

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

На правах рукописи

Шведунов Иван Васильевич

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И
УПРАВЛЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОНОВ НИИЯФ МГУ**

Специальность 01.04.20 –

Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре общей ядерной физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор

Борис Саркисович Ишханов

кандидат физико-математических наук

Игорь Валерьевич Грибов

Официальные оппоненты:

кандидат физико-математических наук

Карев Александр Иванович

доктор технических наук, профессор

Каминский Владимир Ильич

Ведущая организация:

ФГУП НПП «Торий»

Защита состоится «19» июня 2009 года в «15» часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д501.001.77 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 5, «19 корпус» НИИЯФ МГУ, аудитория 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан 15 мая 2009 года.

Ученый секретарь совета

по защите докторских

и кандидатских диссертаций Д501.001.77

доктор физико-математических наук,

профессор

С.И. Страхова

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Ускорители заряженных частиц являются сложными электрофизическими установками, включающими значительное число разнообразных систем, обеспечивающих их функционирование, таких как система питания магнитных элементов, система высокочастотного питания, система высоковольтного питания, система механических перемещений, вакуумная система, система подачи изолирующего газа, система охлаждения, система датчиков пучка и т.п. Контроль работы ускорителя осуществляется системой управления, сложность которой определяется масштабами и сложностью ускорителя. Неотъемлемой частью современной системы управления является программа верхнего уровня, обеспечивающая взаимодействие оператора с объектом управления, выполнение различных сценариев, связанных с включением и выключением установки, изменением режима работы, обработкой аварийных ситуаций, проведением процедур измерений и оптимизации, а также ведение журналов, поддержание баз данных, конфигурирование системы под конкретный набор оборудования и выполнение других функций, связанных с работой установки.

В настоящее время существуют два подхода к программному обеспечению верхнего уровня систем контроля и управления – разработка собственной программы и использования стандартного программного обеспечения – коммерческой SCADA системы (SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition - система супервизорного управления и сбора данных). В частности, при автоматизации процессов в промышленности использование коммерческих SCADA систем в сочетании с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) на нижнем уровне системы управления позволяет существенно ускорить и удешевить процесс автоматизации.

Разработка собственной программы верхнего уровня системы контроля и управления (собственной SCADA системы) позволяет в наиболее полной мере учесть особенности автоматизируемого объекта и возможные направления его развития, что особенно важно для таких “нестандартных” объектов, как ускорители заряженных частиц. Безусловно, создание собственной SCADA системы на начальном этапе может потребовать больших финансовых и временных затрат, по сравнению с закупкой одной из существующих на рынке систем, однако при последующем серийном выпуске изделий эти затраты вполне окупаются.

Цели работы. Целью настоящей диссертационной работы является создание программного обеспечения верхнего уровня (SCADA системы) системы контроля и управления ускорителей электронов нового поколения

НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова и развитие этой системы для применения в серийном технологическом ускорителе.

Научная новизна работы. Разработаны базовые принципы и создано программное обеспечение системы управления ускорителей электронов. Система настраивается под конкретный набор оборудования, допускает расширение и внедрение новых алгоритмов управления. Таким образом, обеспечивается непрерывное функционирование ускорительных установок и экспериментальных стендов, значительно эволюционирующих в течение своего жизненного цикла. В состав программного обеспечения ускорителей введена программа расчета оптики пучка, что существенно упрощает процесс настройки линий транспортировки и инжекции пучка электронов в ускоритель. На основе решений, опробованных на действующих ускорительных установках, реализована версия системы контроля и управления для серийного промышленного ускорителя со специализированными микроконтроллерами на нижнем уровне системы.

Практическая значимость. Созданное в рамках настоящей работы программное обеспечение верхнего уровня системы контроля и управления в течение ряда лет обеспечивает функционирование ускорителей электронов нового поколения и экспериментальных стендов, разрабатываемых в НИИЯФ МГУ. На основании данного программного обеспечения создана специализированная SCADA система для серийного технологического ускорителя.

Личный вклад автора. Автор диссертации полностью самостоятельно разработал программы верхнего уровня системы контроля и управления, обеспечил ее отладку и последующее сопровождение при проведении пусконаладочных работ на ускорителях и испытательных стендах.

На защиту выносятся следующие результаты:

- Концепция построения программного обеспечения верхнего уровня системы контроля и управления ускорителями электронов нового поколения НИИЯФ МГУ.
- Программа верхнего уровня системы контроля и управления.
- Методика оптимизации и результаты проведения пуско-наладочных работ на ускорителях электронов и экспериментальных стендах с использованием программы верхнего уровня, в том числе методика

настройки трактов транспортировки и инъекции пучка с встроенной программой расчета динамики пучка.

- Модификация программы верхнего уровня для системы контроля и управления серийным технологическим ускорителем.

Апробация работы. Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 7-и работах (список работ приведен в конце автореферата) и докладывались на конференциях:

- Ломоносовских чтениях 1999 г.
- Международной конференции по ускорителям заряженных частиц PAC 2001
- Межвузовской научной школе молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» в 2001 г.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения, содержит 148 страниц, 75 рисунков, 5 таблиц. Список литературы содержит 41 наименование.

Содержание диссертации

В **первой главе** дан краткий обзор существующих систем контроля и управления ускорителями, а также систем управления промышленным оборудованием, приведено описание принципа построения системы контроля и управления ускорителями НИИЯФ МГУ, описан нижний уровень системы.

В публикациях о системах управления, применяемых в научных учреждениях, как правило, основное внимание уделяется нижним уровням системы. В качестве верхнего уровня чаще всего используется коммерческое программное обеспечение, например, Intellution iFIX, простые графические оболочки либо сравнительно устаревшие решения, выполненные с использованием таких инструментальных средств, как OSF/Motif, Tcl/Tk и др.

