

C-195

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

11-92-2

**САПОЖНИКОВА
Татьяна Федоровна**

УДК 681.3.06

**МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ И НАСТРОЙКИ ЭВМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Специальность: 05.13.11

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории Вычислительной Техники и Автоматизации Объединенного Института Ядерных Исследований

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук
профессор

Силин
Игорь Николаевич

Кандидат технических наук
старший научный сотрудник

Левчановский
Феодосий Васильевич

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук
доцент

Томилин
Александр Николаевич

Кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Гуревич
Михаил Исаевич

Ведущая организация: ИТМ и ВТ

Автореферат разослан "___" _____ 1992г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1992г.
в _____ часов на заседании Специализированного совета
Д047.01.04 при Лаборатории Вычислительной Техники и
Автоматизации ОИЯИ, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета

кандидат физико-математических наук

З.М.Иванченко

Введение

Актуальность проблемы. Современная технология цифровых БИС и, прежде всего, метод микропрограммирования позволяют проводить проектирование и производство ЭВМ относительно небольшими коллективами за приемлемые сроки времени. Это открывает возможность создания ЭВМ, ориентированных на потребности одной или нескольких организаций, или предназначенных для решения узких классов задач. Подобные ЭВМ могут быть изготовлены очень малой серией, часто в количестве нескольких штук. Разумеется, затраты на создание одной такой ЭВМ больше, чем в случае массового производства, но точная подгонка параметров под условия эксплуатации с использованием микропрограммирования может оправдать дополнительные расходы.

Проведение подобной работы в короткие сроки и вовлечение в разработку малого количества сотрудников делают условия особенно жесткими. Также возникает проблема максимальной проверки создаваемой ЭВМ на программных моделях, так как позволяет уменьшить загрузку ограниченных производственных мощностей. Таким образом, проработка методик создания ЭВМ малой группой с интенсивным использованием моделирования на ЭВМ, является актуальной.

Цель работы. Основной целью данной работы была разработка методики и инструментальных средств для создания универсальной ЭВМ с применением техники микропрограммирования и практическая реализация на их основе ЭВМ, совместимой на пользовательском командном уровне с машинами типа БЭСМ-6 и Эльбрус-5.

ЭВМ БЭСМ-6 промышленностью больше не выпускается, и во многих организациях она выводится или выведена из эксплуатации. Архитектура БЭСМ-6 сравнительно легко переводится на современную технологическую базу больших интегральных схем с использованием микропрограммирования. Поэтому аппаратная эмуляция БЭСМ-6 представлялась экономически более оправданной, чем переработка огромного объема оригинального программного обеспечения, созданного для ЭВМ БЭСМ-6 за длительный период ее эксплуатации.

Также ставилась цель создать ЭВМ, имеющую аппаратные и программные средства для расширения набора микропрограмм. Это позволит вводить в машину новые команды, специально

Объединенный Институт
Ядерных Исследований

предназначенные для тех или иных специфических режимов использования.

Разработанная ЭВМ МКБ-8601 помимо эмуляции БЭСМ-6 способна работать в режиме с расширенным списком команд. В нем устранены основные недостатки ЭВМ БЭСМ-6: малый порядок чисел с плавающей запятой, недостаточный размер адресного пространства, а также увеличена длина слова, разрядность индекс-регистров, введен тег, семафорные операции для многопроцессорного режима, команды целой арифметики и др. В этом режиме система команд согласована с вычислительной системой Эльбрус-Б, что позволяет трактовать созданную машину как младший член семейства ЭВМ Эльбрус.

Научная новизна. В работе описан комплексный подход к разработке и отладке микропрограммного обеспечения архитектуры ЭВМ, позволяющий осуществлять проектирование и создание ЭВМ небольшими группами с минимальным количеством промежуточных макетных образцов.

Предложено новое решение актуальной проблемы: разработана вычислительная система, открытая к наращиванию системы команд, т.е. специализации к конкретному классу задач. Система не только способна работать в собственном режиме и режиме эмуляции БЭСМ-6, но и комбинировать эти режимы в рамках одной задачи. Особенностью двух режимов работы является их взаимное "проникновение", когда программы БЭСМ-6 могут считаться с повышенной точностью другого режима.

Обеспечен единообразный подход к созданию ЭВМ и изготовлению документации и к расширению ее возможностей с соответствующей коррекцией документов.

