

На правах рукописи

Шичков Дмитрий Сергеевич

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЯ
МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСКОРИТЕЛЕЙ**

**01.04.01 – приборы и методы
экспериментальной физики**

АВТОРЕФЕРАТ

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

НОВОСИБИРСК – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

БАТРАКОВ – кандидат технических наук,
Александр Матвеевич Учреждение Российской академии наук
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

МЕЗЕНЦЕВ – доктор физико-математических наук,
Николай Александрович Учреждение Российской академии наук
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

ФИЛИПОВ – кандидат технических наук,
Михаил Николаевич Учреждение Российской академии наук
Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

ВЕДУЩАЯ – ФНПЦ ФГУП «Московский
ОРГАНИЗАЦИЯ радиотехнический институт РАН»,
г. Москва.

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2011 г.
в « ____ » часов на заседании диссертационного совета Д 003.016.01
Учреждения Российской академии наук Института ядерной физики
им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН.

Адрес: 630090, г. Новосибирск-90,
проспект Академика Лаврентьева, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения
Российской академии наук Института ядерной физики им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения РАН.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

А.В. Бурдаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В общем объеме оборудования ускорительно – накопительных комплексов особую роль играют магнитные элементы. Они определяют принципиальные параметры ускорительных установок, поэтому требования к качеству изготовления и точности измерения параметров магнитов является существенным и важным.

ИЯФ СО РАН, являясь крупным ускорительным центром, изготавливает в больших объемах разнообразные магнитные элементы: дипольные магниты, квадрупольные, секступольные и октупольные магнитные линзы, корректоры, устройства для генерации СИ (вигглеры и ондуляторы).

В последние полтора десятилетия в институте освоен ряд производственных технологий, позволяющих изготавливать высокоточные и обладающие необходимыми электрическими и физическими свойствами магнитные элементы. Заметная часть этих технологий использует температурную обработку изделий. В качестве примеров можно привести изготовление магнитов из шихтованного железа методом горячей склейки, пайка обмоток радиационно-стойких магнитов, отжиг сверхпроводящих соленоидов из Nb-Sn, изготовление длинных сверхпроводящих шин (Bus Bar's) для LHC. Для подобных производств характерен целый ряд особенностей: большое разнообразие массогабаритных параметров магнитов, необходимость при обработке соблюдения для различных частей изделий соответствующих температурных графиков, большая длительность температурных процессов, высокие требования к надежности.

После изготовления большинство магнитов требуют прецизионного измерения многих параметров: значений первых и вторых интегралов, карт магнитных полей, градиентов, положения магнитных осей, величин мультипольных компонент и т.п. Процедуры определения параметров и последующей юстировки магнитов характеризуются разнообразием измерительных методик, аппаратных средств, алгоритмов обработки результатов, а также большим объемом измерений, которые следует выполнить для полного описания магнита.

Очевидно, что средства автоматизации производства и измерений магнитных элементов играют важнейшую роль и определяющим образом влияют на качество готовых изделий. Важным элементом систем автоматизации является программное обеспечение (ПО), которое включает в себя целый комплекс программных продуктов, ориентированных на работу с широким набором аппаратных средств. Создание такого комплекса и являлось целью данной работы.

Цель диссертационной работы

Разработка программного пакета для управления технологическим производственным оборудованием и измерительными стендами, содержащего:

- универсальную библиотеку, служащую базой программам, управляющим измерительными стендами;
- приложения (программы), управляющие производственными установками;
- прикладные программы, разработанные на основе универсальной библиотеки, и предназначенные для прецизионного измерения магнитных элементов;
- утилиты для тестирования аппаратных средств производственного оборудования и измерительных стендов.

Личный вклад автора

Личный вклад автора в работы, составляющие основу диссертации, является определяющим. Лично диссертантом предложена и реализована концепция создаваемого программного комплекса. На основе предложенной концепции разработан набор программ для систем автоматизации производства и контроля параметров магнитных элементов.

