

ОТЗЫВ

официального оппонента
доктора технических наук Серова Анатолия Федоровича
на диссертацию **Карнаева Сергея Евгеньевича**
«Системы управления ускорительным комплексом ВЭПП-4 и бустерным синхротроном источника СИ NSLS-II», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в диссертационный совет Д 003.016.01 на базе ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

1. Актуальность темы исследования и ее связь с практикой и развитием науки и техники.

Современные ускорительно - накопительные комплексы занимают особое место при постановке экспериментов по физике высоких энергий, ядерной физике, исследованию с использованием синхротронного излучения и представляют собой сложные разнородные объекты управления с разнообразными режимами работы и большим числом управляемых и измеряемых параметров. Научно-квалификационная работа Карнаева Сергея Евгеньевича посвящена решению актуальных задач разработки эффективных систем управления режимом исследований на крупных ускорительных комплексах. Объектами широкого внедрения современных методов автоматизированного управления у Карнаева были две крупные экспериментальные установки: ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-4 ИЯФ СО РАН и бустерный синхротрон источника СИ NSLS-II в Брукхейвенской национальной лаборатории США. Созданные и внедренные автором диссертации методики автоматизированного управления сложными комплексами успешно используются на коллайдере ВЭПП-4 и синхротроне источника СИ NSLS-II, обеспечивая эффективную постановку новых экспериментов и проведение многочасовых исследований. Примером эффективности может служить значительное ускорение ввода в действие источника СИ NSLS-II за счет созданного и применяемого современного ИТ-продукта на комплексе ВЭПП-4 ИЯФ СО РАН.

2. Цель научного исследования

Целью диссертационной работы Карнаева Сергея Евгеньевича являлась демонстрация процесса создания и применения современных средств ИТ-технологий управления крупными электрофизическими установками на примере программно-аппаратного комплекса системы управления ВЭПП-4 ИЯФ СО РАН РФ и бустером источника СИ NSLS-II в Брукхейвенской национальной лаборатории США. Создаваемая Карнаевым С.Е. автоматизированная система была нацелена на реализацию эффективного использования научного оборудования во время проведения экспериментов и возможность широкого применения в научно-технической практике научного сообщества.

3. Научные результаты в рамках требований к научной значимости и новизны.

Для решения поставленных задач, Карнаев Сергей Евгеньевич, на основе личного опыта при выполнении исследований по физике высоких энергий и ядерной физике на ускорительного накопительного комплекса ВЭПП-4, сформулировал современные требования к системам управления крупными физико-техническими установками,

определен методы управления, выбрал и обосновал архитектуру программных и аппаратных подсистем и создал основную часть многоуровневого программного кода для ряда действующих установок. Многие решения являются авторскими и получили широкое применение при модернизации управления ускорительного комплекса ВЭПП-4М и системы управления бустером источника СИ NSLS-II. В результате проделанной автором работы создан современный инструмент для эффективной эксплуатации ускорительного комплекса ВЭПП-4М ИЯФ СО РАН РФ и системы управления бустера источника СИ NSLS-II в Брукхейвенской национальной лаборатории США.

4. Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и трех приложений, изложена на 267 страницах, включает 91 иллюстрацию, 9 таблиц и содержит 152 наименования библиографии.

Во введении на анализе представленного материала показана роль применения автоматизированных систем управления крупными физико-техническими установками, проанализированы и показаны факторы, влияющие на эффективность функционирования исследовательских комплексов. На основе проведенного глубокого анализа были определены основные задачи и приведены положения, вынесенные автором на защиту.

