

4 - 498  
**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**УДК 681.323 : 539.184**

**10-88-772**

**ЧЕРНЯК**  
**Александр Юльевич**

**ЛОКАЛЬНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
С ВСТРОЕННЫМИ МИКРОПРОЦЕССОРАМИ**

**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 1988**

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и Воронежском государственном университете.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,  
профессор

С.Г.КАДМЕНСКИЙ

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук,  
профессор

П.Н.ЗАЙКИН

Кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

И.М.САЛАМАТИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт ядерных исследований АН УССР, Киев

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 198\_\_ года 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 "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 198\_\_ года.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета,  
кандидат физико-математических наук:

*Ивоз* З.М.ИВАНЧЕНКО

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Использование средств автоматизации на основе вычислительной техники позволяет существенно улучшить характеристики различных методов решения научных и производственных задач. Автоматизация научных исследований (АНИ) является комплексной междисциплинарной проблемой, в которой, как и в любой отрасли знаний, можно выделить три этапа:

- эвристический подход;
- систематизация и анализ;
- синтез систем с требуемыми характеристиками.

В настоящее время происходит переход от первого этапа к систематизации и анализу общей методологии создания систем: получили широкое распространение модульные системы, удовлетворяющие международным стандартам, магистрально-модульный принцип стал основополагающим, особенно в связи с внедрением микропроцессорной техники. Для дальнейшего успешного развития систем автоматизации необходимо внедрение адекватного современного модульного программирования.

Особенно важное значение приобретает АНИ в ядерно-физических исследованиях, проведение которых практически невозможно без комплексной автоматизации. В области физики низких энергий на текущий момент создано довольно много различных спектрометрических систем, которые имеют в своем составе встроенные микропроцессоры или работают на линии с универсальной ЭВМ.

Микропроцессорные системы обладают высокой надежностью, однако пока они остаются уникальными изделиями, в основном, из-за дефицита инструментальных средств разработки и сопровождения программного обеспечения (ПО). Актуальность работы определяется большой потребностью в микропроцессорных системах для автоматизации спектрометрических экспериментов в научных исследованиях и народном хозяйстве.

Целью работы является разработка ПО локальных модульных спектрометрических систем на базе микро-ЭВМ семейства "Электроника" и аппаратуры в стандарте КАМАК. Исходя из этого основными задачами являются:

- создание инструментального комплекса для разработки встроенных систем;
- разработка спектрометрических систем для проведения одно- и многомерных измерений;

- объединение локальных систем в многомашинный спектрометрический комплекс.

#### Научная новизна

1. Создан многопользовательский инструментальный комплекс для разработки на языке программирования Модуль-2 ПО систем АНИ с встроенными микро-ЭВМ семейства "Электроника".
2. Для подключения целевых систем к инструментальной ЭВМ разработано устройство, защищенное а.с. СССР /2/.
3. Реализованы две микропроцессорные встроенные системы, ПО которых разработано на языке Модуль-2 и размещено в ПЗУ.
4. Созданы аппаратные средства для расширения функциональных возможностей ЭВМ семейства "Электроника": диспетчер памяти, устройство для ввода стартовой информации и регенератор динамической памяти (два последних защищены а.с. СССР) /3,5,6/.
5. Разработана оперативная информационно-справочная система, использующая специальный компилятор для создания и обновления базы данных.

Практическая ценность. Созданный инструментальный комплекс обеспечивает одновременную разработку нескольких целевых встроенных систем на основе микро-ЭВМ семейства "Электроника". В рамках данной работы комплекс использован для разработки одномерной и многомерной спектрометрических систем. Кроме того, в ВГУ с 1985 года на нем выполняются хозяйственные НИР по созданию АСУ ТП. На основе аппаратного и программного обеспечения комплекса создана многомашинная система тестирования микро-ЭВМ и учебный дисплейный класс.

Одномерная спектрометрическая система позволяет в диалоговом режиме управлять накоплением спектров, осуществлять их визуальное наблюдение, обработку методом моментов, корректировку по переполнениям и сбоям, калибровку, а также долговременное хранение на магнитной ленте. С мая 1986 года система используется в ВГУ для радиоэкологических исследований.

