

Н-632

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 681.3

10-85-806

НИКОЛАЕВ
Валерий Павлович

**КОМПЛЕКС АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
КОЛЛЕКТИВНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Специальность : 05.13.06 - автоматизированные
системы управления

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель —
кандидат технических наук

В.Д.ИНКИН

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
доктор технических наук

Ю.А.КАРЖАВИН

В.М.ЦУПКО-СИТНИКОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва)

Защита диссертации состоится "___" _____ 198__ г. в
___ час. на заседании Специализированного совета Д.047.01.04
при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ,
г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан "___" _____ 198__ г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь

Специализированного совета

кандидат физико-математических наук Э.М.ИВАНЧЕНКО

Актуальность. При создании новых и модернизации действующих ускорителей заряженных частиц большое внимание уделяется проблеме разработки систем автоматизированного управления ускорительными установками с применением ЭВМ. При этом создаваемые управляющие системы ориентируются на повышение эффективности работы ускорителей, сокращение времени на поиск и оптимизацию режимов их работы, улучшение характеристик пучков заряженных частиц. В настоящее время во всем мире проявляют интерес к ускорителям тяжелых ионов. Интерес этот связан с тем, что использование пучков тяжелых ионов дает возможность решать ряд важных проблем, среди которых можно назвать: синтез трансурановых элементов, новые направления в изучении ядра и свойств элементарных частиц, многочисленные прикладные применения пучков тяжелых ионов в материаловедении, биологии, медицине и т.д. Определенные возможности создания эффективных систем ускорения тяжелых ионов обеспечивает коллективный метод ускорения тяжелых ионов. В связи с работами по созданию в ОИЯИ коллективного ускорителя тяжелых ионов актуально встает вопрос исследования и разработки системы автоматизированного управления таким ускорителем.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка средств и методов автоматизированного управления коллективным ускорителем тяжелых ионов с применением ЭВМ и микро-ЭВМ. Работа выполнялась в отделе новых методов ускорения ОИЯИ с 1977 по 1985 гг. на прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов (ПКУТИ) и на коллективном ускорителе тяжелых ионов (КУТИ-20).

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Разработаны, созданы и исследованы системы на линии с ЭВМ стабилизации временного положения ускоряющих импульсов линейного индукционного ускорителя электронов СИЛУНД и измерения формы и параметров импульсов наносекундной длительности, характеризующих режим его работы.

- Предложены алгоритмы, разработаны, созданы и исследованы системы на линии с ЭВМ для оптимизации режима фокусировки пучка электронов в линейном индукционном ускорителе электронов СИЛУНД и оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе ПКУТИ.

- Разработана и исследована удлиненная ветвь КАМАК, включенная в структуру системы управления ПКУТИ с применением ЭВМ.

- Разработана, создана и исследована система синхронизации коллективного ускорителя тяжелых ионов КУТИ-20 с применением микро-ЭВМ, обеспечивающая: управление КУТИ-20, связь с центральной ЭВМ системы управления СМ-4, возможность хранения и воспроизведения режимов син-

хронизации КУТИ-20; возможность оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе КУТИ-20 и стабилизации временного положения ускоряющих импульсов линейного индукционного ускорителя СИЛУНД-20, импульсов инфлектора и корректора; возможность параллельного управления каналами системы синхронизации оператором ускорителя, управляющими алгоритмами, реализованными на СМ-4, оптимизирующей процедурой в микро-ЭВМ. Осуществляется диагностика ошибок: неправильного обращения оператора, обмена сообщениями с СМ-4, неисправностей системы.

С применением методов целочисленной арифметики реализован алгоритм регулирования вида $D(z) = \frac{1}{1-d} \frac{z-d}{z}$ на микро-ЭВМ с микропроцессором КР580ИЖ80А в замкнутом контуре регулирования, проведено исследование регулятора на аналоговой модели процесса управления вакуумом в КУТИ-20 и экспериментально определено время выполнения алгоритма регулирования, что дает оценку минимального периода дискретизации T в таких системах.