В первой главе на примере ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-4 ИЯФ СО РАН содержится обзор задач и анализ требований, предъявляемых к современной системе управления ускорительным комплексом. Комплекс ВЭПП-4 включает в себя инжектор, накопитель-ускоритель ВЭПП-3 и электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М и ряд станций для работы с синхротронным излучением (СИ). Автор показал, что основными требованиями к автоматизированной управляющей системе при работе в реальном времени со многими точками контроля и воздействия, необходимо специальное ПО, которое обеспечивает четкую синхронизацию работы аппаратуры с учетом экспериментальных данных с широким применением централизованных сервисов баз данных для конфигурирования системы управления и хранения данных о состоянии установки и восстановления ситуации для заданного момента в истории эксперимента. Показано, что даже самые незначительные взаимные отклонения отработки задания источниками питания приводят к потерям ускоряемых частиц, и по этой причине очень важно непрерывно отслеживать правильность отработки в течение всего времени существования пучка в ускорителе.

Во второй главе диссертации перечисляются физические эксперименты с использованием пучков электронов и позитронов и содержится описание первого этапа оснащения автором ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-4 ИЯФ СО РАН системами управления. Система управления комплексом в соответствии с составом самого комплекса разбита на несколько частей: подсистемы управления инжектором “Позитрон”, ВЭПП-3, каналом транспортировки и ВЭПП-4М. Для управления установками и процессами проведения экспериментов автор разработал и внедрил множество оригинальных автоматизированных методик, позволяющих эффективно решать исследовательские и эксплуатационные задачи комплекса. Основной методикой управления большинством устройств является определение параметров пучка частиц, его

положение на орбите и вычисление корректирующего воздействия на системы питания элементов ускорителя.

В третьей главе автор диссертации описывает созданную систему управления бустера NSLS-II и описывает структуру оснащения синхротрона и формулирует конкретные требования на управление элементами магнитной системы, генератором ВЧ питания резонатора, элементами импульсной системы впуска/выпуска пучка. Поскольку ускоритель предназначен для получения пучка с заданными параметрами, то только измерение этих параметров полноценно характеризует качество работы установки. Поэтому, для диагностики пучка существует и используется множество методик, каждая из которых, как правило, применима для своего случая. Аппаратура диагностики должна обеспечивать необходимую чувствительность и временное разрешение, как при детектировании, так и при численной обработке сигналов, создаваемых пучками частиц. При создании данной системы управления автором был учтен опыт управления аналогичными синхротронами, работающими на других современных источниках СИ: PSI (Швейцария), Soleil (Франция), Diamond (Англия) и ALBA (Испания). В результате анализа эксплуатации этих установок Карнаев Сергей Евгеньевич определил требования к системе управления бустером NSLS-II.

В четвертой главе приведено описание применённых алгоритмов управления, реализованных на основе базового ПО программной платформы EPICS, показаны особенности его реализации. Автор показывает, что применяя архитектуру EPICS и используя протокол этой платформы с программным сервером ввода/вывода, удаётся эффективно осуществлять сбор и синхронизацию измеренных данных, подготовку и загрузку в аппаратуру управляющих массивов, обеспечивать непрерывный мониторинг параметров комплекса. Глава посвящена решению широкого круга задач сбора данных с различных устройств комплекса и выдачи управляющих команд в зависимости от анализа данных. В широкий круг контроля работы отдельных устройств включены источники питания магнитной системы, генераторы импульсных токов устройств впуска/выпуска, пикап-станции с данными о положении пучка электронов и позитронов. Описаны подробности работы с промышленными контроллерами, использующимися для управления бустером: PLC и контроллерами для работы с вакуумным оборудованием.

В пятой главе, на примере задач управления бустером NSLS-II Брукхейвенской национальной лаборатории США, приведен опыт создания комплекса инженерных и операторских приложений системы на базе Control System Studio. В пятой главе также рассмотрен набор приложений, разработанный для диагностики состояния электронных устройств, применяющихся для управления бустером. Пакет приложений для работы с источниками питания, содержит описание приложения для решения задачи формирования и редактирования управляющих команд для всех элементов комплекса (магнитной системы бустера, систем впуска/выпуска, ВЧ-системы) и отображения текущего состояния управляемых элементов. Созданные операторские приложения обеспечивают простой и наглядной графической навигации по большому числу приложений с помощью «кнопок», выпадающих списков и подгружаемых меню.