Практическая ценность. Предлагаемая методика разработки ЭВМ может успешно использоваться при создании в НИИ как новых специализированных ЭВМ, так и прочей цифровой аппаратуры.

МКБ-8601, разработанная с применением этой методики, позволяет использовать практически все программное обеспечение ЭВМ БЭСМ-6 (за исключением программ, работающих с нестандартными внешними устройствами). Кроме того, ее можно использовать и при решении широкого круга других задач. Наиболее важными характеристиками системы являются:

а). простой способ внесения изменений в систему для ее специализации, т.к. введение новых возможностей не требует дополнительной аппаратуры, кроме некоторого объема памяти микропрограмм;

б). эффективное решение широкого круга задач; следует отметить реализацию на микропрограммном уровне обработки ряда прерываний, что уменьшает время отклика при работе в режиме ON-LINE с экспериментальным или технологическим оборудованием;

в). возможность вынесения на микропрограммный уровень специфических для некоторого круга задач действий, например, генераторы псевдослучайных чисел, поиск по таблицам и др.;

г). большое адресное пространство, наличие целой арифметики и 52-разрядная мантисса числа с плавающей запятой, позволяющие легко программировать алгоритмы численного анализа, в том числе чувствительные к потере точности;

д). совместимость с ЭВМ Эльбрус-Б, позволяющая создавать общие с этими машинами программы;

е). возможность в одной задаче использовать основной режим и режим эмуляции, позволяющая при разработке новых программ включать хорошо проверенные библиотеки и пакеты программ БЭСМ-6;

ж). система семафоров, позволяющая использовать машину в многопроцессорных системах;

з). сравнительно малые стоимость и размеры МКБ-8601, позволяющие использовать ее как рабочую станцию.

Рекомендации к применению. Малые геометрические размеры разработанной ЭВМ МКБ-8601 открывают возможности использования ее не только как вычислителя для работы различных программных систем обработки результатов физических экспериментов, но и в системах управления экспериментальными физическими установками, спектральном анализе, триггерных устройствах детекторов элементарных частиц, автоматизированных рабочих местах проектировщика и т.д. Более того, наличие аппаратно-микропрограммной поддержки идей мультипрограммирования позволяет использовать ее одновременно в обоих этих качествах.

Микропрограммное обеспечение позволяет использовать МКБ в качестве эмулятора ЭВМ БЭСМ-6; также возможно применение разработанной ЭВМ в качестве программно совместимой младшей модели вычислительной системы Эльбрус-Б. МКБ-8601 представляет определенный интерес для всех пользователей ЭВМ БЭСМ-6.

Научные результаты, выводы и рекомендации обоснованы и подтверждены работой на макетном образце МКБ программ, перенесенных с БЭСМ-6, а также вновь созданных программ.

Апробация работы и публикации.

Все результаты работы подробно докладывались на научных семинарах ЛВТА и ЛВЭ ОИЯИ и опубликованы в виде препринтов и сообщений ОИЯИ, депонированных публикаций и статей в журналах, в трудах Симпозиума по применению микро-ЭВМ и микропроцессоров (Будапешт).

Основное содержание диссертации опубликовано в 11 печатных работах.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 77 наименований и 2 приложений, содержит 1 таблицу и 14 рисунков. Общий объем составляет 96 страниц.

Содержание диссертации.

Во введении обосновывается актуальность рассматриваемой проблемы, ставятся цели и задачи исследования, дается краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе рассматривается метод микропрограммирования. Во всякой ЭВМ существует устройство управления, которое организует информационные потоки внутри машины и координирует работу всех устройств. Принцип построения устройства управления называется микропрограммным, если функции управления выполняет последовательность микрокоманд, записанных в управляющей памяти.

В 1.2. описывается роль микропрограммирования в архитектуре ЭВМ. В отличие от понятия структуры, связанного с внутренней организацией и функциями аппаратуры ЭВМ, понятие архитектуры связывается с тем, как ЭВМ или семейство ЭВМ представляется пользователю. В ЭВМ с микропрограммным принципом управления микропрограммирование является средством обеспечения архитектуры ЭВМ, т.к. оно реализует систему команд, форму представления данных, способы адресации и т.д.

Микропрограммирование применяется при разработке устройств управления ЭВМ, при изменении существующей архитектуры для специализации к конкретному классу задач, для выполнения функций различных уровней программного обеспечения, при эмуляции, при работе "ON-LINE" с экспериментальным оборудованием.