В **§1.1** даётся описание систем управления исследовательских установок. Рассматривается система управления ускорителем MAMI (**M**ainz **M**icrotron) и система «EPICS» («Experimental Physics and Industrial Control System» – «Система управления для экспериментальной физики и промышленности»).

MAMI (**M**ainz **M**icrotron) является ускорителем электронов непрерывного действия с нормальной проводимостью, энергией пучка до 1.5 ГэВ и током пучка 100 мкА, и представляет собой каскад из трех разрезных и одного двухстороннего микротронов. Этот ускоритель был построен в Институте ядерной физики Университета г. Майнц, Германия, и обеспечивает работу

четырёх экспериментальных комплексов.

Система управления МАМІ имеет распределённую структуру и использует специальной схемы межпроцессового взаимодействия (IPC, **Interprocess Communication**), основанный на схеме адресации по именам объектов. IPC и подсистема управления процессами доступны для целого ряда платформ. В качестве аппаратного обеспечения на нижнем уровне системы используются системы на основе САМАС, VME и Interbus-S.

Человеко-машинный интерфейс системы состоит из графического интерфейса пользователя с обзорными схемами управляемого объекта, сенсорной панели и интерпретатора управляющего языка, созданного на основе языка Basic. Графический интерфейс реализован с использованием коммерческого пакета Gipsy, являющегося производным от DataViews фирмы VI Corporation, и доступного для различных ОС. Для ввода данных используются цифровые ручки-регуляторы с небольшими индикаторными дисплеями, на которых отображаются имя, состояние и действительное значение управляемого параметра.

Система EPICS включает в себя архитектуру для построения масштабируемых систем управления, набор соответствующего программного обеспечения и документации, а также сотрудничество ведущих научных лабораторий и промышленности. EPICS является продуктом работы, прежде всего, группы ускорительной техники (Accelerator Technology, AT-8) в Национальной Лаборатории Лос-Аламоса, а также группы Advanced Photon Source в Аргоннской Национальной Лаборатории. На данный момент EPICS используется более чем в 70 лабораториях, университетах и промышленных производствах в Северной Америке, Европе и Азии, и обеспечивает управление такими объектами, как ускорители и детекторы, телескопы, а также промышленное оборудование.

Архитектура EPICS является полностью распределенной: каждый уровень системы функционирует без помощи какого-либо центрального устройства или программного приложения. Это свойство обеспечивает масштабируемость, надежность, а так же возможность постепенного запуска компонентов системы в эксплуатацию. Использование EPICS вполне допускает ситуацию, когда одни части системы находятся в работе, в то время как другие находятся под разработкой либо отключены. Следует отдельно упомянуть об отсутствии в системе центрального сервера имен – EPICS использует широковещательные сетевые пакеты для распознавания имен объектов.

В §1.1 рассматриваются коммерческое программное обеспечение систем управления, Wonderware InTouch и Intellution iFix.

В §§1.3-1.4 даётся описание системы управления ускорителей НИИЯФ МГУ.

В НИИЯФ МГУ ведется разработка и создание компактных ускорителей электронов нового поколения, создаваемых по схеме линейного ускорителя или разрезного микротрона. Работа машин поддерживается единой трехуровневой системой управления на основе PC совместимых компьютеров (рис. 1).

Система управления состоит из нескольких бездисковых станций первого и второго уровней, работающих под управлением операционной системы RTLinux, и одной полнофункциональной станции верхнего уровня, объединенных сетью Ethernet. Для связи между станциями используются протоколы TCP/IP. Станции нижнего уровня оснащены многоканальными устройствами сбора и распределения данных, кроме того, на первом уровне системы задействованы импульсные мониторы пучка, разработанные на основе цифровых сигнальных процессоров и подключенные к станциям второго уровня посредством сети CAN-bus. Станция верхнего уровня представляет собой PC под управлением операционной системы Linux. Программное обеспечение этой станции, CSLite, предоставляет, в частности, графический интерфейс пользователя (Graphical User Interface, GUI), и написано на языке C++ для X Window System с использованием библиотеки Qt фирмы Trolltech. Совместно с параметрической технологией эти решения образуют полнофункциональный SCADA пакет, ориентированный на работу с быстро и значительно эволюционирующими объектами.

Недостатком большинства описанных выше систем управления, применяемых в научных учреждениях, является отсутствие удобного и современного интерфейса пользователя. Как правило, в качестве интерфейса оператора используется либо компоненты, разработанные с помощью устаревших и неэффективных технологий (например, OSF/Motif в случае интерфейса MEDM, используемого в EPICS), либо с использованием коммерческих пакетов. Основной задачей CSLite является предоставление удобного пользовательского интерфейса для системы управления ускорителя.



Рис.1. Схема системы управления ускорителей НИИЯФ МГУ.

Во **второй главе** описана логическая структура верхнего уровня системы, даны детали реализации пакета CSLite, включая использование программы расчета динамики пучка для оптимизации тракта транспортировки и инжекции пучка.

В **§2.1** описано информационное представление объекта управления. Задачей параметрической технологии является полное, прозрачное и взаимно согласованное представление свойств и характеристик всех подсистем объекта управления. Это представление включает в себя качественное и количественное описание параметров объекта, а также правил и методов работы с ними. Таким образом, формируется информационная модель управляемого объекта, а также обеспечивается интерфейс между процедурно-функциональным подходом нижних уровней и объектно-ориентрованным представлением верхнего уровня системы. Использование параметрической методики дает возможность программировать каждый уровень системы управления применяя наиболее подходящий, максимально естественный инструментарий, не ограничиваясь рамками лишь одной технологии составления программ. Используя современную классификацию программных систем, параметрическую технологию можно считать ядром EPICS/SCADA (Experimental Physics and

Industrial Control System / Supervisory for Control And Data Acquisition) пакета, ориентированного на работу с быстро и значительно эволюционирующими объектами.