Практическая ценность работы. Разработанная система синхронизации КУТИ-20 является одной из основных составных частей ускорителя, формирующей временную программу его работы. Внедрение систем автоматической стабилизации временного положения ускоряющих импульсов линейных индукционных ускорителей СИЛУНД и СИЛУНД-20 устранило аperiodическую нестабильность временного положения этих импульсов, освободило операторов ускорителей от трудоемкой и длительной процедуры синхронизации генераторов ускоряющих импульсов вручную. Разработанные системы оптимизации обеспечивают автоматизированную настройку режимов работы, при этом существенно сокращается время настройки. Удлиненная ветвь КАМАК обеспечивает обмен информацией между ЭВМ IOOTPA-1 и подсистемами системы управления ПКУТИ.

Исследованный регулятор может быть использован в системе управления вакуумом КУТИ-20, а также в различных системах управления технологическими процессами, легко реализуем на основе микро-ЭВМ с ограниченными вычислительными возможностями.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при создании систем управления линейными индукционными ускорителями и коллективными ускорителями тяжелых ионов.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы были использованы при создании систем управления с применением ЭВМ и микро-ЭВМ прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов и коллективного ускорителя тяжелых ионов КУТИ-20. Эксплуатация систем показала эффективность предложенных средств и методов автоматизированного управления.

Апробация. Результаты работы докладывались на 6-й Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ" (Новосибирск, 1981 г.), XI и XII Международных симпозиумах по ядерной электронике (г. Братислава, 1983 г. и г. Дубна, 1985 г.), на 4-м Международном симпозиуме по применению микропроцессоров и микрокомпьютеров (Будапешт, 1985 г.), обсуждались на семинарах отдела новых методов ускорения и отражены в публикациях в журнале "Приборы и техника эксперимента", в сообщениях ОИИИ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, содержит 122 страницы текста, 52 рисунка, 2 таблицы и список литературы из 81 наименования.

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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, а также перечислены наиболее важные результаты, их новизна и практическая ценность.

В первой главе рассматриваются задачи, особенности структуры систем управления ускорителями с применением ЭВМ, обсуждаются вопросы обеспечения требуемой надежности управляющих систем. Отмечается, что несмотря на различие типов ускорителей, их размеров, выполняемой физической программы, конкретных парков ЭВМ, можно выделить ряд общих задач, возлагаемых на системы управления с применением ЭВМ. В практике создания систем управления ускорителями имели место централизованные структуры на основе одной ЭВМ, централизованные структуры с автономными подсистемами, децентрализованные структуры, состоящие из сети ЭВМ. В настоящее время наметилась общая тенденция в построении систем управления ускорителями с применением ЭВМ, которая состоит в использовании модульного конструктива КАМАК в аппаратной части, применения ЭВМ, программно совместимых с СМ-4 в качестве центральных машин и в использовании микро-ЭВМ на нижнем уровне для организации непосредственного взаимодействия с аппаратурой. На первом этапе внедрения системы управления решаются задачи сбора и отображения информации о параметрах ускорителя и использования этой информации для настройки режимов его работы. По мере накопления знаний об ускорителе и разработки алгоритмов автоматического управления организуются и развиваются замкнутые контуры регулирования с включением в работу этих контуров ЭВМ системы управления.

Для того чтобы внедрение системы управления ускорителем с применением ЭВМ действительно приводило к повышению эффективности работы ускорителя, необходимо обеспечить достаточную надежность самой управляющей системы.

Вторая глава посвящена системе управления с применением ЭВМ IООI ТРА-і прототипа коллективного ускорителя тяжелых ионов. Это централизованная система управления на основе одной ЭВМ. При разработке подсистем системы управления ПКУТИ автором диссертации был исследован и решен ряд структурных, технологических и функциональных проблем, связанных с разработкой методов принятия решений по автоматизированному управлению линейным индукционным ускорителем электронов СИЛУНД и ПКУТИ с включением ЭВМ в замкнутые контуры регулирования.

Важным условием, влияющим на качество ускорения электронов в линейных индукционных ускорителях, является синхронность срабатывания модуляторов во времени, которая определяет длительность ускоренного пучка частиц, его энергетические характеристики и КПД ускорителя, максимальное значение которых можно получить только при синхронной работе всех генераторов ускоряющего напряжения. В диссертации приводится описание аппаратуры, алгоритмов и программ разработанной системы стабилизации временного положения ускоряющих импульсов ускорителя СИЛУНД. Блок-схема измерительной и исполнительной части системы приведена на рис. 1. Временное положение 30 ускоряющих импульсов измеряется блоками 6ВЦП и регулируется блоками наносекундной задержки КЛОО2. ЭВМ осуществляет автоматическую синхронизацию и стабилизацию временного положения ускоряющих импульсов, точность стабилизации ~ 1 нс. Стабилизация осуществляется по 30 управляющим каналам, по эталонным значениям.