При непосредственном участии автора спроектировано и запущено более 10 автоматизированных систем, применяемых при изготовлении, измерении параметров и доработке элементов магнитной системы ускорителей.

Научная новизна работы

1. Предложена концепция создаваемого программного комплекса, которую отличает три ключевых момента:

- Унификация и модульный принцип построения программ с целью сокращения времени на разработку и повышения надежности измерительного стенда;
 - Функциональная завершенность. Измерения, выдача данных «на станок» и формирование сертификата готового изделия выполняются одной программой.
 - Полнота. Программы и утилиты, применяемые для верификации аппаратных средств и тестирования систем управления, являются частью программного комплекса.
2. Впервые, при производстве магнитных элементов ПО систем автоматизации создавалось на основе «базового каркаса» (фреймворка).
 3. Предложены и реализованы простые, единообразные и понятные для операторов виртуальные панели управления производственным оборудованием и автоматизированными измерительными стендами.
 4. Разработана оригинальная библиотека, обеспечивающая универсальный способ взаимодействия между программным комплексом и аппаратными средствами технологических систем, вне зависимости от используемых интерфейсов связи.
 5. Впервые с помощью единого программного комплекса автоматизированы этапы технологической цепочки производства магнитов ускорителей: изготовление элементов, измерение магнитных параметров, подготовка данных для доработки и юстировки изделий, паспортизация, верификация средств измерений.

Научная и практическая ценность

Созданный программный комплекс применялся при измерениях и юстировке магнитных элементов, изготовленных в ИЯФ в последние годы.

Новый подход к разработке ПО стендов для прецизионных измерений постоянных магнитных полей позволил улучшить его надежность, качество и наглядность измерений, а также снизить время на разработку новых программ.

Принципы, на которых базируется разработка программного комплекса, позволяют использовать модули, входящие в его состав, в других проектах. Модули универсальной библиотеки могут использоваться и в других системах управления.

Созданное ПО автоматизированных производственных установок позволило разработать и освоить целый ряд новых уникальных технологий: горячую склейку магнитных элементов из шихтованного железа; пайку обмоток радиационно-стойких магнитов; сверхпроводящих катушек из ниобий-олова; вакуумной пайке токовводов. Оно использовалось при серийном производстве сверхпроводящих шин (Bus Bars), радиационно-стойких магнитов, сверхпроводящих соленоидов и магнитов, дипольных магнитов, разнообразных магнитных линз.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Концепция, согласно которой следует разрабатывать ПО измерительных систем и созданный на ее основе каркас (фреймворк).
2. Библиотека, предоставляющая ПО универсальный интерфейс для обмена данными с аппаратными средствами систем управления.
3. Принцип построения единообразного, простого, интуитивно понятного пользовательского интерфейса прикладных программ.
4. Примененный подход к построению рабочих программ измерительных систем, основанный на использовании созданного фреймворка. Этот подход позволяет сократить время разработки прикладных программ, улучшает их надежность и обеспечивает простую модернизацию аппаратных средств и алгоритмов.
5. Модульная структура и метод конфигурирования программ, управляющих температурной обработкой, обеспечивающие их адаптацию под разнообразные технологические задачи.
6. Создание на основе проведенного анализа и предложенных решений комплекса программ для автоматизации основных этапов производства магнитов ускорителей: изготовления отдельных элементов, измерения параметров, доработки и юстировки, а также тестирования средств измерения.

Апробация работ

Достоверность и правильность результатов проведенной работы подтверждается успешной эксплуатацией созданного программного комплекса на измерительных стендах ИЯФ СО РАН, в эксперимен-

тальном производстве института, а также успешной эксплуатацией изготовленных магнитов на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 (ИЯФ СО РАН), ОИЯИ (г. Дубна) и в зарубежных центрах SPring-8 (Япония), SAGA (Япония), BESSY-II (Германия), DESY (Германия), LHC (CERN, Швейцария), ALBA (Испания).

Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях, симпозиумах и совещаниях. Среди них можно отметить доклады на конференциях по ускорителям заряженных частиц EPAC'2008 и RuPAC'2006, Международных конференциях по синхротронному излучению SR-2006, SR-2010.