Многомерная спектрометрическая система обеспечивает накопление многопараметрических событий в ходе эксперимента, их сортировку по выбранным сечениям в режимах on- и off-line и осуществляет предварительную обработку полученных спектров. Версия системы, эксплуатируемая с января 1987 года на установке МАТЧ проекта ЯСНАПП-2 (ЛЯП ОИЯИ), обеспечивает регистрацию до 600 двумерных событий в секунду при па-

раллельной записи на НМЛ и до 2500 - без записи. Емкость магнитной ленты - 2 миллиона событий, число цифровых окон в памяти ЭВМ - 20 (по 4096 каналов).

Двухуровневый комплекс позволяет одновременно проводить в единой идеологии независимые эксперименты по изучению энергетических и временных спектрометрических распределений на нескольких экспериментальных установках. В настоящее время многомашинный комплекс широко используется в учебном процессе и научных исследованиях в ВГУ.

Разработанное ПО может быть легко адаптировано для любой ЭВМ, оснащенной транслятором с языка программирования Модуль-2 или Паскаль. Например, информационно-справочная система успешно эксплуатируется на персональных ЭВМ Повец-16 (в ОИЯИ) и "Электроника-85" (в ВГУ).

Апробация. Основные положения работы докладывались и обсуждались на VII Всесоюзной конференции по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях (Москва, 1983 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Программные средства как продукция производственно-технического назначения" (Калинин, 1985 г.), Всесоюзном совещании по компьютерной оптике (Звенигород, 1986), XXXVII совещании "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра" (Ирмала, 1987 г.), I Всесоюзной научно-технической конференции "Системный анализ и управление в задачах использования минерально-сырьевых ресурсов, утилизации отходов и охраны окружающей среды" (Ереван, 1988 г.), XXII Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Тольятти, 1988 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 83 наименований, содержит 140 страниц машинописного текста, включая 30 рисунков и 8 таблиц.

Публикации. По результатам выполненных исследований и разработок опубликовано 10 работ, список которых приведен в конце автореферата.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена инструментальным средствам разработки микропроцессорных спектрометрических систем. Обсуждаются основные

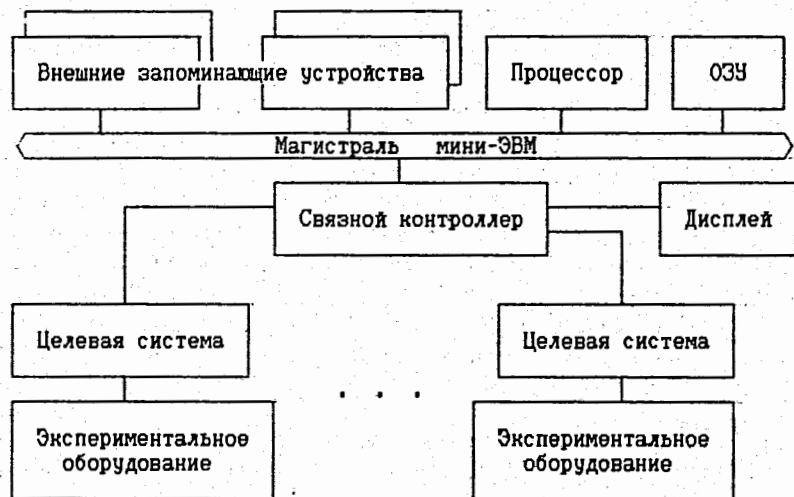


Рис.1. Структурная схема многомашинного комплекса

требования, предъявляемые к языкам программирования встроенных систем, анализируется ход эволюции языков программирования высокого уровня, обосновывается выбор созданного Н.Виртом языка Модула-2, унаследовавшего лучшие черты своих предшественников (Паскаля и Модуль).

Разработанный инструментальный комплекс, структурная схема которого приведена на рис.1, предназначен для создания встроенных систем на базе микро-ЭВМ семейства "Электроника". Для поддержки функционирования инструментальной системы программирования Модула-2 используется центральная ЭВМ, оснащенная внешними запоминающими устройствами, на которой в режиме разделения времени осуществляется разработка ПО. Отладка программ из-за специфики аппаратного окружения и трудности имитации задач реального времени проводится на целевых ЭВМ, соединенных с инструментальной линией связи.

Отмечается, что потребительские качества инструментального комплекса в значительной степени определяются параметрами его единственного постоянного компонента - центральной ЭВМ, аппаратные и программные средства которой должны обеспечивать высокую производительность и максимальный комфорт при разработке. Используемая система программирования определила выбор операционной системы - Т5-монитора РАЮСа. Описаны два варианта реализации комплекса - на основе мини-ЭВМ "Электроника 100-25" и микро-ЭВМ МС1212.