В §2.2 описан графический интерфейс оболочки верхнего уровня.

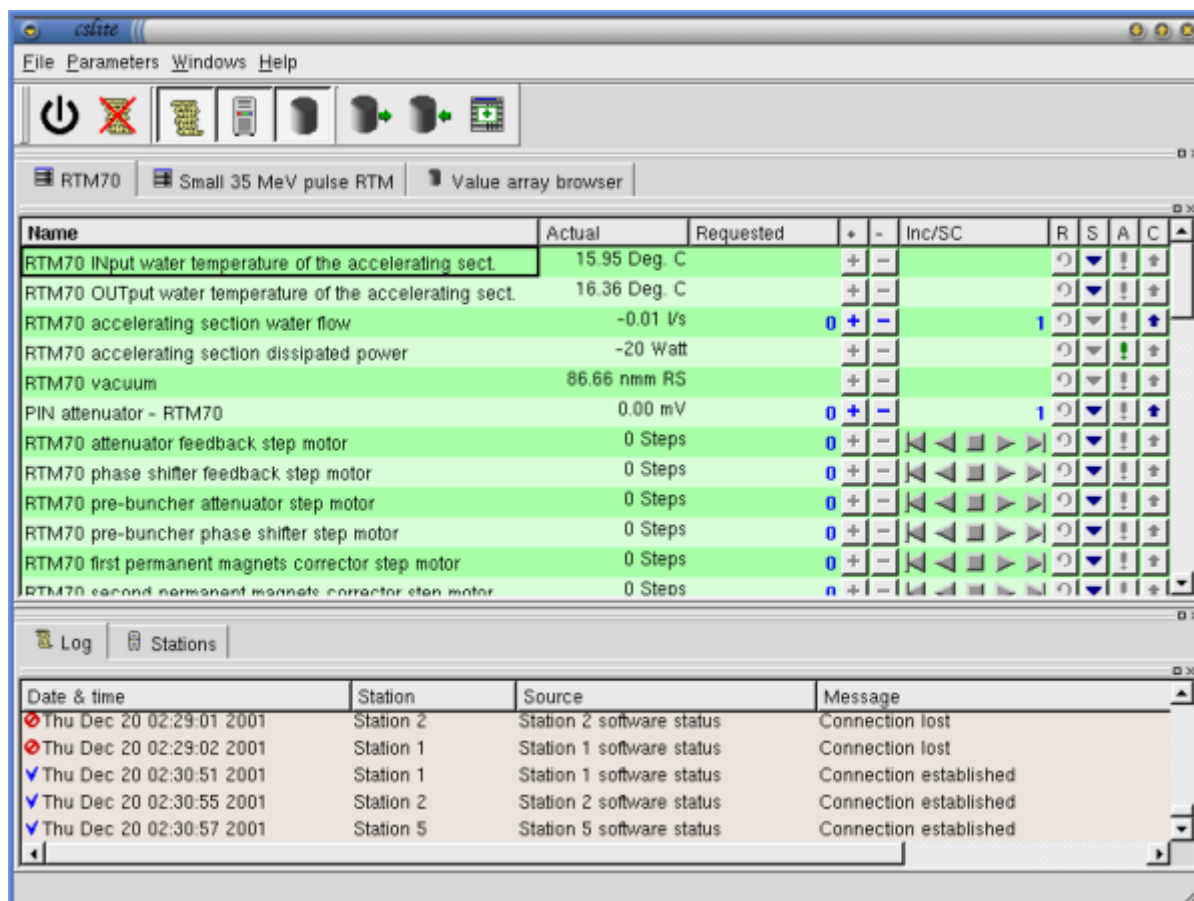


Рис. 2. Основное окно программы CSLite.

Для программы CSLite управляемый объект представляется набором параметров, таких как токи через обмотки магнитов, температура воды в системе охлаждения и т.д. Пользовательский интерфейс программы CSLite (рис. 2) состоит из нескольких окон: одна или несколько таблиц параметров, окно станций, лог (журнал), окно управления массивами значений. Таблицы параметров представляют собой основное средство для просмотра и изменения значений параметров объекта. Окно станций отображает состояние связи с управляющими станциями нижнего уровня. Журнал отображает события, происходящие в системе управления. Окно управления массивами значений служит для сохранения значений параметров в базу данных с возможностью их последующего восстановления.

Помимо описанного функционала, также поддерживается функция сканирования, позволяющая изучить зависимость значения одного параметра от другого.

В **§2.3** даётся описание средств редактирования представлений объектов. Редактор базы позволяет настроить систему для работы с различными объектами, наборами параметров, а также станциями нижнего уровня.

В **§2.4** рассматривается подключение программы расчета оптики пучка к системе контроля и управления. Для упрощения процедуры настройки тракта транспортировки и инжекции пучка электронов в разрезной микротрон было принято решение подключить к программе CSLite программу расчета оптики пучка. В качестве такой программы была выбрана программа BeamOptik, разработанная в Институте ядерной физики университета г. Майнц в рамках проекта МАМІ и усовершенствованная автором диссертации в рамках сотрудничества с указанным институтом.

В основе программы BeamOptik лежит матричный формализм описания элементов тракта транспортировки пучка. Пучок электронов описывается с помощью фазовых эллипсов отдельно для вертикальной и горизонтальной плоскостей. Параметры фазового эллипса в некоторой точке тракта транспортировки вычисляются через параметры фазового эллипса в начале тракта с помощью кумулятивной матрицы преобразования пучка, полученной перемножением матриц предшествующих оптических элементов. Таким образом, осуществляется построение огибающих пучка в вертикальной и горизонтальной плоскостях, пространственной и угловых дисперсий. В любой точке тракта транспортировки могут быть построены фазовые эллипсы.