Структура работы

Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Она изложена на 129 страницах, содержит 41 рисунок и 1 таблицу. Список литературы включает в себя 50 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описываются основные этапы производства магнитных элементов ускорителей, упоминаются близкие по тематике работы других авторов, и обосновывается актуальность разработки комплекса программных средств.

В первой главе рассмотрены задачи программного комплекса на различных этапах производства магнитных элементов, определены его функции и концепция, в рамках которой выполнялась разработка.

Для выполнения термической обработки магнитных элементов создана система управления, базирующаяся на территориально разнесенных унифицированных блоках управления, объединяемых с помощью последовательного канала связи. Установка функционирует под управлением персонального компьютера. Функции управляющей программы заключаются в организации обмена данными между ПК и блоками управления, автоматическом регулировании температуры различных зон изделия, сборе, отображении и сохранении информации о ходе рабочего процесса, диагностике состояния системы управления. Кроме того, ПО должно обеспечить возможность простого изменения температурных графиков и конфигурации аппаратных средств, что особенно важно на этапе отладки технологии.

Как правило, после изготовления магнитные элементы требуют прецизионного измерения характеристик и дальнейшей юстировки. Одним из основных и наиболее распространённых методов определения характеристик магнитов ускорителей является индукционный метод, использующий интегрирование сигнала со специализированных катушек. Для измерения параметров магнитов индукционным методом в ИЯФ СО РАН разработано несколько стендов. Аппаратные средства, входящие в состав стенда, позволяют оперативно переконфигурировать его структуру под различные задачи. Электроника базируется на комплекте аппаратуры, выполненной в стандарте VME, и может включать следующие устройства: интеграторы с цифровым выходом, измерительные катушки с малощумящими усилителями, двигатели, перемещающие измерительные катушки, устройства для определения положения измерительных катушек, VME-крейт с контроллером, мощные источники питания магнитов и персональный компьютер.

Измерительный стенд управляется программой, исполняющейся на персональном компьютере, функциями которой являются:

- управление аппаратными средствами стендов;
- выполнение соответствующего сценария измерений;
- хранение, отображение и обработка результатов измерений;
- подготовка данных для станка, на котором производится финальная доработка изготавливаемого магнита, либо для оператора в случае ручной юстировки.

Также следует отметить, что для использования всех возможностей по конфигурированию систем управления, предоставляемых аппаратными средствами, ПО должно создаваться с их учетом. Поэтому автором предложено разработать «базовый каркас» (фреймворк) ПО, который включал бы в себя набор библиотек, ускоряющих разработку новых программ измерительных комплексов и упрощающий модификацию уже существующих. Для достижения этих целей, фреймворк должен основываться на концепциях, связанных с решаемыми задачами, и разрабатываться таким образом, чтобы его компоненты могли использоваться без изменений в различных измерительных системах.

В качестве модели разработки программного комплекса выбрано объектно-ориентированное программирование, которое нацелено на создание сложных, расширяемых программных систем. Сами же

приложения решено разрабатывать в рамках трехслойной модели. При этом выделяются слои:

- представления данных, который отвечает за отображение информации и интерпретацию пользовательских команд;
- бизнес-логики, обрабатывающий полученные данные;
- источника данных, реализующий обмен данными с аппаратными средствами систем управления.

Основными компонентами ПО систем управления установками температурной обработки являются описанные ниже модули (рисунок 1). Во-первых, это модуль пользовательского интерфейса, который входит в состав слоя представления данных. Во-вторых – слой источника данных (аппаратура). В рамках этой работы, источником данных являются микропрограммы блоков управления.

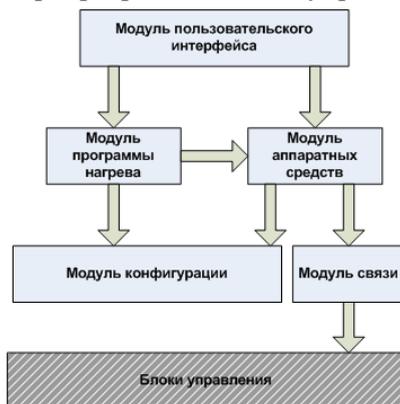


Рис. 1. Компоненты ПО систем управления температурной обработкой.