В диссертации констатируется, что существует ряд трудностей для получения работоспособной полной модели, связывающей выходные параметры ускорителя с основными управляемыми переменными, предлагается для оптимизации режимов работы ПКУТИ использовать экспериментальные методы, описываются разработанные системы, алгоритмы и программы для оптимизации режима фокусировки пучка электронов в ускорителе СИЛУНД и оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в инжекторе ПКУТИ. Оптимизация режима фокусировки была осуществлена при помощи алгоритма скорейшего спуска с монотонно убывающим шагом, при этом величина шага поиска изменялась по закону

$$\delta_k^{(n)} = \frac{(-1)^{n+1} \delta_k^{(1)}}{n^{1/4}},$$

где n - номер цикла оптимизации. Регулировалась величина фокусирующего поля в пяти переходных камерах ускорителя СИЛУНД. Оптимизация

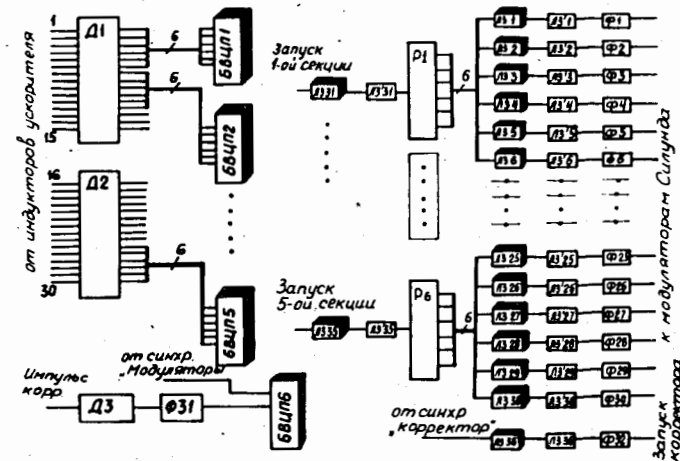


Рис. 1.