В шестой главе дано описание созданных сервисных операторских приложений различного назначения, которые связывают отдельные установки (ускорители, поворотные магниты, линзы, источники питания и др.) в единый исследовательский комплекс. Особое

место в сервисных средствах занимает сбалансированное численно-графическое представление отображаемых значений параметров в элементах и системах бустера. Специальный пакет программ, по полученной информации с датчиков измерения величины тока, положения пучка частиц и по данным распределения пучка по сепараторам, позволяет эффективно управлять источниками питания магнитной системы бустера и выполнять детальную проверку состояния различных систем электроники с тактовой частотой 1 кГц. В шестой главе показано, что созданный пакет программ также обеспечивает удобный просмотр и сравнение, как сохраненных значений, так и значений, полученных в данный момент из устройства, что предоставляет гибкие возможности для оперативной диагностики, анализа режимов работы бустера и необходимой коррекции заданных параметров.

- 5. В заключении** перечислены основные результаты работы, которые Карнаев Сергей Евгеньевич выносит на защиту:
1. Разработку и реализацию оригинальной структуры программно-аппаратного комплекса системы управления ВЭПП-4, внедрение созданного системного и прикладного программного обеспечения, состав и метрологические параметры контрольно-измерительной аппаратуры ускорительного - накопительного комплекса ВЭПП-4М ИЯФ СО РАН РФ и системы управления бустера источника СИ NSLS-II в Брукхейвенской национальной лаборатории США.
 2. Впервые предложены и реализованы новые способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, использования данных для автоматизированного управления ускорительными установками комплекса ВЭПП-4, обеспечивающие возможность эффективного проведения экспериментов по физике высоких энергий и ядерной физике с использованием пучков электронов и позитронов, а также экспериментов с использованием СИ.
 3. Исходя из практических результатов работ по созданию и эксплуатации системы управления комплекса ВЭПП-4М, сформулированы общие требования и принципы построения системы управления сложным ускорительным комплексом.
 4. На основе анализа возможностей электроники и вычислительной техники, а также следуя сформулированным принципам построения, предложена и реализована схема распределенной системы управления бустера NSLS-II, включающая в себя как специально разработанные устройства для управления и диагностики, так и средства промышленной автоматизации.
 5. В соответствии со сформулированными принципами построения исследовательского комплекса создано ПО системы управления бустера, включающее необходимые базовые программные средства и набор инженерных и операторских программ.
 6. Исходя из анализа возможностей аппаратных и программных ресурсов, а также сформулированных требований на управление бустером, предложены и реализованы эффективные алгоритмы для управления источниками питания, для измерения и получения из аппаратуры диагностических данных и их on-line обработки.
 7. Впервые создана система тотального непрерывного мониторинга в течение цикла работы бустера, автоматически выявляющая отклонения любых параметров и обеспечивающая визуализацию процесса и оперативную коррекцию.

8. Впервые создана гибкая универсальная система сохранения, восстановления и сравнения значений параметров бустера. Система оперирует как со скалярными значениями, так и массивами значений сигналов, описывающими поведение параметров в течение всего цикла работы бустера.

6. Степень обоснованности и достоверности каждого результата, вывода и заключения соискателя, сформулированные в диссертации.

Выводы, сделанные в диссертационной работе Карнаева Сергея Евгеньевича, достаточно обоснованы и убедительны. Предложенные и реализованные принципы построения компьютерных систем управления современными ускорительными установками выполнены с привлечением оригинальных методик и средств. Достоверность и надежность созданных ПО автоматизированных систем управления не вызывает сомнений, они воспроизводимы и в ряде случаев подтверждены независимыми пользователями. Используя в работе предложенные и реализованные методы управления ускорительными установками комплекса ВЭПП-4 и распределенной системой бустера NSLS-II, Карнаев Сергей Евгеньевич создал новую эффективную автоматизированную распределенную систему управления сложной исследовательской физической установки, которая обеспечивает экспериментатору возможность эффективного и наглядного выполнения исследования.