Следующий модуль (связи) предоставляет функции для обмена данными между слоями бизнес-логики и источника данных. Оставшиеся модули аппаратных средств, программы нагрева и конфигурации, входят в состав слоя бизнес-логики.

В состав ПО измерительных стендов входят (рис. 2): модуль связи, модуль аппаратных средств, модуль измерений, модуль магнитов, модуль общих элементов управления и модуль пользовательских приложений. Все эти модули, кроме модуля пользовательских приложений, входят в состав фреймворка ПО измерительных систем, и используются при создании конечных программ.

В качестве операционной системы управляющего персонального компьютера применяется ОС MS Windows 2000/XP, а языка

программирования – С# совместно с С++. Для управления технологическим оборудованием использована MS DOS 6.22 и С++.

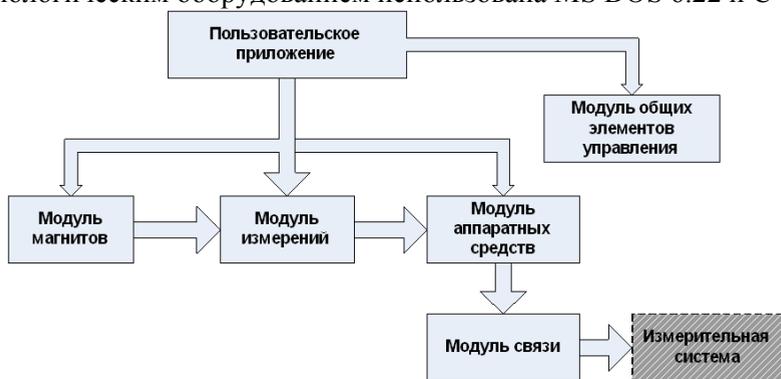


Рис. 2. Компоненты ПО измерительных стенов.

Во второй главе рассматриваются способы реализации отдельных компонент ПО.

Первым описывается модуль связи, обеспечивающий обмен данными между аппаратными и программными средствами измерительной системы. Модуль связи разбит на две части, которые взаимодействуют по модели клиент-сервер. Клиентом является ПО персонального компьютера, а сервером – программа (сервис), выполняющаяся на VME контроллере. Для удобства конфигурирования ПО VME контроллера разделено на несколько независимых частей, каждая из которых является классическим TCP/IP сервером и предоставляет доступ к своему набору устройств.

Со стороны персонального компьютера с сервисами взаимодействует клиентская часть модуля связи. Она предоставляет пользовательской программе стандартный интерфейс, позволяющий остальным модулям взаимодействовать с аппаратными средствами системы управления измерительным стендом.

Функции модуля связи в первую очередь используются модулем аппаратных средств, который содержит описание входящих в состав стенда устройств и применяется для управления ими.

Программные объекты, соответствующие физическим устройствам, используются модулем измерений. В этом модуле реализуются алгоритмы, согласно которым измеряются параметры магнитов и выполняется предварительная обработка полученных результатов, независимая от типа измеряемого элемента.

Помимо управления стендом и выполнения измерений, ПО должно сохранять результаты измерений и конфигурацию системы, при которой они были получены. Для этих целей используется набор объектов, объединенных в модуле магнитов, которые описывают измеряемые магниты. При этом все параметры магнита хранятся в абстрактном классе Magnet, а его тип определяется интерфейсом, который реализуют его наследники.

Далее рассматривается ПО, управляющее автоматизированными линиями для термической обработки элементов магнитов. В первую очередь описываются аппаратные средства системы управления, и приводится система команд блоков управления.

Затем описывается модуль аппаратных средств, который содержит в себе описание всех устройств, задействованных в системе управления технологической установкой: нагревательные элементы, датчики и блоки управления. Также в этом модуле описываются канал управления – соответствие между нагревательными элементами и датчиками, с помощью которых они контролируется.