Обсуждается выбор формата данных и протокола обмена по линии связи при пересылке загрузочного файла для отладки и образа памяти в случае аварии целевой ЭВМ. Приведено описание разработанного для этого ПО. Программная поддержка целевой ЭВМ размещается в специальном ПЗУ и обеспечивает разработчику доступ ко всем ресурсам как инструментальной, так и целевой ЭВМ.

Рассмотрены вопросы распределения и организации памяти встроенных микропроцессорных систем, способы использования различных типов ПЗУ и связанные с этим особенности разработанного инструментального программного и аппаратного обеспечения.

Описываются аппаратные средства, разработанные для использования в инструментальном комплексе. Многоканальный контроллер последовательного обмена позволяет с минимальными затратами подключать к центральной ЭВМ большое число линий связи. Имитатор ПЗУ предназначен для тестирования ПО, разрабатываемого для последующего размещения в ПЗУ.

Во второй главе рассматриваются вопросы, связанные с созданием модульных диалоговых систем, предназначенных для сбора, накопления и предварительной обработки спектротрической информации. Разработанная система, структурная схема которой приведена на рис.2, содержит микро-ЭВМ "Электроника-Б0" и набор внешних устройств, подключенных через интерфейсы в стандарте КАМАК\*.

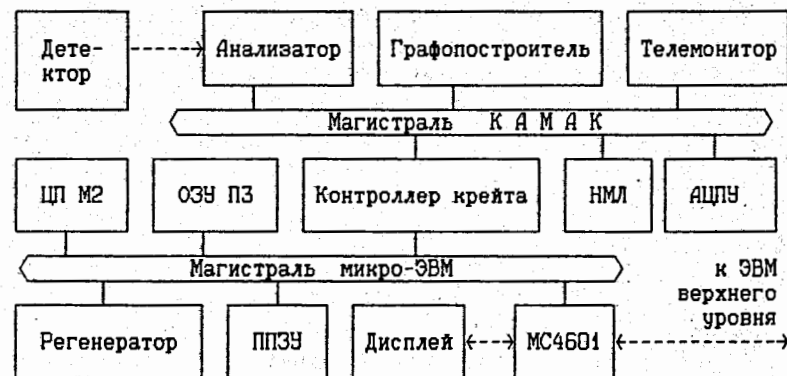


Рис.2. Структурная схема одномерной системы

\*Цифровые блоки в стандарте КАМАК. Выпуск УИИХ-Х, 10-80-650, 10-81-755, 10-82-844.- Дубна: ОИЯИ, 1980-1982.

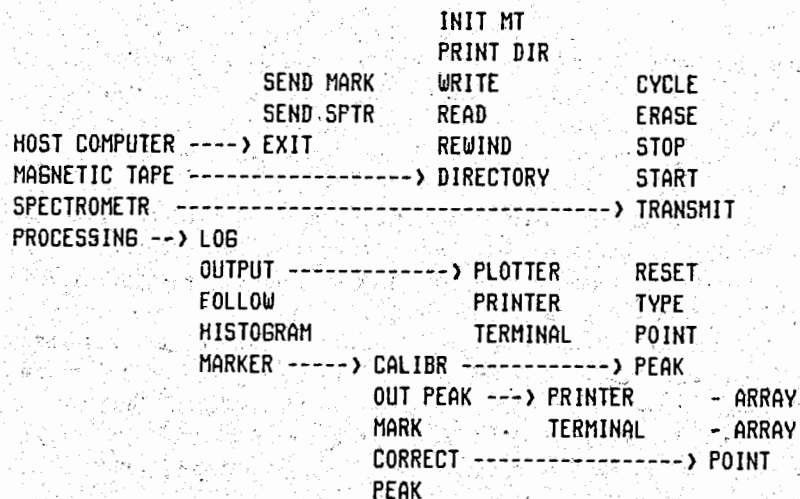


Рис.3. "Дерево меню" одномерной системы

Особое внимание при создании системы уделено организации удобного диалога с оператором. Стратегическое управление системой осуществляется с помощью легкого в освоении иерархического меню (рис.3). В то же время, для выполнения часто повторяемых действий зарезервированы специальные клавиши.