Изменения токов питания оптических элементов, задаваемые оператором с помощью интерфейса программы CSLite, передаются в программу оптики пучка, где они преобразуются с использованием калибровочных коэффициентов в соответствующие параметры оптических элементов и используются для расчета изменений огибающих пучка и проекций фазовых портретов в двумерном фазовом пространстве.

Совместная работа программ CSLite и BeamOptik обеспечивается тем, что информация об изменениях значений параметров пересылается между процессами CSLite и BeamOptik при помощи стандартного средства систем семейства UNIX для межпроцессового взаимодействия, локального сокета (Unix domain socket). На рис. 3 показано графическое окно программы BeamOptik при работе с CSLite.

В **третьей главе** приведены методики и результаты использования программы CSLite для обеспечения работы ускорителей электронов нового

поколения и экспериментальных стендов НИИЯФ МГУ.

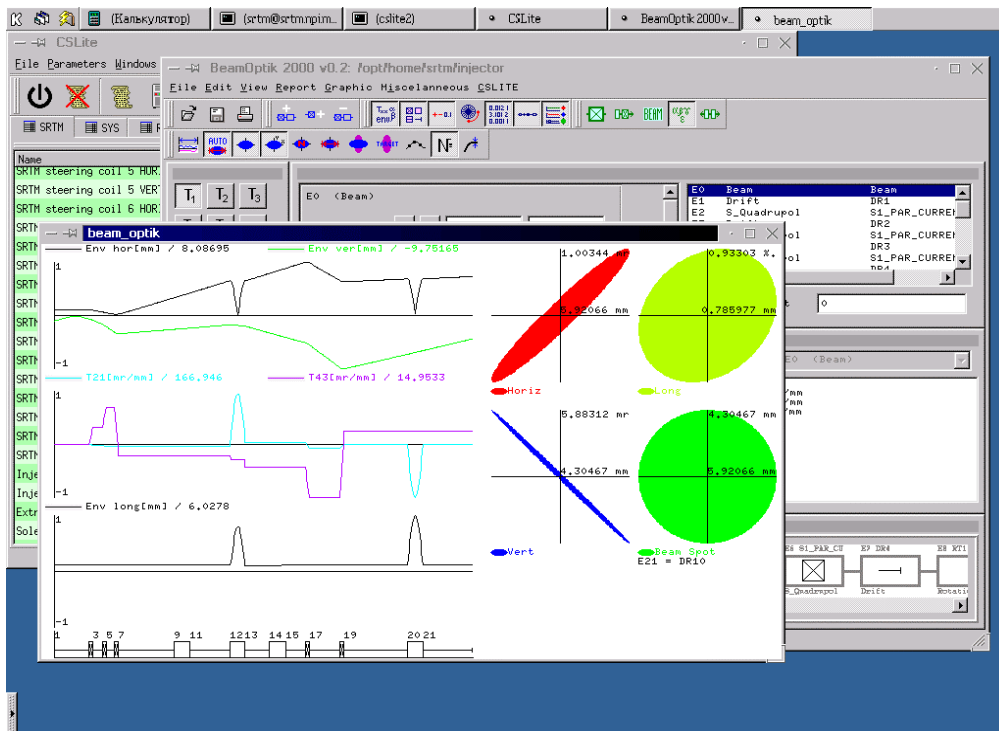


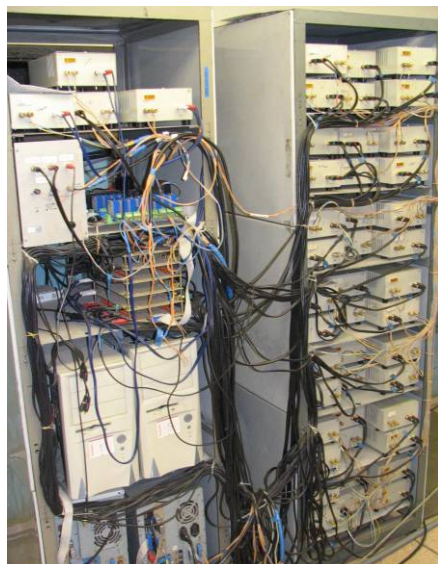
Рис. 3. Графическое окно программы VeamOptik при работе с CSLite.

Положенные в основу системы контроля и управления принципы и значительный запас входных и выходных каналов различного типа, позволили создать универсальную систему, легко реконфигурируемую для решения новых задач, возникающих в ходе реализации проектов ускорителей и создания специализированных измерительных стендов. Фотографии компонент системы контроля и управления показаны на рис. 4.

В §3.1 описывается использование системы для работы с разрезным микротроном на энергию 70 МэВ. Разрезной микротрон на энергию 70 МэВ используется для исследований в области ядерной физики, физики излучений, медицины, элементного анализа, для разработки акустических методов регистрации заряженных частиц, для исследований в области радиационной химии, радиационной биологии и т.д.

Особенностью данного ускорителя является то, что его основные магнитные элементы изготовлены с использованием редкоземельного магнитного материала, что существенно сокращает размеры ускорителя, значительно уменьшает количество контролируемых параметров, увеличивает стабильность пучка, упрощает эксплуатацию ускорителя. Другой особенностью ускорителя является, то, что его система СВЧ питания построена по

автоколебательному принципу с ускоряющей структурой в цепи обратной связи клистрона, что исключает необходимость иметь высокостабильный задающий СВЧ генератор и с высокой точностью контролировать резонансную частоту ускоряющей структуры.



(а)



(б)

Рис. 4. Фотографии компонент системы контроля и управления: (а) станции нижнего уровня с источниками тока, расположенные в ускорительном зале и (б) станция верхнего уровня в пультовой.

Основными задачами системы контроля и управления для разрезного микротрона на энергию 70 МэВ является оптимизация фокусировки пучка, коррекция его положения на орбитах, подстройка фазы пучка на первой орбите, выбор оптимального расстояния между поворотными магнитами, выбор оптимального режима системы СВЧ питания и контроль параметров высокочастотного поля.