Система команд большинства современных ЭВМ построена так, чтобы обеспечить возможность решения широкого класса задач. В динамически микропрограммируемых машинах можно подобрать специальный набор машинных команд, наилучшим образом подходящий для данной специфической проблемы. Микропрограммирование может увеличить эффективность ЭВМ, взяв на себя часть функций, выполняемых обычно операционной системой.

В 1.3. рассматриваются проблемы перехода от одной системы обработки данных к другой, которые можно облегчить, например, с помощью эмуляции. Микропрограммирование широко используется при разработке аппаратных систем в целях упрощения процедуры эмуляции и как средство достижения общности архитектуры в широком диапазоне скоростей обработки данных.

В 1.4. перечислены преимущества и недостатки систем с микропрограммным управлением. Они в основном сводятся к тому, что микропрограммное управление уступает схемному по быстродействию, однако обеспечивает большую гибкость и экономичность при реализации сложной управляющей логики.

Во второй главе описываются методика и инструментальные средства для создания, настройки и обслуживания универсальной ЭВМ.

Предлагаемая методика создания и настройки ЭВМ с использованием микропрограммирования заключается в определении архитектуры создаваемой ЭВМ и проверке ее на программных моделях, в создании комплекса микропрограммных средств для обеспечения заданной архитектуры и модификации микропрограммного обеспечения для изменения архитектуры с целью настройки ее на решение конкретных задач, в частности - на эмуляцию ЭВМ БЭСМ-6.

В соответствии с этой методикой была создана универсальная ЭВМ МКБ-8601.

В ходе разработки проекта ЭВМ для изучения эффективности ее архитектуры был создан программный имитатор ЭВМ, описываемый в 2.1. В имитаторе моделируется архитектура МКБ для одного процесса: система команд, регистры, типы данных и способы адресации. Поскольку одной из основных задач при разработке МКБ была задача эмуляции БЭСМ-6, для эффективного ее решения архитектура МКБ должна соответствовать архитектуре БЭСМ-6: страничная организация памяти, набор регистров режима математика, способы адресации и т.д. Поэтому с помощью

имитатора подбирались только система команд, наиболее подходящая для функционирования операционной системы и прикладных программ, и форматы данных.

Следующим этапом разработки ЭВМ является логическое моделирование, описываемое в 2.2. Моделирование позволяет проверить возможность реализации заданной архитектуры в виде программной модели на конкретной технологической базе цифровых интегральных схем, помогает лучше понять структуру проектируемого устройства и взаимодействие отдельных его функциональных блоков. Кроме того, описание на формальном языке логического моделирования представляет из себя документацию, понятную широкому кругу специалистов.

В процессе моделирования были решены задачи выбора структуры микрокомандного слова и проверки правильности функционирования системы в целом.

Для наладки и эксплуатации любой вычислительной машины необходима эффективная система тестирования. В ЭВМ с микропрограммным управлением на начальном этапе наладки аппаратуры возможно использование только микропрограммных тестов. Кроме того, микропрограммные тесты имеют большую "разрешающую способность" при обнаружении и локализации неисправностей и требуют для своей работы гораздо меньше аппаратное ядро системы, чем командные тесты. В 2.3. представлены структура микропрограммных тестов и методика тестирования ЭВМ МКБ-8601, построенная на принципе "расширяющегося ядра". Тесты проверяют работоспособность функциональных узлов центрального процессора, кэш-память и оперативную память машины. Тестированию ОЗУ уделено особое внимание - разработано несколько типов тестов с вариациями скорости и эффективности.

Во третьей главе описывается организация МКБ-8601 как многоуровневая.

В 3.1. дается общая характеристика МКБ-8601, которая является микропрограммно управляемой машиной общего назначения с модульной организацией. Основными модулями, входящими в состав машины, являются: оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), центральный процессор (ЦП) (их может быть несколько), пультовой процессор (ПП), внешние устройства. Обмен информацией между ними осуществляется через общую шину данных.

Оперативная память состоит из 72-разрядных слов, из которых 64 - информационные, остальные 8 разрядов - тег. Максимальная емкость оперативного запоминающего устройства - 9 Мбайт. Для повышения отказоустойчивости работы памяти в блок управления встроен генератор кода Хемминга.

Пультовой процессор представляет из себя микроЭВМ с собственной памятью, возможностью доступа к основной памяти и ко всем регистрам центрального процессора. Пультовой процессор выполняет загрузку памяти микропрограмм ЦП.