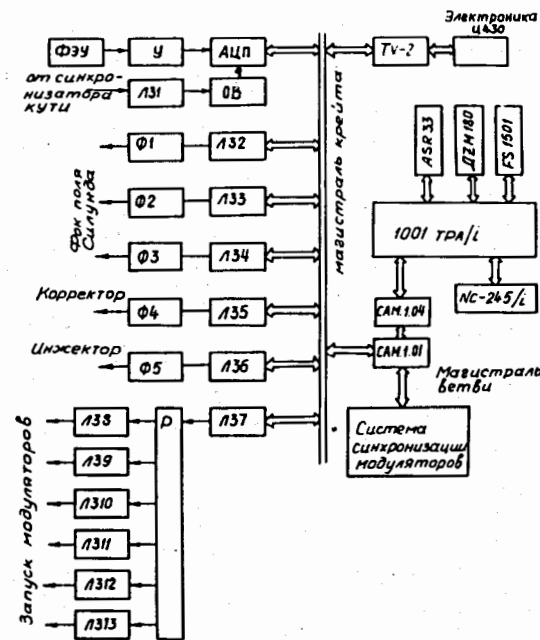


Рис. 2

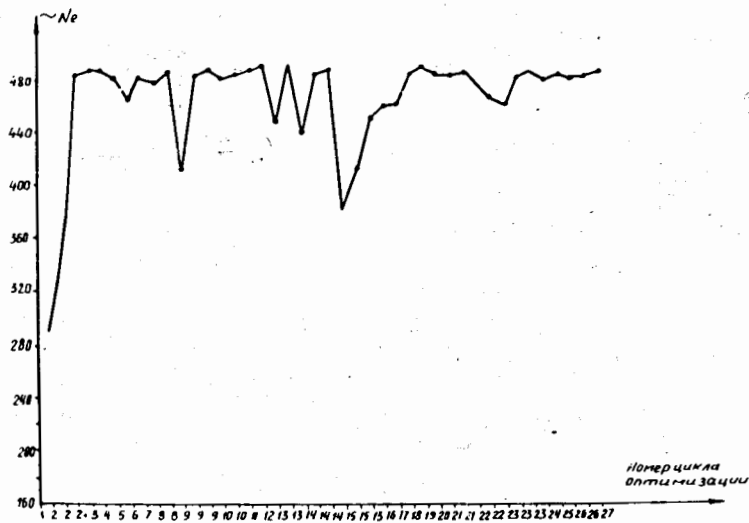


Рис. 3.

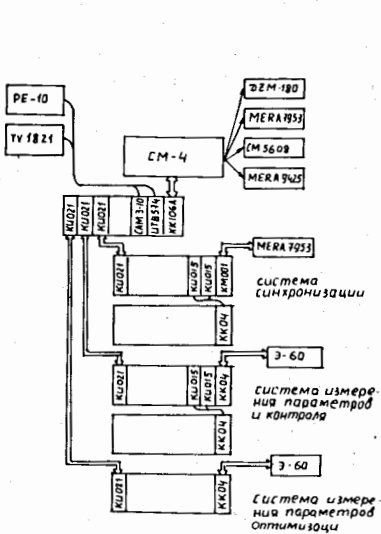


Рис. 4.

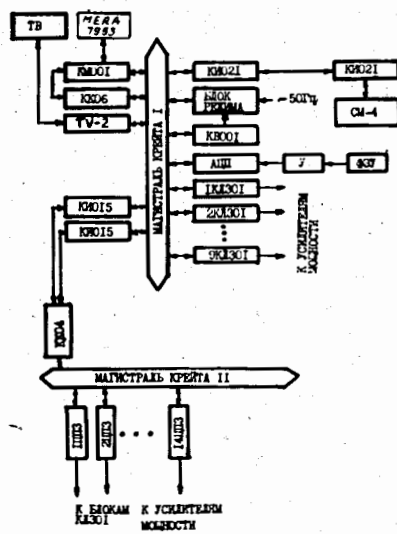


Рис. 5

режима захвата осуществлялась методом скорейшего спуска с фиксированным шагом. В результате проведенного экспериментального исследования были определены параметры процедур оптимизации. На рис. 2 приведена блок-схема системы оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе ПКУТИ. Управление осуществляется: изменением величины фокусирующего поля в переходных камерах первых трех секций СИЛУНДа, изменением временных положений импульсов инжектора, корректора и I-й секции СИЛУНДа. На рис. 3 приведена типичная кривая изменения величины, пропорциональной числу электронов на равновесной орбите в процессе оптимизации. Разработанные системы стабилизации и оптимизации режимов работы существенно сокращают трудоемкость и время, затрачиваемое на настройку режимов.

Для получения информации о параметрах наносекундных импульсов, характеризующих режимы работы ускорителя СИЛУНД, разработана система измерения формы и параметров импульсов. Такими импульсами являются импульсы, получаемые суммированием ускоряющих импульсов каждой из пяти секций ускорителя и импульсы, пропорциональные току пучка в переходных камерах ускорителя, формируемые поясами Роговского. По форме импульсов суммарного сигнала можно судить о синхронности срабатывания модуляторов во времени, об энергии ускоренного пучка электронов, по форме импульсов тока пучка можно проследить прохождение пучка по тракту ускорителя; эта информация использовалась при оптимизации режима фокусировки пучка электронов в СИЛУНДе. Измерение формы импульсов осуществлялось в эквивалентном масштабе времени. Разрешающее время системы измерения ~ 5 нс, максимальная длительность измеряемых импульсов ~ 127 нс. Предусмотрена возможность измерения длительности и амплитуды наносекундных импульсов в реальном времени. Далее приводится описание аппаратуры, программного обеспечения и характеристик системы.

Для организации связи аппаратуры, размещенной вблизи ускорителя с ЭВМ, расположенной на расстоянии ~ 100 м, была разработана, исследована и включена в структуру системы управления удлиненная ветвь КАМАК. В главе представлены принципиальные схемы, логика работы и характеристики линии связи.