В системе использованы модули автономного 4096-канального амплитудного анализатора, установленные в управляемом ЭВМ крейте. Оператор может разрешить или запретить работу АЦП анализатора, очистить его память, переслать в ОЗУ ЭВМ накопленный или накапливаемый спектр, запустить режим циклического накопления со сбросом спектров на магнитную ленту.

Использование в системе накопителя CM5300 позволяет хранить на стандартной бобине до 600 спектров, снабженных символическими идентификаторами. Система обеспечивает последовательное чтение и запись информации, перемотку к началу, инициализацию магнитной ленты и выдачу оглавления. Мертвое время при осуществлении регенерации динамической памяти процессором ЭВМ "Электроника-60" слишком велико для непосредственного управления магнитной лентой. В связи с этим в работе обсуждаются проблемы регенерации динамической памяти в системах реального времени, описывается устройство, разработанное для этих целей, приводятся его характеристики при различных режимах работы.

В системе предусмотрены развитые средства графического отображения и обработки накопленной информации. Оператор может просматривать на экране графического дисплея участки спектра размером от 16 до 4096 каналов в линейном или логарифмическом масштабе, в виде отдельных точек или гистограммы. Отображаемый участок спектра может быть выведен на графопостроитель или распечатан на АЦПУ. Система позволяет в диалоговом режиме осуществлять обработку спектров методом моментов, проводить корректировку по перепополнениям и сбоям, линейную энергетическую калибровку и разметку для последующей обработки на центральной ЭВМ.

ПО системы состоит из 17 модулей. В работе приведены их определяющие части, описаны принципы реализации и отличительные особенности. Модули нижнего уровня являются драйверами внешних устройств системы: пультового терминала, графического дисплея, графопостроителя, АЦПУ, НМЛ, многоканального анализатора, таймера и интерфейса связи с центральной ЭВМ. Средний уровень составляют вспомогательные и функциональные модули: символьный ввод-вывод, ввод-вывод чисел, обработчик исключительных ситуаций, библиотека математических функций, модуль графического отображения и обработки спектра. Верхний уровень представляет мониторный модуль.

Обсуждаются способы запуска системы при включении питания. Приведено описание специально разработанного устройства для автоматического ввода стартовой информации.

В третьей главе излагаются вопросы, связанные с созданием микропроцессорных систем для организации многомерных измерений. Разработанная система, структурная схема которой приведена на рис.4, представляет собой дальнейшее развитие одномерной системы. Для эффективной реализации многомерных измерений применена современная высокопроизводительная микро-ЭВМ MC1212, позволяющая наращивать объем ОЗУ до 4 Мбайт. Многомерные измерения поддерживаются комплексом программных средств, что позволяет легко адаптировать систему к конкретному эксперименту, не изменяя ее конфигурации.

Описывается версия системы, предназначенная для работы с координатно-чувствительной камерой большого магнитного спектрометра, регистрирующего координату пролета частицы и ее потери энергии. Информация накапливается в 22-х 4096-канальных спектрах: 2 интегральных спектра (X и E) и 20 цифровых окон (W1, ... W20). Кроме того, все зарегистрированные события могут быть записаны на магнитную ленту для последующей сортировки с различными наборами установленных окон.

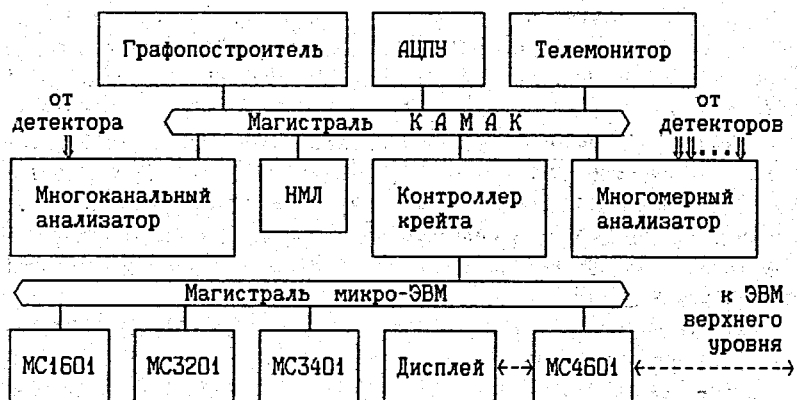


Рис.4. Структурная схема многомерной системы

Для облегчения обработки результатов многомерных измерений (учет фона, определение периода полураспада и т.д.) предусмотрено вычисление суммарных и разностных спектров с поправочными коэффициентами. Диалог с оператором в этом режиме осуществляет интерпретатор специально разработанного языка со следующим синтаксисом:

команда = [операция] [множитель] источник [делитель] .  
 операция = "A+" | "A-"  
 множитель = целое .  
 источник = "X" | "E" | "W" целое .  
 делитель = "/" целое .  
 целое = цифра {цифра} .  
 цифра = "0" | "1" | "2" | ... | "9" .