В 3.2. рассматривается многоуровневая организация ЭВМ. Независимость работы программиста некоторого уровня от способа реализации этого уровня позволяет рассматривать организацию вычислительных машин как многоуровневую. Организация микропрограммного уровня определяется аппаратными средствами, а набор команд и организация традиционного машинного уровня - микропрограммными.

В 3.3. рассматривается традиционный машинный уровень ЭВМ МКБ-8601. Описываются форматы данных, представление чисел с плавающей запятой и целых, форматы команд, способы формирования исполнительных адресов, назначение отдельных разрядов тега и регистров приписки, регистры уровня пользователя.

В 3.4. описывается микропрограммный уровень МКБ-8601. Блок микропрограммного управления осуществляет выборку команд и их анализ и управляет передачей всех сигналов и данных в физических компонентах системы. Приводится схема организации микропрограммного уровня МКБ с двумя информационными шинами, перечислены основные компоненты процессора МКБ-8601 уровня микромашины.

В 3.5. описывается формат микрокомандного слова в МКБ, который является в основном горизонтальным и горизонтально - кодированным с элементами вертикальной структуры. В 3.6. и 3.7. описывается язык микропрограммирования, приводятся способы контроля микрокоманд, реализованные в микроассемблере. В 3.8. обсуждаются проблемы совмещения операций и некоторые способы их решения.

В четвертой главе описывается организация микропрограммно обеспечения МКБ, реализующая выполнение команд, вызов системных макрокоманд - экстракодов и поддержку прерываний.

В 4.1. приводится схема исполнения команды. Система команд

МКБ существенно расширена по сравнению с БЭСМ-6, поэтому эффективность ее по некоторым оценкам возросла в 2-3 раза. Дается описание некоторых команд поддержки системных и прикладных программ и аппаратно - микропрограммной поддержки многопроцессорной конфигурации МКБ. Для расширения или изменения системы команд могут использоваться резервные коды. Часть команд может интерпретироваться экстракодами.

Умножение и деление в макетном варианте МКБ выполняется микропрограммно. В 4.2. описываются команды целого умножения и деления, как наиболее сложные в МКБ, а также арифметика с плавающей запятой. Описаны процедуры нормализации и округления.

Во время исполнения команды возможны прерывания, после обработки которых выполнение команды повторяется. Поэтому в процессе исполнения команд нельзя допускать необратимых изменений, которые при повторном исполнении этой команды могут привести к неверному результату. В 4.3. описываются некоторые особенности микропрограммной реализации системы команд, выполняющих префиксацию, или использующих магазинный способ адресации.

4.4. посвящен описанию системы экстракодов и прерываний МКБ и ее микропрограммной реализации. Рассуждения базируются на понятии процесса, лежащем в основе большинства операционных систем. Описываются ресурсы ЦП, которыми владеет процесс в МКБ. Это регистры общего назначения и одна или несколько групп модификаторов, которые участвуют в формировании исполнительного адреса. В группе регистров находится область упрятывания регистров общего назначения при прерываниях и экстракодах. Описывается микропрограммное решение проблемы упрятывания и восстановления содержимого регистров в экстракодах и прерываниях с использованием запасных групп регистров.

Обработка прерываний является процедурой, занимающей заметное время ЦП. Для уменьшения этого времени часть прерываний обрабатывается микропрограммно. В случае внутренних прерываний информация о прерванном процессе, доступная микропрограмме и необходимая для его обработки, переписывается в рабочие регистры процесса обработки прерываний перед входом в прерывание.

Все прерывания МКБ в зависимости от способа их обработки

делятся на внешние, внутренние и псевдопрерывания. Главная задача микропрограммы, начинающей работать от прерывания - сохранить состояние прерванного процесса. Но прерывание микропрограммы в любой точке в процессе ее исполнения может привести к необходимости сохранения большого количества информации, относящейся как к машинному, так и к микромашинному уровню. В работе делается обоснование выбора точки входа в прерывание для каждого класса прерываний, минимизирующее потребности в области хранения.

Обработка псевдопрерываний происходит на микропрограммном уровне. В эту группу входит прерывание для пересчета приоритетов страниц, используемое для поддержки процедуры управления памятью. Идея алгоритма пересчета приоритетов страниц аналогична существовавшему на ЭВМ БЭСМ-6, но реализована микропрограммно с аппаратной поддержкой, что дает значительный выигрыш во времени.