Настройка ускорителя разбивается на ряд последовательных этапов, связанных со вполне определенными особенностями динамики пучка в разрезном микротроне. После выполнения последнего этапа цикл настройки повторяется до тех пор, пока изменение любого параметра не будет приводить к снижению тока пучка.

В процессе настройки ускорителя иногда возникает необходимость измерения зависимости одного параметра от времени или от другого параметра, например, зависимости амплитуды ускоряющего поля от времени, тока пучка от величины тока определенного корректора и т.д. Для проведения таких измерений используется процедура сканирования.

В §3.2 рассматривается работа с разрезным микротроном на энергию 35

МэВ, предназначенного для ускорения сгустков электронов с большим зарядом, малой длительностью и малым поперечным эмиттансом. Пучок ускорителя используется для генерации когерентного излучения в миллиметровой и субмиллиметровой области длин волн, разработки новых методов диагностики пучков заряженных частиц, исследования новых методов ускорения частиц.

Система контроля и управления обеспечивает выполнение следующих основных задач:

1. Поддержание и регулирование амплитуд и разности фаз поля ускоряющих структур СВЧ пушки, инжектора и разрезного микротрона.
2. Регулирование накала катода СВЧ пушки.
3. Регулирование работы системы сжатия сгустков на основе альфа-магнита.
4. Регулирование положения лазерного импульса относительно фазы ускоряющего поля СВЧ пушки.
5. Настройку тракта инъекции пучка; настройку электронно-оптической системы разрезного микротрона; управление системой подавления когерентного синхротронного излучения.
6. Вывод пучка из разрезного микротрона.
7. Проведение измерений эмиттанса инжектируемого и выведенного пучка электронов.

В §3.3 дано описание работы с импульсным ускорителем на энергию 10 МэВ. Импульсный ускоритель на энергию 10 МэВ и мощность пучка, лежащую в зависимости от типа клистрона в диапазоне от 3 кВт до 50 кВт, разрабатывался для радиационных технологий в промышленности. В НИИЯФ МГУ в рамках совместных работ с ФГУП «НПП «Торий» был создан стенд для испытаний ускорителя, который был подключен к описанной в данной работе системе контроля и управления. Система СВЧ питания ускорителя основана на автоколебательном принципе аналогично системе питания разрезного микротрона на энергию 70 МэВ, описанной выше.

Система контроля и управления выполняет следующие функции:

1. Контроль работы СВЧ блока обратной связи – управление шаговыми двигателями фазовращателя и аттенюатора, управление р-і-п аттенюатором.
2. Измерение разности температур на входе и выходе радиальных и кольцевых каналов охлаждения ускоряющей структуры и входе и выходе коллектора пучка с целью определения мощности СВЧ потерь в стенках ускоряющей структуры и измерения мощности пучка.
3. Управление источниками тока, питающими корректоры пучка, квадрупольную линзу, магнитный спектрометр.
4. Измерение среднего тока пучка и подсчет интегрального заряда,

- поглощенного цилиндром Фарадея.
5. Измерение спектра пучка с помощью магнитного спектрометра.

В §3.4 описана работа со стендом для испытания ускоряющих структур.

В рамках контракта с Институтом ядерной физики университета г. Майнц в НИИЯФ МГУ были разработаны и изготовлены ускоряющие структуры для проекта двухстороннего микротрона МАМИ-С. Для тренировки и испытаний ускоряющих структур на высоком уровне мощности был создан специальный стенд.

В процессе тренировки и испытаний система контроля и управления выполняла следующие функции.

1. Проведение тепловых измерений с целью определения уровня СВЧ потерь в стенках ускоряющей структуры.
2. Управление шаговыми двигателями, осуществляющими перемещение настроечных плунжеров.

На рис. 5 показана зависимость резонансной частоты ускоряющей структуры от уровня СВЧ потерь в стенках, измеренная для одной из структур.

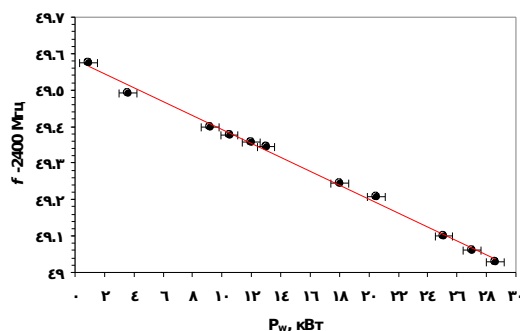


Рис. 5. Зависимость резонансной частоты от уровня СВЧ потерь в стенках.

В §3.5 рассматривается использование системы для контроля флюенса электронов на ускорителе с энергией 1.2 МэВ.

Система контроля и управления используется для контроля тока пучка электронов, величины флюенса и равномерности распределения в рабочей зоне в процессе проведения испытаний элементов космической техники на ускорителе электронов непрерывного действия на энергию 1.2 МэВ НИИЯФ МГУ. Система контроля и управления обеспечивает контроль величины тока и

подсчет флюенса по 8 каналам, а также измерение температуры образцов в процессе облучения.

В **четвертой главе** описаны результаты разработки программы контроля и управления верхнего уровня серийного технологического ускорителя.

Ускоритель на энергию 10 МэВ, разработанный совместно с ФГУП «НПП «Торий», был положен в основу серийного ускорителя предназначенного для работы в составе радиационно-технологического комплекса (рис. 6). На основании опыта разработки системы управления, описанной в Главе 2, автором диссертации было создано программное обеспечение верхнего уровня системы контроля и управления этим ускорителем.

