

На правах рукописи

ЛОГАЧЕВ Павел Владимирович

**НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА ИНТЕНСИВНЫХ
СГУСТКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЭЛЕКТРОННЫМ
ПУЧКОМ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ**

**01.04.20 – физика пучков заряженных частиц
и ускорительная техника**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук**

НОВОСИБИРСК – 2009

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

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

- АЛЕКСЕЕВ
Николай Николаевич – доктор физико-математических наук,
Федеральное Государственное Унитарное
Предприятие "Государственный Научный
Центр Российской Федерации –
Институт Теоретической и
Экспериментальной Физики"
ФГУП "ГНЦ РФ - ИТЭФ", г. Москва.
- ДОВБНЯ
Анатолий Николаевич – доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент Академии
наук Украины, ННЦ ХФТИ, Институт
физики высоких энергий и ядерной физики,
г. Харьков, Украина.
- РАТАХИН
Николай Александрович – доктор физико-математических наук.
профессор, член-корреспондент РАН,
Учреждение Российской академии наук
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения РАН, г. Томск.
- ВЕДУЩАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ – Объединенный институт ядерных
исследований, г. Дубна.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2009 г.
в «_____» часов на заседании диссертационного совета Д.003.016.03
Учреждения Российской Академии наук Института ядерной физики
им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН.

Адрес: 630090, 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: «_____» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

А.А. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Увеличение интенсивности пучков в действующих и проектируемых ускорительно-накопительных комплексах приводит к необходимости разработки новых методов диагностики. Эти методы не должны ухудшать качество исследуемого пучка, и должны работать при высоких плотностях мощности в изучаемом пучке (до 10^{15} Вт/см²). При этом, как правило, времена воздействия подобных плотностей мощности таковы, что ни одно твердое тело не выдерживает прямого воздействия интенсивного пучка. Фактически неразрушающие методы диагностики основаны на измерении электромагнитных полей, создаваемых заряженными частицами интенсивного сгустка. Такие методы используют электромагнитное взаимодействие исследуемого пучка с элементами вакуумной камеры ускорителя, с газовым потоком низкой плотности, с электронным пучком или лучом мощного лазера. Для целей диагностики также возможно использование синхротронного излучения, производимого пучком электронов или позитронов высокой энергии в поворотных магнитах.

В данной работе исследованы возможности нового метода неразрушающей диагностики интенсивных релятивистских сгустков заряженных частиц. Суть метода заключается в следующем. Прецизионный электронный пучок низкой энергии (20 – 200 кэВ) с током до 10 мА, далее – тестирующий пучок, направляется вдоль оси X (см. Рис. 1), перпендикулярно траектории исследуемого сгустка с определенным прицельным параметром ρ .

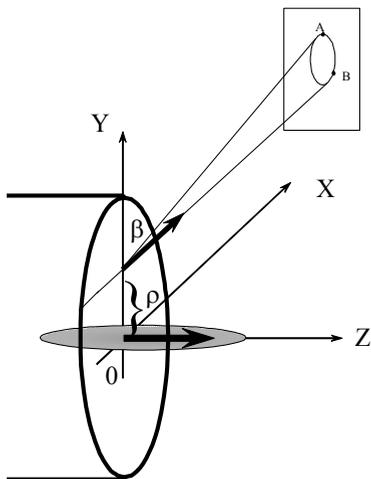


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая принцип действия диагностического прибора.

Энергия и ток тестирующего пучка на выходе источника поддерживаются постоянными на протяжении пролета исследуемым сгустком области взаимодействия. Электроны тестирующего пучка отклоняются под действием переменного электромагнитного поля исследуемого сгустка и формируют в плоскости детектора (параллельной плоскости YZ) двумерное изображение. Это электронное изображение преобразуется в оптическое изображение последовательно размещенными микроканальной пластиной и люминофором, а затем регистрируется специализированной цифровой фотокамерой. Анализ получаемого таким прибором (далее – пучковым датчиком) изображения дает уникальную комбинацию новых возможностей, недоступных в других методах. Во-первых, это возможность измерения параметров конкретного сгустка за один пролет. Во-вторых – возможность наблюдения относительно слабых электромагнитных полей излучения, генерируемых интенсивными сгустками в элементах вакуумной камеры ускорителя. В-третьих – возможность наблюдения изменения во времени внутренней структуры интенсивных сгустков предельно малых размеров. Данный метод может эффективно работать при максимальном значении тока в исследуемом сгустке в диапазоне от 1 Ампера до 1000 Ампер. Нижний предел по максимальному значению импульсного тока исследуемого сгустка определяется тем, что угол отклонения тестирующего пучка с энергией 20 кэВ в этом случае становится слишком малым, сравнимым с расходимостью тестирующего пучка. Верхний предел соответствует очень большим углам отклонения (более одного радиана) электронов тестирующего пучка, которые имеют энергию 200 кэВ. Указанные выше пределы не являются жесткими, однако выход за эти рамки требует существенных дополнительных усилий в практической реализации данного метода.

В качестве практического примера применения новой методики можно привести результаты измерения продольного распределения плотности в сгустке накопителя ВЭПП-3 (ИЯФ СО РАН).