Обработка внешних и внутренних прерываний происходит на уровне операционной системы. Процесс обработки прерываний в системе является обычным процессом с фиксированной группой регистров. Внутренние прерывания исполняются безусловно и имеют более высокий приоритет по сравнению с внешними. Внешние прерывания исполняются при отсутствии их блокировки.

В 4.5. описывается обмен информацией с пультовым процессором. Каждому регистру и всем адресам внутренней памяти ЦП дан некий условный номер, который задается при обращениях пультового процессора и используется для определения адреса микропрограммы доступа к соответствующему регистру.

Пятая глава посвящена в основном вопросам изменения архитектуры МКБ для эмуляции БЭСМ-6 и Эльбрус-Б с применением микропрограммирования.

В 5.1. обсуждаются вопросы эффективности микропрограммного уровня для эмуляции одной или нескольких машин, рассматриваются задачи, которые необходимо решить при разработке эмулятора.

В 5.2. описывается эмуляция ЭВМ БЭСМ-6, приводятся особенности создаваемого эмулятора. В 5.2.1. рассматривается микропрограммный уровень МКБ для эмуляции БЭСМ-6. Увеличение аппаратуры специально для реализации режима эмуляции (РЭ) БЭСМ-6 очень незначительно и сводится в основном к схеме

выделения адреса и кода операции команды, поскольку разрядность слова и форматы команд различны. Все остальное реализуется микропрограммно.

В 5.2.2. рассматриваются особенности традиционного машинного уровня для эмуляции БЭСМ-6. Приводится представление чисел с плавающей запятой в режиме эмуляции, где граница между мантиссой и порядком в МКБ и БЭСМ-6 совпадают. Такое представление дает возможность:

а) производить арифметические операции одинаковым способом (в основном по одним и тем же микропрограммам) как в новом режиме, так и в режиме эмуляции БЭСМ-6;

б) расширять диапазон порядков и увеличивать точность вычислений в режиме эмуляции.

Структура команд эмулятора такая же, как в БЭСМ-6. Размещаются 2 команды в одном 64-разрядном слове в тех же позициях, что и числа. Это решение продиктовано тем, что многие программы БЭСМ-6 занимаются самомодификацией.

В 5.2.3. рассматриваются определенные трудности, связанные с повышением точности в РЭ в операциях смешанной арифметики, когда результат в формате с плавающей запятой употребляется в качестве операнда логических команд. При этом возможны потери "сильно значащих" разрядов порядка. Приводится способ микропрограммного контроля подобных ситуаций.

В 5.3. обсуждаются проблемы эмуляции Эльбрус-Б. Эльбрус-Б и МКБ БЭСМ-подобные машины. Хотя исполнение их совершенно различное, на уровне пользователя у них много общего. Поэтому реализация системы команд Эльбрус-Б в основном не представляет сложности. Некоторые команды при необходимости могут интерпретироваться экстракодами.

В 5.4. рассматриваются вопросы использования микропрограммирования при работе на линии с экспериментальным и технологическим оборудованием.

В 5.5. рассматривается методика подбора длительности микропрограммного такта, обсуждаются вопросы эффективности микропрограммирования, приводятся примеры использования микропрограммного уровня в МКБ для нужд операционной системы и для повышения ее эффективности.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Заключение. Основные результаты.

1. Разработана методика создания и настройки ЭВМ с использованием микропрограммирования, заключающаяся в проверке архитектуры на программных моделях, создании комплекса микропрограммных средств для обеспечения заданной архитектуры и модификации микропрограмм для изменения архитектуры с целью настройки ее на решение конкретных задач. Вклад автора в эти работы кроме специально оговоренных мест является определяющим.

При этом:

- для изучения архитектуры разрабатываемой ЭВМ создана программа-имитатор, которая является также частью кросс-системы подготовки программ;

- проводилось логическое моделирование всех функциональных узлов ЦП МКБ-8601 с целью его исследования; моделирование процессора в целом, когда управление всеми компонентами модели происходит из памяти микропрограмм, осуществлялось диссертантом;

- создан комплекс микропрограммных тестов, позволяющий проверить все функциональные блоки создаваемой ЭВМ.