В третьей главе излагаются вопросы, связанные с созданием системы управления КУТИ-20. Структурная схема системы управления КУТИ-20 приведена на рис. 4. Это централизованная иерархическая структура с автономными подсистемами. Одной из ее основных частей является система синхронизации КУТИ-20, предназначенная для формирования временной программы работы ускорителя.

В работе сформулированы требования к системе синхронизации. В качестве управляющего элемента в системе синхронизации используется микро-ЭВМ КМООИ* и контроллер крейта ККО6, ориентированные на хранение управляющих программ в постоянной памяти, что снижает стоимость системы и повышает ее надежность. Разработанное автором диссертации программное обеспечение выполняет следующие функции:

- организация диалога оператора ускорителя с системой управления;
- запись в блоки КАМАК необходимой информации для управления временными каналами и режимом работы ускорителя;
- организация связи с центральной ЭВМ СМ-4 системы управления КУТИ-20, обеспечивающей этой ЭВМ доступ к аппаратуре КАМАК системы синхронизации;
- выполнение процедуры оптимизации режима работы ускорителя по амплитуде сигнала, пропорциональной количеству электронов, захваченных на равновесную орбиту в адгезаторе КУТИ-20;
- стабилизация временного положения ускоряющих импульсов ускорителя СИЛУНД-20, импульсов инфлектора и корректора на линии с микро-ЭВМ КМООИ, ЭВМ СМ-4 и микро-ЭВМ "Электроника-60";
- организация мультипрограммного режима работы микро-ЭВМ КМООИ, обеспечено параллельное управление каналами синхронизатора оператором ускорителя, оптимизирующей процедурой в КМООИ и управляющими алгоритмами, реализованными на СМ-4;
- сокращение времени простоя наличием программных возможностей, предотвращающих реакцию на ошибочные управляющие команды, набором тестовых программ для быстрой диагностики неисправностей технических средств, обеспечением записи информации в аппаратуру КАМАК и обмена информацией между КМООИ и СМ-4 в интервал времени вне цикла ускорения.

В настоящее время система синхронизации включает 56 управляющих каналов. Минимальный шаг изменения величины задержки в канале I нс, максимальный диапазон регулирования 65535 мкс.

Связь с ЭВМ СМ-4 системы управления КУТИ-20 реализована посредством двух блоков последовательной межярусной связи. Общий стартовый импульс, поступающий на входы всех блоков задержек, через размножители импульсов синхронизован как синусоидой, питающей сетки ~ 50 Гц, так и импульсами общего кварцевого генератора частотой 1 МГц. Специальный блок режима позволяет выбрать 3 режима работы ускорителя: одиночный режим, режим серия-пауза, непрерывный режим. Максимальная частота выходных импульсов - 50 Гц. Оператор управляет временной программой работы ускорителя подачей директив. Программное обеспечение интерпретирует команды оператора и вызывает обращение к соответствующим программам исполнения данной директивы. В состав директив системы синхро-

*Сидоров В.Т. и др. ОИЯИ, Р10-82-481, Дубна, 1979.

низации включена директива оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе КУТИ-20 методом скорейшего спуска с фиксированным шагом. Начальный режим выбирается подачей директивы чтения режима ускорителя с диска ЭВМ СМ-4 или предварительной настройкой ускорителя. В процедуру оптимизации могут быть включены до 10 любых каналов синхронизатора. Номера каналов и размеры шагов поиска по каждому каналу задаются оператором ускорителя в процессе диалога. Процесс оптимизации может быть остановлен, при этом восстанавливается последний, лучший результат настройки режима. Реализовано отображение процесса оптимизации на телевизионном мониторе, при этом отображается изменение величины, пропорциональной количеству электронов на равновесной орбите, или изменение предварительно заданной управляющей переменной в процессе оптимизации. Отображение изменения различных управляющих переменных в процессе оптимизации позволяет оценить значимость переменных и их влияние на стабильность режима работы ускорителя. Оптимизация осуществляется по циклам. В результате серии пробных шагов определяется направление возрастания функции отклика, в нашем случае это амплитуда сигнала с ФЭУ. После этого осуществляется одновременная коррекция всех управляющих переменных в этом направлении. Коррекция продолжается до тех пор, пока возрастает количество электронов на равновесной орбите, затем начинается следующий цикл оптимизации.