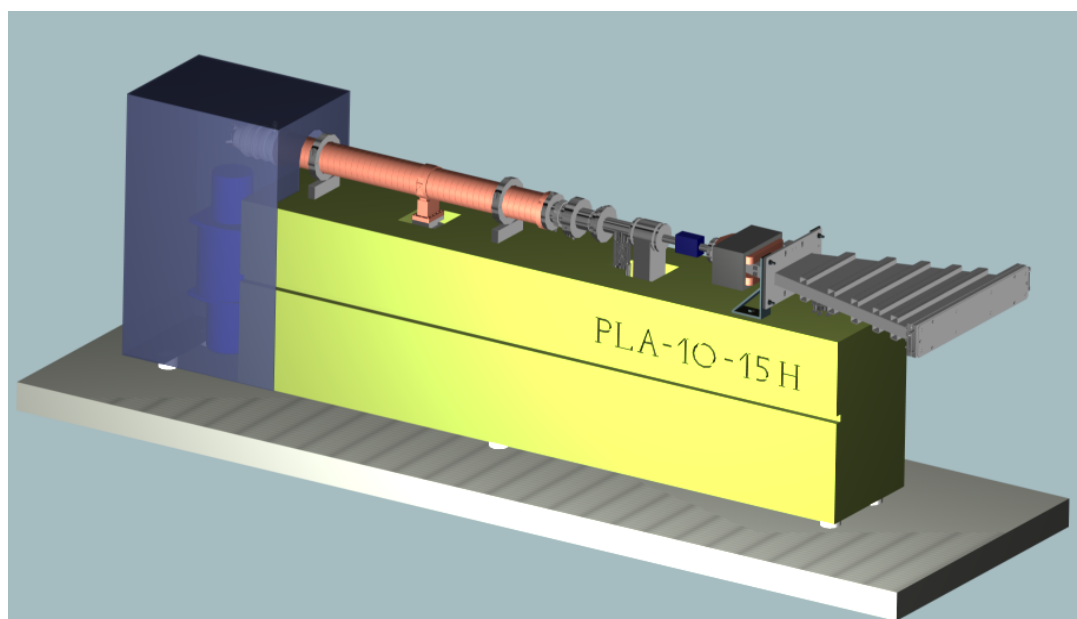


Рис. 6. Общий вид технологического ускорителя.

В **§4.1** рассмотрена общая структура системы контроля и управления технологического ускорителя, включая аппаратную часть.

Структура системы контроля и управления ускорителем показана на рис. 7. Центральными элементами системы контроля и управления ускорителем является консоль управления и контроллер ускорителя. Каждая из систем ускорителя имеет специально разработанный контроллер, основанный на микропроцессоре LPC2148 и интерфейсе RS-485.

Консоль управления реализуется на базе встраиваемого промышленного компьютера (ПК) типа eBOX630 - 830 - FL1.06G – D и обеспечивает контроль работы ускорителя в местном и дистанционном режиме. Жесткий диск ПК используется для хранения программ и баз данных, в его оперативной памяти

функционирует управляющая программа, обеспечивающая взаимодействие с контроллером ускорителя, контроллерами отдельных подсистем, модулятором и модулем охлаждения. На консоли управления располагается также переключатель режима (местный/дистанционный) и кнопка аварийного выключения ускорителя.

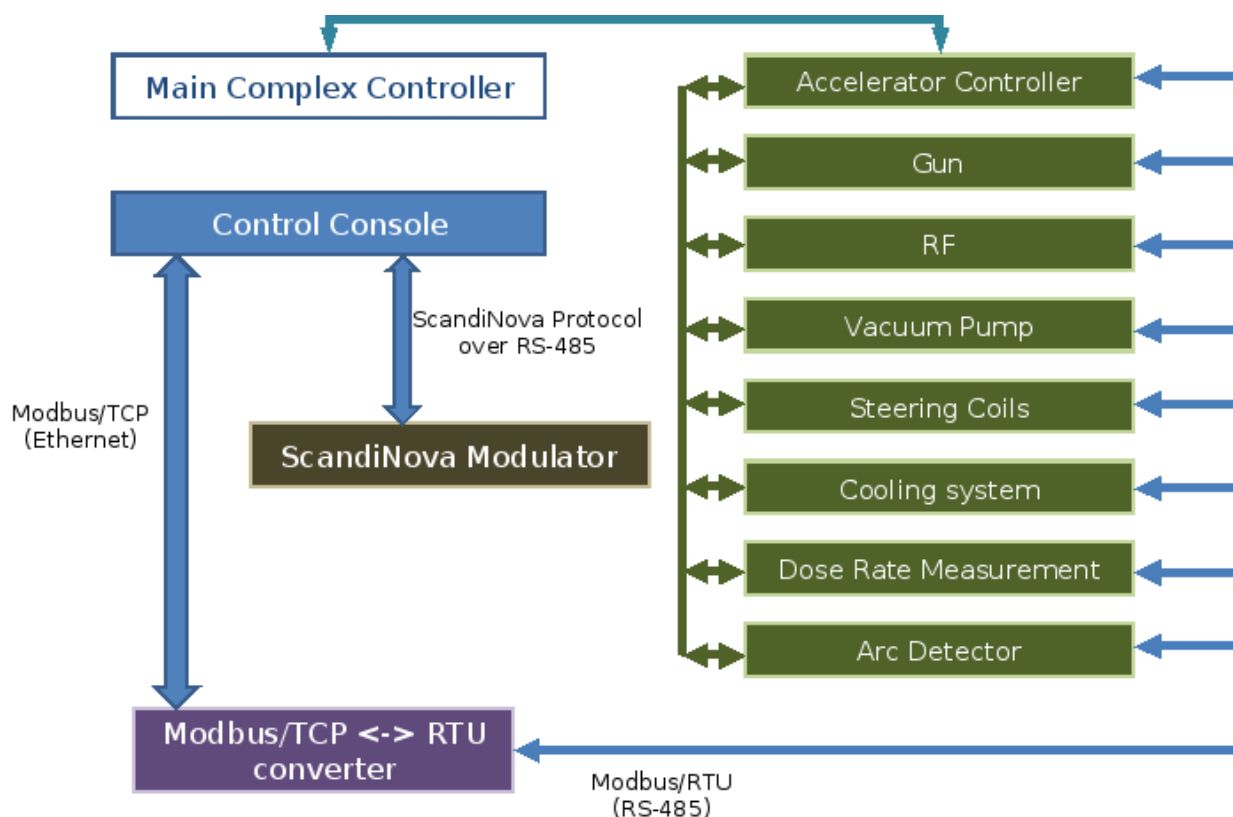


Рис. 7. Структура системы контроля и управления технологическим ускорителем.