2. На основании этой методики была спроектирована и построена ЭВМ МКБ-8601, которая кроме основного режима с расширенным списком команд может работать в системе команд ЭВМ БЭСМ-6, т.е. эксплуатировать практически весь комплекс программных средств, существующих для этой ЭВМ. Возможно совмещение основного режима и режима БЭСМ-6 в пределах одной программы.

3. Разработанная ЭВМ имеет структуру, хорошо приспособленную для решения вычислительных задач. Ее система команд совместима с вычислительной системой Эльбрус-Б, поэтому МКБ-8601 можно использовать для создания программ для ЭВМ Эльбрус-Б.

4. Архитектура МКБ-8601 создана с использованием метода микропрограммирования, причем обеспечены аппаратные и программные средства увеличения набора микропрограмм. Это позволяет расширять возможности ЭВМ в соответствии со спецификой определенного класса задач. Например, выносить на микропрограммный уровень часто повторяющиеся последовательности команд.

5. Обработка прерываний на микропрограммном уровне

позволяет обеспечить быструю реакцию при работе ЭВМ на линии с экспериментальным и технологическим оборудованием. Это доказывает целесообразность применения микропрограммных методов при создании управляющей и диагностической аппаратуры.

6. Микропрограммно реализована арифметика с плавающей запятой для режима эмуляции БЭСМ-6, позволяющая проводить вычисления с большей точностью и в расширенном диапазоне порядков.

7. Реализована аппаратно - микропрограммная поддержка многопроцессорного режима работы с помощью семафорных команд и мультипрограммного режима с использованием регистрового пула, обеспечивающая быстрое переключение процессов.

8. Впервые на микропрограммном уровне реализован созданный в ОИЯИ алгоритм пересчета приоритетов страниц для поддержки управления памятью.

9. Для заводского изготовления ЭВМ подготовлена документация и передана в НПО "Радиоприбор", г. Москва.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А. Л. Давыдов, И. А. Емелин, В. М. Кадыков, О. Н. Ломидзе, Ф. В. Левчановский, М. Ю. Попов, А. П. Сапожников, Т. Ф. Сапожникова, И. Н. Силин, Принципы организации и архитектура процессора - эмулятора МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Б1-11-88-442, 1988.

2. Т. Ф. Сапожникова, Программный эмулятор спецпроцессора МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Б2-11-88-891, 1988.

3. И. А. Емелин, В. М. Кадыков, Ф. В. Левчановский, М. Ю. Попов, А. П. Сапожников, Т. Ф. Сапожникова, И. Н. Силин, Архитектурные особенности МКБ-8601, интегральной ЭВМ ряда БЭСМ-6. - Дубна, ОИЯИ, Р11-91-43, 1991.

4. Ф. В. Левчановский, Т. Ф. Сапожникова, А. П. Сапожников, И. Н. Силин, Логическое моделирование процессора МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Р11-91-44, 1991.

5. Ф. В. Левчановский, Т. Ф. Сапожникова, Микропрограммное тестирование центрального процессора и памяти в МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Р11-91-45, 1991.

6. Т. Ф. Сапожникова, Микропрограммная реализация системы команд МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Р11-91-46, 1991.

7. Я. М. Даматов, Т. Ф. Сапожникова, Программный тест для наладки и контроля блока памяти в стандарте КАМАК. - Дубна, ОИЯИ, Р11-10859, 1977.

8. Я. М. Даматов, Т. Ф. Сапожникова, Р. Шюсслер, Тестирование 4-разрядного микропроцессорного элемента. - Автоматика и вычислительная техника, N2, Рига, "Зинатне", 1980.

9. Н. А. Водопьянова, Я. М. Даматов, Н. М. Никитюк, А. И. Номоконова, Т. Ф. Сапожникова, В. Н. Семенов, А. А. Хошенко, В. П. Шириков, Р. Шюсслер, Применение 16-разрядного микропроцессорного контроллера в стандарте КАМАК для цифрового регулирования. Proceedings of the Symposium on microcomputer and microprocessor application. Budapest, 17-19 October, 1979, Vol. 11, p. 689-696.

10. Я. М. Даматов, Н. М. Никитюк, Т. Ф. Сапожникова, Р. Шюсслер, Система команд и пульт оператора микропроцессорного контроллера М-16. - Дубна, ОИЯИ, 11-80-72, 1980.

11. Я. М. Даматов, Н. М. Никитюк, Т. Ф. Сапожникова, Р. Шюсслер, Микропроцессорный контроллер М-16. - Электронная промышленность, N=7, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел

5 января 1992 года.