке размером 256 x 256 точек в реальном времени (0,17 - 0,20 секунды на картинку)

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. J. Balun, J. Van.
SAMAC DATA HANDLING SOFTWARE FOR PDP-11 COMPUTER SERIES AND SAMAC CONTROLLER DC-106 UNDER RSX-11M.
PREPRINT UEF-04-85, KOSICE, CSSR, 1985.
2. Я.Бан, Я.Балун, Я.Коллар, М., Дуптак, А.А.Семенов.
Система для разработки микропрограммы на ЭВМ СМ 4-20 в стандарте КАМАК. Препринт ИЭФ САН UEF - 05 - 85, Кошице, 1985.
3. J. Balun, J. Kapisovsky, J. Van, M. Karchnakova.
Zakladne programove vybavenie pre SAMAC pod operacnym systemom DOS RV2.
Сборник конференции "Управление процессами и экспериментами", Прага, 1985, стр.101-106.
4. Я. Бан, Ч.Семан Специализированный процессор типа RISC.
Препринт ОИЯИ, PII-86-483, Дубна, 1986.
5. Я.Бан, Я.Коллар, К.Харчаруфкова. Программное обеспечение специализированного процессора типа RISC. Препринт ОИЯИ, PII-86-484, Дубна, 1986.
6. Я.Бан, В.М.Котов. Особенности применения спецпроцессоров архитектуры RISC для обработки данных с матриц ПЗС. ОИЯИ, P10-86-759, Дубна, 1986.

7. J. KOLLAR, J. BAN.

AMDASM-29c microprogramming language.

PREPRINT UEF SAV, UEF -01-87, KOSICE, CSSR, 1987.

8. Я.Бан, В.М.Котов. Применение спецпроцессора RISC для реализации алгоритмов выделения трекового сигнала по данным, полученным с матрицы ПЭС. ОИЯИ, РЮ-87-339, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 мая 1987 года.