Взаимодействие консоли управления с контроллером ускорителя и контроллерами его систем осуществляется через Ethernet, преобразователь Modbus TCP/RTU и далее с помощью последовательного интерфейса RS-485 с использованием протокола Modbus/RTU с четным паритетом.

Контроллер ускорителя реализует низкоуровневые управляющие алгоритмы, требующие быстрой реакции на события, в частности, связанные с механизмами блокировок. Консоль управления отвечает за более высокоуровневые алгоритмы, не требующие поддержки жёсткого реального времени. Данное распределение ролей упрощает структуру программного обеспечения, а также облегчает реализацию человеко-машинного интерфейса, работающего на консоли управления, а также повышает надёжность системы в целом.

В §4.2 описывается программное обеспечение консоли управления.

Программное обеспечение консоли управления построено на основе архитектуры клиент-сервер (рис. 8).

Выполнение управляющих алгоритмов и связь с системами ускорителя по протоколам Modbus и протоколу модулятора осуществляется серверной частью системы управления, реализованной, как фоновый процесс, постоянно работающий на консоли управления. Человеко-машинный интерфейс системы (рис. 9) реализован в виде отдельного приложения, взаимодействующего с серверной частью через специализированный протокол, работающий поверх стандартного стека протоколов TCP/IP.

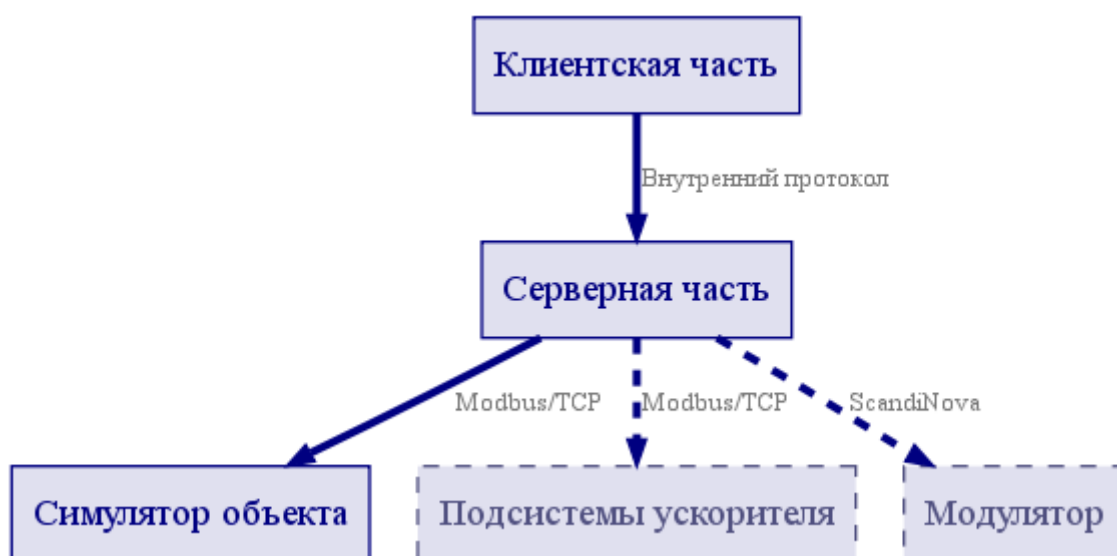


Рис. 8. Общая структура программного обеспечения консоли управления.

Данный подход обеспечивает возможность работы с человеко-машинным интерфейсом системы как непосредственно с сенсорного экрана, так и в удалённом режиме. Работа с системой в удалённом режиме может осуществляться через сетевое соединение с компьютера, на котором установлено клиентское ПО системы управления, либо с использованием подключения к консоли управления по протоколу X11 с любого компьютера, на котором установлено программное обеспечение, совместимое с X Window System.

Реализация управляющих алгоритмов в серверной части системы основана на использовании конечных автоматов (Finite State Machine, FSM). Для разработки серверной части, в том числе управляющих алгоритмов, был

создан программный симулятор объекта, взаимодействующий с сервером по протоколу Modbus/TCP и позволяющий вести разработку ПО консоли управления даже без непосредственного доступа к управляемому оборудованию.

Как серверная, так и клиентская части работают под управлением свободно распространяемой операционной системы Linux.