Рассматриваются вопросы рационального использования виртуального и физического адресного пространства ЭВМ, программирования параллельных процессов в системе. Описываются разработанный планировщик процессов, использующий внутренний таймер микро-ЭВМ, и модуль управления памятью, позволяющий в зависимости от режима работы переключать различные области данных (физические банки памяти) в выделенных для них виртуальных адресах.

Для реализации многомерных систем на основе широко распространенной микро-ЭВМ "Электроника-60" разработан простой диспетчер памяти, позволяющий увеличить объем адресуемой памяти до 160 Кбайт.

В четвертой главе описывается двухуровневый многомашинный спектрометрический комплекс. Отмечается, что, так как основной объем эк-

спериментальных данных хранится и предварительно обрабатывается в автономных спектрометрах, в комплексе не требуется применения высокопроизводительной центральной ЭВМ и скоростных каналов связи. При создании комплекса были использованы аппаратные и программные решения, описанные в первой главе, что позволяет использовать один и тот же комплект оборудования как для разработки новых систем, так и для эксплуатации уже существующих.

Прикладное ПО центральной ЭВМ включает служебные утилиты для обеспечения обмена информацией в сети, пакеты прикладных программ для окончательной обработки и анализа спектрометрических данных, информационно-справочные системы. Работа со всеми компонентами ПО доступна экспериментатору любого автономного спектрометра, включенного в комплекс. Интерфейс пользователя скрывает сложный протокол обмена с центральной ЭВМ, которая представляется органической составной частью ЭВМ нижнего уровня.

В работе описывается специально разработанная для использования в двухуровневом спектрометрическом комплексе информационно-справочная система. Отмечается, что такая система должна обеспечивать надежную защиту справочной информации и малое время доступа к ней, иметь простой интерфейс с пользователем, доступный непрофессионалу. Эти требования определили три формы представления информации в системе: исходные текстовые файлы, рабочий банк и справочные данные.

Исходные данные об отдельном элементе хранятся в текстовом файле, который создается и корректируется обычным редактором текстов в соответствии со следующим синтаксисом:

файл = заряд { нуклид } "\*" .  
 заряд = "Z=" целое .  
 нуклид = масса { изомер } .  
 масса = "A=" целое .  
 изомер = полупериод доля { переход } .  
 полупериод = "T=" ( "?" | число размерность ) .  
 размерность = "th" | "γ" | "d" | "h" | "m" | "s" | "ms" | "mcs" | "ns" | "ps" .  
 доля = "P=" ( "?" | число ) .  
 переход = энергия интенсивность .  
 энергия = "E=" целое "(" погрешность ")" .  
 погрешность = "?" | целое .  
 интенсивность = "I=" ( "?" | число ) .  
 число = целое [ "." целое ] .

Исходные файлы обрабатываются компилятором, который осуществля-

ет синтаксический контроль и преобразование данных во внутренний формат и размещает их в рабочем банке. Рабочий банк доступен пользователю только для получения справочных данных с помощью специальной диалоговой программы, обеспечивающей выдачу информации о характеристиках нуклидов в заданном диапазоне значений заряда и массы ядра, энергии перехода и периода полураспада. Приведено описание разработанных программ, а также методики создания на языке программирования Модуля-2 универсального прикладного ПО, функционирующего под управлением операционной системы.

В конце главы обсуждаются вопросы, связанные с использованием в качестве центральной ЭВМ более производительных моделей и персональных ЭВМ, способы подключения аппаратуры управления экспериментальным оборудованием. Отмечается, что относительная автономия спектрометрических систем позволяет в широких пределах изменять конфигурацию многомашинного комплекса.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Исследованы вопросы использования языка программирования высокого уровня Модуля-2 для создания ПО встроенных микропроцессорных систем АНИ (в том числе ПО, размещаемого в ПЗУ). На примере разработки встроенных спектрометрических систем и обычного прикладного ПО показано, что Модуль-2 позволяет конструировать программную среду разработки адекватно решаемой задаче.

