



**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт теоретической и экспериментальной
физики имени А.И.Алиханова Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ)**



Россия, 117218, Москва, Б. Черемушкинская, 25
Тел.: (499) 125-32-97, факс: (499) 127-08-33, e-mail: director@itep.ru
ОКПО 08626259, ОГРН 1127746291848, ИНН/ КПП 7727777000/772701001

УТВЕРЖДАЮ:

Директор

федерального государственного бюджетного учреждения
«Институт теоретической и экспериментальной физики
имени А.И. Алиханова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

кандидат физико-математических наук

Егорычев Виктор Юрьевич

2017 г.



ОТЗЫВ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ) 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

Актуальность темы исследования. Крупные ускорительные комплексы являются важным инструментом для развития многих отраслей фундаментальной и прикладной науки, а также для проведения исследований в области новых технологий, касающихся разнообразных научных направлений: от археологии до ядерной медицины. Ввиду большого количества, разнообразия и сложности оборудования, использующегося для получения и ускорения пучков заряженных частиц, строгости современных требований к параметрам пучков, а также множества задач,

решаемых с помощью их использования, разработка систем управления ускорителями в настоящее время представляет собой сложную научно-техническую задачу, требующую для своего решения исследований возможности применения новейших достижений в области электроники, компьютерной техники, обработки данных, программирования и многих других отраслей знаний и технологий. Рассматриваемая диссертационная работа касается разработки и создания систем управления крупными ускорительными установками, использующимися в настоящее время для проведения научных экспериментов в двух ведущих мировых ускорительных лабораториях: это комплекс ВЭПП-4 в Институте ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск и бустерный синхротрон (бустер) источника СИ NSLS-II в Брукхейвенской национальной лаборатории, США. Успешная работа ускорителей и возможность их использования для проведения научных экспериментов определяются функциональными возможностями и надежностью системы управления, что подтверждает актуальность диссертационной работы.

Структура и содержание работы. Структура и содержание диссертации отражает процесс выполнения работы. Сначала автор описывает разработку и развитие методов управления для комплекса ВЭПП-4, что продолжалось на протяжении длительного срока в процессе эксплуатации установок и принесло большой опыт и знания, которые затем были применены при разработке системы управления бустером NSLS-II, подробное описание которой содержится в следующих главах диссертации.

Во введении отмечена значимая роль системы управления в работе ускорительного комплекса. Далее по главам кратко излагаются основные задачи и результаты проделанной работы. В конце введения приводятся положения, вынесенные автором на защиту.

В первой главе в общем виде рассматриваются задачи, которые решает система управления крупной ускорительной установкой. На основании опыта, полученного автором в ходе выполнения работы, сформулированы основные требования, которые предъявляются к современной системе управления ускорителем. Значительная часть главы касается характеристики и систематизации программного обеспечения, разработка которого представляет собой наиболее трудоемкую задачу при создании системы управления.

Во второй главе описывается развитие системы управления комплекса ВЭПП-4 и рассматриваются методы, разработанные и реализованные автором для обеспечения работы установок комплекса и проведения на нем экспериментов с использованием пучков заряженных частиц и синхротронного излучения.

Третья глава касается создания аппаратной инфраструктуры и разработки методик для управления бустером на энергию пучка 3 ГэВ источника СИ NSLS-II, введенном в эксплуатацию в 2015 году в Брукхейвенской национальной лаборатории. Разработка базируется на развитии на новой технической базе решений, наработанных автором в процессе создания и эксплуатации системы

управления комплекса ВЭПП-4. Прежде всего нужно отметить предложенный автором метод управления источниками питания бустера, обеспечивающий возможность гибкого управления и непрерывного отслеживания их параметров. Для реализации метода разработаны специализированные контроллеры, управляющие всеми типами источников питания магнитной системы, а также создано соответствующее программное обеспечение. Представляют интерес решения, использованные для создания системы синхронизации: генерация специальных сигналов (событий) для запуска различных процессов, использование кратных периодов выполнения операций, шкал времени разного масштаба.

Четвертая глава описывает структуру базового программного обеспечения (ПО) и функции, реализованные его уровне. Базовое ПО обеспечивает взаимодействие с аппаратурой и предоставляет доступ к данным, характеризующим состояние всех компонентов системы. Его функциональные возможности служат основой для разработки верхнего операторского уровня ПО, реализующего логику и функции управления. В свою очередь, реализация некоторых функций управления на уровне базового ПО, позволила значительно повысить производительность системы, добавила функции автоматической обработки данных и упростила построение операторского уровня ПО.