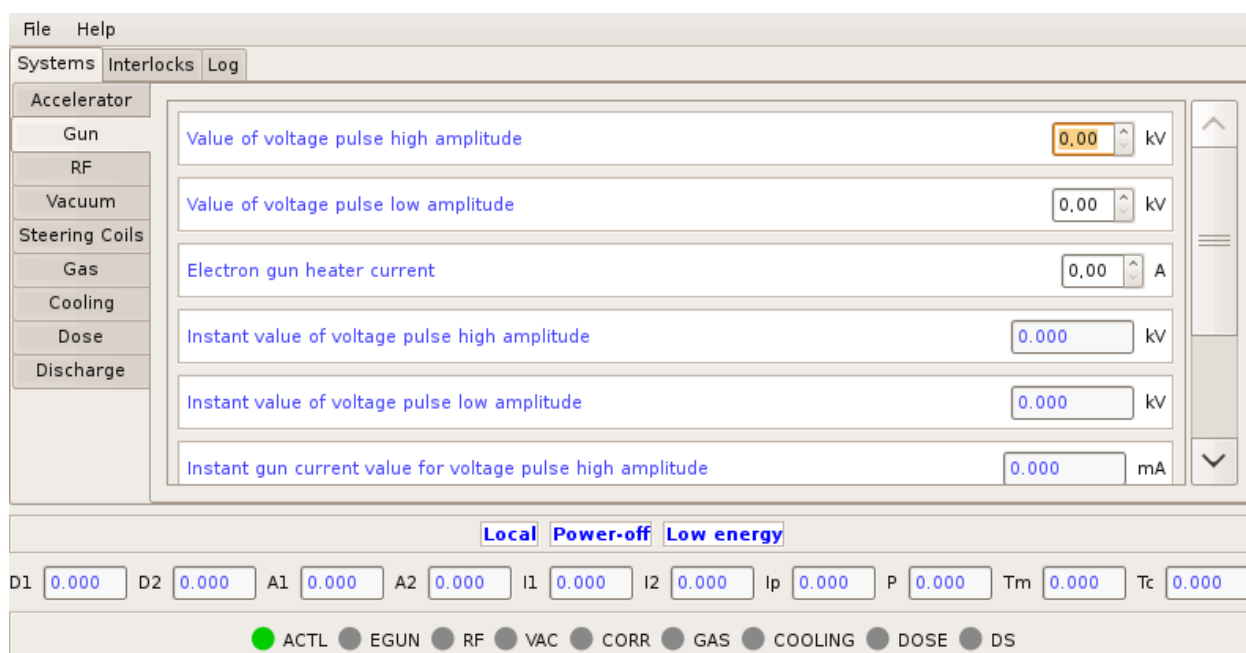


Рис. 9. Внешний вид человеко-машинного интерфейса системы контроля и управления технологическим ускорителем.

Заключение

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты.

1. Разработана концепция построения программного обеспечения систем контроля и управления ускорителями электронов нового поколения НИИЯФ МГУ.

2. Создана модель информационного представления ускорителей на основе параметрической технологии. Разработаны эффективные средства редактирования представлений объектов управления, что позволяет оперативно адаптировать систему при изменениях свойств объектов, а также формировать параметры управления для вновь создаваемых установок.

3. В рамках модели информационного представления реализована конфигурация системы управления, обеспечивающая независимое функционирование ускорителей и стендов НИИЯФ МГУ: двух разрезных микротронов на энергию 70 и 35 МэВ, импульсного линейного ускорителя на энергию 10 МэВ, стенда для испытания ускоряющих структур, стенда контроля флюенса электронов на основе ускорителя с энергией 1.2 МэВ.

4. Разработан интерфейс оператора, обеспечивающий удобную работу с ускорителями как в режиме штатного функционирования, так и в переходных режимах запуска и останова, настройки и отладки подсистем ускорителей.

5. Разработаны средства измерения взаимной зависимости любых параметров ускорительных установок с графическим представлением результатов измерений.

6. К системе управления подключена программа расчета оптики пучка на основе матричного формализма описания элементов тракта транспортировки электронного пучка. Обеспечена реализация алгоритмов измерения, оптимизации и настройки параметров пучка разрезных микротронов на энергию 70 и 35 МэВ.

7. На основе решений, опробованных на действующих ускорительных установках НИИЯФ МГУ, реализована версия системы контроля и управления для серийного промышленного ускорителя со специализированными микроконтроллерами на нижнем уровне системы. В систему управления промышленным ускорителем встроена подсистема высокоуровневых управляющих алгоритмов на основе конечных автоматов.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. И.В. Шведун, Разработка графического интерфейса и усовершенствование программы расчета оптики пучка, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический Факультет, Кафедра Общей Ядерной Физики, Ломоносовские чтения 1999.
2. I. Gribov, I. Shvedunov, V. Yaliyan, RaceTrack Microtron Control System, In the Proceedings of IEEE Particle Accelerator Conference (PAC 2001), Chicago, Illinois, 18-22 Jun 2001, pp 819-821
3. И.В. Грибов, И.В. Шведун, В.Р. Яйлиян, Система управления и контроля разрезными микротронами, Труды Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» под ред. проф. Б.С. Ишханова и проф. Л.С. Новикова. Москва, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, 13-14 ноября 2001 г. Издат.

- отдел УНЦ ДО, 2001, с. 31-35.
4. И.В. Грибов, И.В. Шведун, В.Р. Яйлиян, Технология создания системы управления современными ускорителями электронов, Препринт НИИЯФ МГУ – 2002-17/701, 24 стр.
 5. V.I. Shvedunov, R.A. Barday, D.A. Frolov, V.P. Gorbahev, E.A. Knapp, G.A. Novikov, N.I. Pakhomov, I.V. Shvedunov, V.S. Skachkov, N.P. Sobenin, W.P. Trower, S.A. Tyurin, A.A. Vetrov, V.R. Yailijan, and D.A. Zayarny, A Racetrack Microtron with High Brightness Beams, Nucl. Instrum. Meth. A531 (2004) 346-366
 6. И.В.Грибов, Ф.Н.Недеогло, И.В.Шведун, Верхний уровень системы управления электронных ускорителей, ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, Номер 1, 2005, стр. 62-71
 7. V.I. Shvedunov, A.N. Ermakov, I.V. Gribov, E.A. Knapp, G.A. Novikov, N.I. Pakhomov, I.V. Shvedunov, V.S. Skachkov, N.P. Sobenin, W.P. Trower, and V.R. Yajlijan, 70 MeV Racetrack Microtron, Nucl. Instrum. Meth. A550 (2005) 39-53.

Типография МГУ
119991, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, стр. 15
Заказ №1128 Тираж 100 экз.