2. Создан инструментальный комплекс для разработки встроенных микропроцессорных систем на базе ЭВМ семейства "Электроника":

- обоснована методика разработки, создана соответствующая структура комплекса и осуществлен выбор нескольких вариантов аппаратного обеспечения;

- разработано защищенное а.с. устройство для подключения к центральной ЭВМ целевых систем;

- осуществлена адаптация системы программирования Модуля-2;
- разработаны аппаратные и программные средства для компоновки и отладки ПО, предназначенного для размещения в ПЗУ.

3. Разработана модульная диалоговая система на базе микро-ЭВМ класса "Электроника-60" и аппаратуры в стандарте КАМАК для проведения одномерных спектрометрических экспериментов:

- осуществлен и обоснован выбор аппаратных средств;
- разработаны принципы организации диалога с оператором;

- исследованы проблемы регенерации динамической памяти и создано устройство для регенерации, защищенное а.с.;

- разработано ПО системы (драйверы внешних устройств, вспомогательные и функциональные модули, монитор);

- разработано защищенное а.с. устройство для ввода стартовой информации при запуске системы.

4. Разработана встроенная микропроцессорная система для проведения многомерных измерений:

- осуществлен и обоснован выбор базовой ЭВМ и аппаратуры накопления событий в ходе эксперимента;

- разработано ПО многомерного анализатора, обеспечивающее накопление событий в ходе эксперимента, их on- и off-line сортировку по выбранным сечениям и выполнение арифметических операций с полученными спектрами;

- исследованы вопросы распределения виртуальной памяти и организации параллельных процессов;

- для реализации системы на базе микро-ЭВМ класса "Электроника-60" создан простой диспетчер памяти.

5. Разработан двухуровневый многомашинный комплекс, включающий центральную ЭВМ и несколько одно- и многомерных микропроцессорных спектрометров, который позволяет проводить в единой идеологии несколько независимых спектрометрических экспериментов.

6. Реализована информационно-справочная система для оперативного получения справочной информации о характеристиках распада радиоактивных нуклидов.

#### Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Калечиц В.Е., Черняк А.Ю. Многоканальный контроллер последовательного обмена// Тез. докл. VII Всесоюз. конф. по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Часть III/ МЭИ.- М., 1983.- с.8-10.

2. А.с. 1140125 СССР. Устройство для сопряжения вычислительной машины с каналами связи/ В.Е.Калечиц, А.Ю.Черняк.- Оpubл.30.03.83, Бюл. № 6.

3. Черняк А.Ю. Диспетчер памяти для микро-ЭВМ "Электроника 60М"// Приборы и техника эксперимента, 1985, № 3, с. 98-99.

4. Черняк А.Ю. Технологический комплекс для разработки программного

- обеспечения встроенных систем // Программные средства как продукция производственно-технического назначения/ Центрпрограммсистем.- Калинин, 1985, с. 70-71.
5. А.с. 1246136 СССР. Устройство для регенерации динамической памяти/ Черняк А.Ю.- Оpubл. 23.07.86, Бюл № 27.
  6. А.с. 1254496 СССР. Устройство для ввода стартовой информации/ Черняк А.Ю.- Оpubл. 30.08.86, Бюл. № 32.
  7. Модульная диалоговая спектрометрическая система на ЭВМ "Электроника-60" с программным обеспечением, резидентным в ПЗУ/ А.Ю.Черняк, В.Б.Бруданин, В.М.Вахтель, В.М.Горожанкин, К.С.Рыбак.- Препринт ОИЯИ Р10-86-152.- Дубна, 1986.
  8. Черняк А.Ю. Многомашинный комплекс для разработки программного обеспечения АСНИ// Применение ЭВМ в научных исследованиях и управлении/ ВЗМИ.- М., 1986.- с.55-58.
  9. Многомашинный комплекс для спектрометрии/ В.Б.Бруданин, В.М.Вахтель, В.М.Горожанкин, К.С.Рыбак, А.Ю.Черняк, В.Г.Чумин//. Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра: Тез. докл. XXXVII совещ.- Л.: Наука, 1987, с. 538.
  10. Черняк А.Ю. Использование Модулы-2 для разработки встроенных систем с программной поддержкой в ПЗУ//. Компьютерная оптика/ МЦНТИ.- М., 1987, вып.2.- с. 62-63.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 октября 1986 года.