При стабилизации временного положения ускоряющих импульсов (длительность ~ 30 нс) линейного индукционного ускорителя СИЛУНД-20, импульсов инфлектора и корректора управление моментами запусков генераторов ускоряющего напряжения осуществляется посредством системы синхронизации. Алгоритм стабилизации выполняется на линии микро-ЭВМ "Электроника-60", ЭВМ СМ-4, микро-ЭВМ КМООИ. С помощью микро-ЭВМ "Электроника-60" осуществляется измерение временного положения импульсов. Алгоритм регулирования реализован на ЭВМ СМ-4. При запуске процедуры стабилизации вызывается определенный набор эталонных значений, задается число измерений и номера управляющих каналов. Блок-схема алгоритма стабилизации приведена на рис. 5. При величине отклонения текущего временного положения ускоряющего импульса от эталонного значения на величину $|\Delta| > 5$ нс, величине задержки в канале присваивается новое значение $DELAY = DELAY + \Delta \cdot \text{sign}(\Delta)$, если $|\Delta| < 5$ нс, величине задержки в канале присваивается значение $DELAY = DELAY + \text{sign}(\Delta)$. При $|\Delta| < 5$ нс определяется направление требуемого изменения величины задержки в канале и реализуется приближение к эталонному значению с шагом, равным 1 нс. Этот алгоритм, предложенный автором диссертации, обеспечил требуемую точность стабилизации и устойчивость работы замкнутой системы регулирования. Устойчивость системы

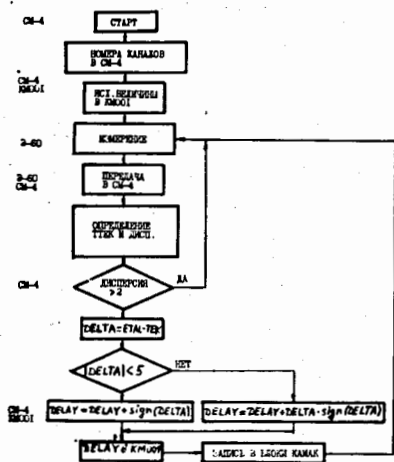


Рис. 5

Сокращение времени простоя ускорителя по вине системы синхронизации обеспечивается модульной конструкцией системы и наличием определенных программных средств диагностики. Программное обеспечение осуществляет диагностику следующих ошибок оператора: несуществующая директива, задание величины управляющей переменной вне допустимого диапазона. Ошибки, обнаруженные при обмене сообщениями с СМ-4, индицируются выдачей сообщений ЕХХ; ХХ - номер ошибки, по таблице ошибок можно определить, в чем заключается ошибка, и принять меры к ее устранению. Индицируются ошибки выполнения функций КАМАК (отсутствие сигналов X и Q). Разработаны программы, проверяющие исправность блоков КАМАК системы синхронизации - регистров КМОИ5, контроллера ККО4, блоков задержек КЛ301 и ЧЦПЗ. Используются тест-процедуры, относящиеся к комбинаторному типу. Проверка регистров блоков КАМАК осуществляется записью и чтением контрольной комбинации в виде перемещающихся единиц и нулей. Локализация неисправности осуществляется выдачей диагностического сообщения с номером ошибки, значениями записанной и считанной комбинации, а также номером неисправного канала системы синхронизации. В главе III приводится описание разработанной аппаратуры, программ, алгоритмов стабилизации и оптимизации, процедур тестирования.

На модели реального процесса (управление вакуумом в КУТИ-20) был исследован регулятор с микро-ЭВМ КМООИ в замкнутом контуре регулирования, при этом проделана следующая работа:

ухудшается при работе вблизи эталонных значений из-за влияния на форму измеряемых импульсов пучка электронов. На блок-схеме алгоритма отмечено, какие процедуры выполняет каждый процессор, принимающий участие в стабилизации. Работа программы стабилизации временного положения ускоряющих импульсов ускорителя СИЛУНД-20, импульсов инфлектора и корректора, оптимизации режима работы КУТИ-20 организована по прерыванию и допускает одновременное управление каналами синхронизатора оператором ускорителя, при этом номера каналов не должны совпадать.