Одним из свойств канала управления является функция, которую следует использовать для расчета мощности нагрева в зависимости от текущего состояния системы. Для расчета мощности подаваемой на нагреватели, программа, для каждого из этапов нагрева, строит непрерывный теоретический график изменения температуры от времени ($T(t)$). Исходя из этого графика, мощность на нагревательные элементы подается согласно следующим правилам:

$$P = 1 \quad (T_k - T) > T_{\text{пл}} \vee T < T(t),$$

$$P = \frac{T_k - T}{T_{\text{пл}}} \quad 0 \leq (T_k - T) \leq T_{\text{пл}} \vee T < T(t),$$

$$P = 0 \quad (T_k - T) < 0 \wedge T > T(t),$$

где T – измеренная температура, T_k – температура в конце этапа, $T_{\text{пл}}$ – диапазон линейной или «плавной» регулировки температуры, t – время, прошедшее от начала этапа. Несмотря на свою простоту, этот алгоритм удовлетворял требованиям по точности регулирования температуры, предъявляемым к системам управления автоматизированными линиями.

После этого показывается, каким образом график нагрева представлен в ПО и приводятся алгоритмы, согласно которым производится управление технологической установкой.

Чтобы обеспечить возможность оперативной настройки системы управления под конкретный процесс, информацию об аппаратных средствах системы управления и графике следует хранить отдельно от самой программы, и считывать во время загрузки программы. Для этих целей применяются конфигурационные файлы, для написания которых создан специальный язык, описываемый далее.

В третьей главе продемонстрировано применение созданного программного комплекса и показано, как и какие программы для измерительных стендов созданы с помощью описанного фреймворка.

Одной из таких программ, является программа, применявшаяся для точной настройки интегралов магнитного поля вигглеров-затухателей накопителя PETRA III (DESY), спроектированных и изготовленных в ИЯФ СО РАН.

Основным методом настройки вигглеров-затухателей являлось измерение интегралов магнитных полей натянутой струной. Свитая из 30 проволок струна перемещалась внутри вигглера в горизонтальном или вертикальном направлении с регулируемым шагом при помощи автоматической подвижки. Напряжение, индуцированное при движении струны в магнитном поле, интегрировалось на каждом шаге и преобразовывалось в код с помощью интегратора VsDC.

Измерительный стенд работал под управлением программы S-Wire. Ее пользовательский интерфейс включает в себя набор окон. Во-первых, это окно со стандартными элементами управления измерительной сессией и конфигурирования аппаратных средств. Следующая вкладка отвечает за управление измерениями и вывод их результатов. С её помощью оператор настраивает параметры и выполняет измерения интегралов магнитного поля. Также в этом окне выводятся результаты работы программы: зависимость измеренного интеграла от положения струны и полиномиальные коэффициенты, характеризующие «гладкость» поперечных распределений интегралов полей.

Кроме того, программа S-Wire позволяет строить зависимость интегралов поля от координат как в направлении движения струны, так и в перпендикулярном направлении $I(x,y)$. В таких случаях измерения проводятся с помощью одной струны, последовательно сдвигая её в вертикальном направлении для каждого «продольного» измерения.

Результатом проведённой работы и, в том числе, эксплуатации ПО стал успешный запуск в конце 2009 г. накопителя PETRA III и

получения, после настройки оптики кольца, рекордного эмиттанта $1 \text{ нм}\cdot\text{рад}$.

В практике магнитных измерений одной из часто выполняемых работ является измерение мультиполюсных компонент магнитных линз и доработка линз по результатам этих предварительных измерений. На этом этапе определяются и доводятся до требуемых значений мультиполюсные компоненты и, соответственно, положение магнитной оси, углы наклона и поворота магнитной плоскости линз. Измерение этих параметров выполняются с помощью хорошо известного метода радиальной вращающейся катушки.