7. Автор диссертации указывает, что основные результаты работы аprobированы на международных и национальных конференциях: ICALEPCS'97, EPAC'98, PAC'2001, APAC'01, ICALEPCS'01, EPAC'02, PCaPAC'02, WAO2003, IWCPA2005, PCaPAC'05, ICALEPCS'05, EPAC'2006, RuPAC2006, PCaPAC'06, PCaPAC'08, ACIT'2010, TAU2010, PAC'11, IWCPA2011, ICALEPCS'11, MESON2012, RuPAC2012, IPAC2013, ICALEPCS'13, IPAC2014, IPAC2015, SFR-2016.

8. **Диссертация** изложена на 267 страницах, по теме диссертации опубликовано около 100 научных работ, в том числе, более 20 работ - в реферируемых журналах, отмечаемых в Web of Science и Scopus, более 25 работ в периодических изданиях, входящих в рекомендуемый перечень ВАК и более 50 работ представлены на международных научных конференциях. Результаты диссертационной работы служили основанием получения поддержки на проведение исследований со стороны Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 01-02-17477-а, 02-07-90108-в), работа также входила в программу исследований, поддержанную грантом 00-07-90334-в.

9. **Автореферат** полностью соответствует содержанию диссертации. Наряду с общей характеристикой работы дано краткое содержание каждой главы.

10. Недостатки по содержанию и оформлению.

Диссертационная работа не лишена недостатков, причем это касается в основном оформления. Можно указать следующие основные замечания:

1. Значительная часть работы Карнаева Сергея Евгеньевича (~133 стр.) посвящена системному анализу управления сложной исследовательской установкой при наладке,

проводении эксперимента, и как следствие анализа, была предложена ИТ-система на основе многопроцессорного комплекса управляющих, регистрирующих и представляющих в удобной форме процесс исследования вычислительных средств. Основой реализованной системы автоматизированного сбора, хранения данных и управления комплексом ВЭПП-4 является оригинальный интеллектуальный КАМАК-контроллер «одрёнок», о котором сказано только то, что он полностью реализует систему команд машин Одра-1300. Желательно, чтобы были показаны параметры данного контроллера, которые обеспечивают эффективную управляющую функцию распределённой многопроцессорной и многопрограммной системы и возможная замена его на существующие микропроцессорные контроллеры.

2. В диссертации довольно подробно изложены реализованные специфичные методы по сбору и использованию параметров устройств ускорительных установок и поведению пучка заряженных частиц комплекса ВЭПП-4М и бустера NSLS-II. Учитывая огромный опыт Карнаева Сергея Евгеньевича в организации автоматизированного управления исследовательским оборудованием, хорошим вкладом может быть четко сформулированные универсальные принцип создания подобных ИТ-систем для крупных производственных структур.

3. В тексте автореферата отсутствуют ссылки на публикации по рассматриваемым материалам и графическая информация, что осложняет восприятие материала.

Однако, указанные замечания не снижают значимости проведенных исследований. Таким образом, диссертация Карнаева Сергея Евгеньевича является законченным и выполненным на современном научном уровне научным исследованием.

В целом, диссертационная работа Карнаева Сергея Евгеньевича «Системы управления ускорительным комплексом ВЭПП-4 и бустерным синхротроном источника СИ NSLS-II» является квалифицированным научным трудом, в полной мере отвечающим требованиям п. 9, 10 Положения ВАК Минобрнауки РФ о порядке присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий, а её автор – Карнаев Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Официальный оппонент,
д-р техн. наук, профессор,
гл. н. с. ФГБУН Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН

 А.Ф. Серов

сл. тел. 383-3306466, электронный адрес: serov@itp.nsc.ru

Подпись официального оппонента, д-ра техн. наук, профессора,
гл. н. с. Серова А.Ф. заверяю:

Ученый секретарь
ФГБУН Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН



М.С. Макаров

сл. тел. 383-3306044, электронный адрес: sci_it@itp.nsc.ru

17.11.2017 г.