Пятая глава диссертации описывает инженерные и операторские приложения, разработанные для управления элементами и системами бустера. Разработан целый комплекс приложений для диагностики разнообразного оборудования, включая электронные устройства и источники питания, позволяющий автономно тестировать как отдельные устройства, так и функциональные системы. Управление источниками питания бустера осуществляется с помощью массивов значений, определяющих поведение элементов во время всего цикла работы, включая впуск, ускорение, выпуск пучка и возврат элементов в исходное состояние. Для формирования и загрузки массивов в специализированные контроллеры разработано универсальное приложение, предоставляющее широкий набор возможностей для редактирования, копирования, сохранения и других операций, связанных с заданием режима работы бустера.

Шестая глава содержит описание приложений, предоставляющих различные сервисы, необходимые для работы с установкой: сохранение/восстановление режимов работы, визуализация и контроль параметров элементов и пучка. Одним из факторов, характеризующих особенности управления бустером, является работа с массивами синхронных контрольно-измерительных данных, представленных в системе в виде массивов одинаковой длины, соответствующих одному циклу работы бустера. Это позволило разработать систему непрерывного контроля с частотой 1 кГц всех управляемых и измеряемых параметров в процессе выполнения цикла, что обеспечивает надежный контроль работы бустера в любой отрезок времени выполнения цикла. Много новых решений, предложенных автором, касается

визуализации и детализации данных: это обработка и сравнение массивов данных, индикация величины отклонения значений параметров, интеграция отображаемых параметров.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты работы: создание систем управления ускорительными комплексами ВЭПП-4 и бустера NSLS-II, включающая разработку методов управления, построение аппаратной структуры и создание ПО.

Таким образом, в целом содержание диссертации полностью соответствует заявленной теме.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности. Создание эффективной системы управления ускорительным комплексом невозможно без анализа и тонкого понимания физических процессов, связанных с поведением пучков частиц и работой сложных устройств, входящих в состав ускорителей. Например, для обеспечения циклического вращения пучка в вакуумной камере синхротрона при ускорении нужно с высокой точностью отрабатывать изменение и поддерживать соответствие магнитных полей различных элементов ускорителя, влияющих на такие параметры, как орбита, бетатронные частоты, хроматизм. Требования, определяемые необходимостью поддержки заданных параметров пучка, должны быть учтены на всех уровнях и во всех компонентах системы управления, обеспечивающих точность и синхронность отработки устройств и обработки данных. Т.е. задача разработки системы управления ускорителем тесно связана с физическими процессами, происходящими на нем, и с работой устройств ускорителя, и, безусловно, относится к специальности 01.04.20 – физика пучков и ускорительная техника.

Автором написан **автореферат**, который **соответствует содержанию диссертации** и отражает основные моменты проделанной работы. После прочтения автореферата у читателя создается полное представление о разработках, сделанных автором в процессе выполнения работы, и обоснованности результатов, вынесенных на защиту.

Личный вклад автора в получение результатов исследования не подлежит сомнению. Он лично принимал и принимает участие в разработке и создании практически всех составляющих системы управления комплекса ВЭПП-4, включая управление инженерными инфраструктурами и ускорительными системами, обеспечение диагностики пучка и обработки экспериментальных данных. Более двух десятилетий автор руководит группой автоматизации и управления на комплексе ВЭПП-4. В 2011-2014 годах под его руководством и при непосредственном участии была создана и запущена в эксплуатацию система управления бустера NSLS-II, включая разработку методов управления, создание аппаратной структуры и программного обеспечения.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается успешной работой ускорительных комплексов. **Теоретическая и практическая значимость результатов** заключается в том, что разработанные методы могут быть применены

для управления любыми сложными электрофизическими установками, где требуется высокая точность и синхронность работы взаимодействующих систем. Эти методы, а также разработки аппаратуры и программного обеспечения будут востребованы для модернизации существующих в ИЯФ СО РАН уникальных научных установок, а также при создании систем управления будущими ускорительными комплексами: источником СИ и чарм-тау фабрикой.