В настоящее время в ИЯФ СО РАН эксплуатируются два стенда, на которых выполняются измерения и финальная доводка магнитных мультиполей. Они отличаются друг от друга конструкцией измерительных катушек, аппаратными средствами и алгоритмами проведения измерений.

Первый из них включает: VME крейт, два интегратора VsDC, шаговый двигатель, измеритель угловых перемещений, два мощных источника тока, персональный компьютер и измерительную катушку.

Для измерения параметров мультиполей эта система использует пошаговое вращение, при котором катушка совершает последовательные шаги на углы порядка нескольких градусов. На каждом шаге сигнал с катушки интегрируется и таким образом измеряется приращение величины тангенциальной составляющей магнитного потока (или усредненного по катушке поля, т.к. геометрия катушки не изменяется). Если суммировать измеренные приращения, то получим зависимость величины магнитного поля от угла, из которой вычисляются остальные параметры.

Интерфейс программы, управляющей этим измерительным стендом (Rotating Coils 1.0), помимо обязательных, включает следующие окна. Во-первых, окно для управления измерениями. С его помощью оператор может конфигурировать измерения, запускать/останавливать выполнение процедуры измерений и управлять выводом их результатов на экране. В качестве таких результатов программа выводит зависимости магнитного поля, смещения аппаратных нулей и шага в зависимости от угла поворота катушки. И последнее окно программы Rotating Coils отображает основные параметры мультиполей, которые используются для доработки линз и формирования паспорта магнита.

Второй стенд для измерения параметров магнитных мультиполей сложнее с аппаратной точки зрения и имеет ряд преимуществ, обусловленных конструкцией катушки и сценарием измерения. Катушка состоит из двух половинок, каждая из них включает в себя по три независимые катушки, которые коммутируются таким образом, чтобы компенсировать ошибки, вносимые биением оси вращения и пульсациями тока питания мультиполя.

Еще одним существенным отличием является то, что в новом стенде катушка во время измерения вращается непрерывно. Непрерывное вращение потребовало внесения существенных изменений в аппаратную часть стенда.

Для управления описанным стендом разработана программа Rotating Coils 2.0, которая является расширением уже существовавшей Rotating Coils 1.0. В нее были внесены изменения, связанные с обновлением аппаратных средств системы управления и модификацией алгоритмов, согласно которым выполняются измерения и обрабатываются данные.

Важной особенностью систем управления измерительными стендами является то, что в них, наряду скупаемыми аппаратными средствами, применяются устройства, разработанные и изготовленные в ИЯФ СО РАН. Примерами таких устройств являются разнообразные интеграторы (V_sDC , V_sDC2), АЦП и так далее. Прежде чем применять их в измерительных системах, требуется измерить их параметры с высокой точностью. В противном случае, нельзя гарантировать требуемое качество измерений. В силу этих причин, в состав программного комплекса включены утилиты для тестирования аппаратных средств измерительных стендов. Они создаются по аналогии с программами для измерений. В этом случае каждая вкладка на главном окне соответствует отдельному тесту устройства.

В качестве примера тестовой утилиты приводится программа для проверки интеграторов V_sDC2 . Для этих устройств реализован следующий набор тестов: тест общей функциональности; осциллографический тест; тесты шумов; тесты нелинейностей.

После этого описывается ПО технологических установок, которое является важной составляющей программного комплекса автоматизации производства и контроля магнитных элементов ускорителей. Здесь, в первую очередь описывается утилита для тестирования аппаратных средств системы управления. Для этих

целей используется программа (boxtest), которая является консольным приложением MS DOS. Она предоставляет оператору набор команд, позволяющих управлять технологической установкой в ручном режиме, проверяя, тем самым, её исправность.

Далее в качестве примера описываются программы, управляющие автоматизированными установками термической обработки. Первой из них является ПО, применявшееся для управления отжигом сверхпроводящих соленоидов из ниобий-олова. Для придания катушкам из ниобий-олова нужных свойств, их требуется отжечь в вакуумной печи с соблюдением дополнительных требований к вакууму в прогреваемой камере.