в) произведен анализ и синтез замкнутой системы регулирования с микро-ЭВМ в контуре регулирования;

б) реализован с применением методов целочисленной арифметики алгоритм регулирования вида $D(x) = \frac{1}{1-d} \frac{x-d}{x}$ и эксперименталь-

но определено время его выполнения, что дает оценку минимального периода дискретизации T в системах с микропроцессором КР580ИЖ80А в контуре регулирования.

В заключении изложены результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана, создана и исследована система на линии с ЭВМ IOOI ТРА-1 стабилизации временного положения ускоряющих импульсов ускорителя СИЛУНД.

2. Предложены и экспериментально исследованы алгоритмы оптимизации режима фокусировки пучка электронов в линейном индукционном ускорителе электронов СИЛУНД, оптимизации режима захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе ПКУТИ. При этом разработаны, созданы и исследованы соответствующие системы на линии с ЭВМ IOOI ТРА-1.

3. Разработана, создана и исследована система измерения формы и параметров импульсов наносекундной длительности, характеризующих режимы работы ускорителя СИЛУНД.

4. Разработана, создана и исследована удлиненная ветвь КАМАК, включенная в структуру системы управления ПКУТИ.

5. Разработана, создана и исследована система синхронизации КУТИ-20 с применением микро-ЭВМ. В системе обеспечена возможность параллельного управления временными каналами оператором ускорителя, оптимизирующей процедурой в микро-ЭВМ и управляющими алгоритмами, реализованными на СМ-4.

6. На модели реального процесса управления вакуумом в КУТИ-20 проведено исследование регулятора с микро-ЭВМ в контуре регулирования.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Инкин В.Д., Николаев В.П., Смирнов А.В. Использование алгоритма прямого поиска в системе автоматического управления фокусировкой пучка в линейном индукционном ускорителе "СИЛУНД". ОИЯИ, IO-II5I2, Дубна, 1978.
2. Инкин В.Д., Николаев В.П., Филин Г.А., Юков Л.А. Организация удлиненной ветви КАМАК. ПТЭ, № 4, 1979, стр. IO6-IO8.

3. Инкин В.Д., Николаев В.П., Свенко Т.П. Система измерения формы наносекундных импульсов. ПТЭ, № 5, 1981, стр. 72-75.
4. Дубовик Л.В., Инкин В.Д., Николаев В.П., Свенко Т.П., Смирнов А.В. Система автоматической синхронизации модуляторов ускорителя СИЛЭНД. ПТЭ, № 3, 1982, стр. 20-23.
5. Дубовик Л.В., Инкин В.Д., Косухина Л.И., Лысяков В.Н., Минешкин В.Ф., Мозелев А.А., Николаев В.П., Свенко Т.П., Смирнов А.В., Филин Г.А. Автоматизированная система управления коллективным ускорителем тяжелых ионов ОИИИ. Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения микро-ЭВМ. Новосибирск. Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР, 1981, стр. 94.
6. Инкин В.Д., Николаев В.П., Лебедев Н.И. Система синхронизации коллективного ускорителя тяжелых ионов на основе контроллера с микро-ЭВМ. ОИИИ, IO-82-IO6, Дубна, 1982.
7. Инкин В.Д., Николаев В.П., Свенко Т.П. Автоматизированная система управления режимом захвата электронов на равновесную орбиту в адгезаторе прототипа КУТИ. ОИИИ, IO-82-IO2, Дубна, 1982.
8. Николаев В.П. Релейный регулятор объектов на базе микро-ЭВМ в стандарте КАМАК. В кн.: XI международный симпозиум по ядерной электронике. Братислава, 1983, стр. 367-372.
9. Дубовик Л.В., Инкин В.Д., Николаев В.П., Свенко Т.П. Система автоматизированного управления коллективным ускорителем тяжелых ионов КУТИ-20. ОИИИ, P10-85-247, Дубна, 1985.
10. Inkin V.D., Nikolaev V.P. Microcomputer application in the automatic control system of the collective heavy ions accelerator. In: Proc. IV Symposium on Mikrocomputer and Microprocessor Applications. OMIKK-TECHNOINFORM, Budapest, 1985, v. 1, p. 99-101.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 ноября 1985 года.