Рекомендации по использованию результатов. Полученные автором результаты и опыт по созданию систем управления крупными ускорительными комплексами можно рекомендовать к использованию в рамках крупных проектов класса мега-сайенс, таких как NICA ОИЯИ г.Дубна, ИССИ-4 НИЦ "Курчатовский институт" и Супер С-тау ИЯФ им. Будкера. Можно выделить некоторые результаты, использование которых, несомненно, окажется полезным при разработке систем управления новыми ускорительными установками:

1. Автором разработана методика управления быстрым изменением параметров сложных устройств с непрерывным контролем, обеспечивающая высокую точность отработки и гибкость управления, а также автоматическое выявление отклонений в ходе выполнения отработки.
2. Разработаны и реализованы принципы построения структуры программного обеспечения, обеспечивающие гибкость при разработке, высокую эффективность, а также возможность модернизации и интеграции системы управления.
3. Разработана система сохранения/восстановления режимов работы, позволяющая эффективно работать с крупной установкой, имеющей множество контрольно-измерительных параметров.
4. Предложены и реализованы методы визуализации, позволяющие в простой графической форме отображать состояние систем со сложной структурой и множеством параметров.

Научная новизна полученных результатов диссертационной работы заключается в разработке и развитии методик управления, обеспечивающих работу уникальных ускорительных установок и достижение ими параметров, необходимых для проведения на них различных научных экспериментов. Разработка включает создание и применение нового уникального контрольно-измерительного оборудования и программного обеспечения.

Замечания по диссертационной работе. Диссертационная работа Карнаева С.Е. не лишена недостатков:

1. Обзор литературы по теме диссертации имеет явный уклон в сторону истории развития установки ВЭПП-4 и создания NSLS-II. Хотелось бы видеть более подробный анализ систем управления и диагностики пучка таких установок как MAX-IV, ESRF, XFEL, даже с учетом того, что последняя установка базируется на линейном ускорителе.

2. На стр. 48 автор утверждает, что отведенных на измерение ста миллисекунд не хватает на измерение нужного числа сигналов и приводит ссылку на литературу 1988 года. С этим утверждением трудно согласиться, т.к. современная электроника позволяет решать задачи данного уровня.
3. Стр. 107 то, что была реализована привязка измерений к событиям, несомненно, достижение, однако, вряд ли можно говорить о глобальном приоритете, утверждая, что это было сделано "впервые в практике"
4. Для системы диагностики (параграф 3.7) не приведены конкретные параметры производительности систем - чувствительность, быстродействие, шумы, разрядность и пр. параметры отдельных устройств, например, DCCT от Bergoz даны не полностью, в частности точность указывается безотносительно полосы пропускания прибора.
5. Автор допускает "проглатывание" слов, например, резонатор с рабочей частотой 72 МГц называется резонатором 72МГц. По тексту часто используются жаргонизмы напр. бамп, антибамп, вэйвформа, мониторируются, рекорды (в смысле записи) и пр. Список литературы содержит мертвые ссылки например [99].

Отмеченные недостатки не снижают ценности работы и результатов, полученных в ходе ее выполнения.

Заключение по диссертации. Диссертация Карнаева Сергея Евгеньевича на соискание ученой степени доктора технических наук является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно обоснованные технические решения, практически использующиеся для управления сложными ускорительными комплексами. Полученные результаты находятся на уровне мировых достижений в области управления крупными ускорительными установками. Например, на бустере NSLS-II получена рекордная эффективность ускорения пучка в сравнении с аналогичными комплексами, запущенными в эксплуатацию в мире за последнее десятилетие.

По совокупности результаты работы можно квалифицировать как научное достижение в области ускорительной физики и техники. Внедрение результатов вносит значительный вклад в развитие ускорительных программ, что соответствует требованиям п.п. 9 и 10 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Работа заслушана и обсуждена на семинаре отделения по ускорительному направлению ИТЭФ 27 сентября 2017 г.

Секретарь семинара:
кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник

Мак

Кац Марк Моисеевич

Отзыв составил:
Плотников Сергей Валентинович
доктор технических наук
ученое звание - старший научный сотрудник
ведущий научный сотрудник
лаборатории "Перспективных разработок"

Сергей Плотников

« » 2017 г.

01.04.20 "Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника"
117218, Россия, Москва, Б.Черемушкинская 25.
+7 916 5342203
адрес электронной почты: plotnikov_54@mail.ru (plotnikov@itep.ru)

Ученый секретарь ИТЭФ:
кандидат физико-математических наук

Васильев Васильев Валерий Васильевич

адрес электронной почты: basil_v@itep.ru



Контакты ведущей организации

Адрес: 117218, Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ)

Телефон: +7 499 125 3297

Адрес электронной почты: director@itep.ru