Для управления этой печью создана программа TCS 3.1, отличающаяся от остального ПО технологических установок наличием нового типа устройства – датчика вакуума, а также возможностью управлять нагревом с учетом дополнительных условий. Следует отметить серьезные требования к надежности системы управления, которые обуславливаются высокой стоимостью изделия (более 60000 руб.) и длительностью процесса отжига (около 8 суток). Для их реализации в ПО добавлены следующие функции, резервирования аппаратных средств и автоматическое переключение между ними, в случае возникновения неисправностей, и возобновления работы программы после аварийной остановки; дистанционного мониторинга системы управления.

Ещё одной рассматриваемой в главе 3 работой является производство длинных сверхпроводящих шин Bus Bar's, предназначенных для подведения питания к сверхпроводящим магнитам на крупнейшем ускорителе LHC (CERN). Bus Bar – это медная шина прямоугольного сечения, изогнутая в трех плоскостях. Ее длина, в зависимости от типа, может изменяться от 6 до 14-ти метров. Во внутреннюю полость шины вставляется сверхпроводящая жила, изготовленная из Nb-Ti.

Технология производств Bus Bar'ов включает в себя два этапа, требующих температурной обработки – пайка внутренних полостей и изготовление внешней электрической изоляции. Для управления технологическими линиями, реализующих указанные процессы, создан ряд программ. Эти программы имеют одинаковую структуру, а их главные отличия заключаются в пользовательском интерфейсе.

Для пайки Bus Var's применялась программа TCS 2.0, а для управления изготовлением изоляции – TCS 1.1. TCS 1.1 отличается от TCS 2.0 более простым пользовательским интерфейсом и алгоритмом работы. Эти отличия обуславливаются особенностями работы линии пайки.

В заключении обсуждаются планы по дальнейшему развитию программного комплекса и подведены итоги проделанной работы.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. A.M. Batrakov, A.N. Dubrovin, I.V. Ilyin, D.S. Shichkov, et al. Prototype of the permanent magnet wiggler for accelerator Petra III. // NIM A, 2007, v.575, p. 46-49.
2. A.M. Batrakov, A.N. Dubrovin, I.V. Ilyin, D.S. Shichkov, et al. Model of the permanent magnet wiggler for accelerator Petra III. // NIM A, 2007, v.575, p. 50-53.
3. M. Tischer, K. Balewski, A. Batrakov, D.S. Shichkov et al. Damping Wigglers at the Petra-III Light Source. // Proc. of 2008 EPAC, Genoa, Italy, 2008.
4. A. Batrakov, V. Sazansky, D. Shichkov, P. Vagin. Hardware and software for precise magnetic measurements with movable coils. // Proceedings of RuPAC 2006,
5. А.М. Батраков, Б.Р. Карымов, Д.С. Шичков. Автоматизация технологического оборудования для термической обработки узлов физических установок. // Препринт ИЯФ 2003-055, Новосибирск, 2003.
6. А.М. Батраков, П.В. Вагин, П.Д. Воблый, В.Я. Сазанский, Д.С. Шичков. Аппаратура для прецизионного измерения постоянных магнитных полей с помощью перемещаемых катушек. // Препринт ИЯФ 2008-026, Новосибирск, 2008
7. А.М.Батраков, П.В.Вагин, П.Д.Воблый, А.Б.Огурцов, Д.С.Шичков. Программное обеспечение систем измерения магнитных полей с помощью перемещаемых катушек, Препринт ИЯФ 2008-034, Новосибирск, 2008
8. А.М. Батраков, П.В. Вагин, П.Д. Воблый, Д.С. Шичков и др. Комплекс аппаратных и программных средств для точной настройки вигглеров-затухателей накопителя РЕТРА-III. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011, №11 стр. 26-35.

ШИЧКОВ Дмитрий Сергеевич

**Комплекс программных средств систем
автоматизации производства и контроля
магнитных элементов ускорителей**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Сдано в набор 16.11. 2011 г.

Подписано в печать 17.11. 2011 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 32

Обработано на РС и отпечатано
на ротапринте «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11