Если поперечный размер исследуемого сгустка, а соответственно и минимальный прицельный параметр ρ в несколько раз меньше продольного размера сгустка, то, анализируя изображение (см. Рис. 2), получаемое пучковым датчиком, можно вычислить с точностью лучше 10% зависимость продольной плотности заряда в сгустке от времени. В процессе пролета исследуемого сгустка через область взаимодействия тестирующий пучок описывает на входной поверхности детектора замкнутую петлеобразную кривую (см. Рис. 2). При этом величина вертикального (по оси Y, см. Рис. 1) отклонения тестирующего пучка линейно связана с локальной продольной плотностью электронов в релятивистском сгустке, а восстановление времени производится следующим образом. Сначала цифровое изображение на экране прибора пересчитывается в поверхностную плотность заряда тестирующего пучка, падающего на детектор. Для такого пересчета

используется аппаратная функция детектирующей системы, которая устанавливает для каждого пикселя цифровой камеры взаимно-однозначное соответствие между значением яркости изображения и поверхностной плотностью заряда тестирующего пучка, падающего на входную поверхность микроканальной пластины. Далее берется интеграл от поверхностной плотности заряда вдоль петлеобразной траектории движения тестирующего пучка по экрану детектора. Время движения тестирующего пучка от начала петли до некоторой ее точки вычисляется как соответствующий интеграл, деленный на измеренное значение тока тестирующего пучка.

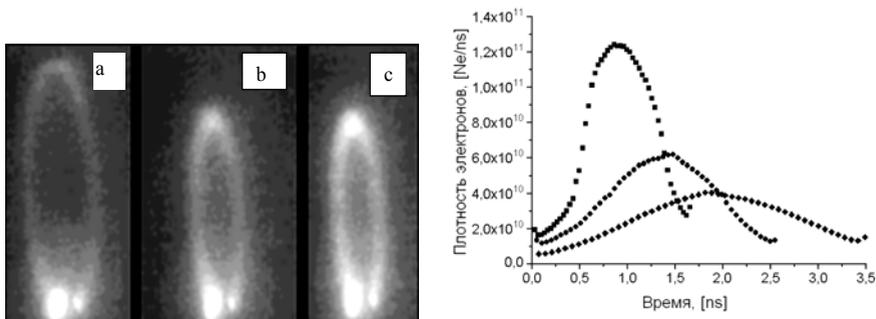


Рис. 2. Изображения с пучкового датчика, полученные на различных оборотах ступка в накопителе ВЭПП-3 при наличии продольной неустойчивости: а – минимальная длина ступка; с – максимальная; b – промежуточное состояние. На графике представлены результаты обработки этих изображений – зависимости продольной плотности электронов в ступке от времени.

Поскольку экспериментальной проверки нового метода неразрушающей диагностики на линейных и циклических ускорителях в области релятивистских энергий электронов и позитронов ранее нигде не проводилось, то в ходе экспериментов должен был быть решен ряд сложных задач. В частности, задача измерения малых импульсных токов на фоне больших импульсных помех. Также необходимо было найти эффективное электронно-оптическое решение, обеспечивающее требуемые параметры тестирующего электронного пучка в широком диапазоне энергий. Дополнительно к этому нужно было найти решение задачи измерения аппаратной функции детектирующей системы; что позволяет проводить временные измерения в пикосекундном диапазоне.

Здесь важно отметить, что интенсивный ультрарелятивистский пучок, как правило, сопровождается значительным числом фоновых электронов и фотонов различной энергии. В линейных ускорителях электронов такой фон связан, в основном, с темновыми токами ускоряющих структур. В

циклических машинах фон может быть связан с фотоэлектронами, образующимися под действием синхротронного излучения, а также с частицами электромагнитных ливней, возникающих при столкновении электронов или позитронов высокой энергии со стенками вакуумной камеры. Наиболее эффективным средством борьбы с фоновой загрузкой детектора является синхронный с пролетом исследуемого сгустка импульсный режим работы детектирующей системы. Такой режим необходим для циклических машин, работающих в многосгустковом режиме. Исходя из вышесказанного, обеспечение импульсного режима работы детектора является одной из важнейших задач, возникающих при реализации данного метода.

Возможности нового метода неразрушающей диагностики интенсивных пучков в полной мере могут быть раскрыты лишь при детальном исследовании процесса взаимодействия пучков. Такое исследование может быть проведено в ряде предельных случаев аналитически, однако для всестороннего изучения вопроса необходимо численное моделирование процесса взаимодействия тестирующего и исследуемого пучков. Численное моделирование также необходимо при анализе получаемых на экране прибора изображений. Именно поэтому создание программного комплекса, моделирующего работу нового диагностического прибора, является важной задачей.

Взятые вместе, вышеуказанные проблемы образуют четко сформулированную комплексную задачу для теоретического и экспериментального исследования, решению которой и посвящена диссертационная работа.

Цель проведения работы

Основной целью проведенной работы являлось исследование возможностей применения электронного пучка низкой энергии для неразрушающей диагностики интенсивных сгустков заряженных частиц. Исследование включает в себя:

1. Теоретический анализ возможностей метода.
2. Экспериментальное изучение практической применимости метода на ускорительно-накопительных комплексах ИЯФ СО РАН.
3. Создание и проверка численной модели процесса работы диагностических приборов, разработанных на основе данного метода.

Положения, выносимые на защиту

1. Теоретическое и экспериментальное исследование возможностей диагностики интенсивных пучков электронов, позитронов и ионов высокой энергии, основанной на использовании электронного пучка низкой энергии.

2. Техника применения прецизионного электронного пучка низкой энергии для неразрушающей диагностики интенсивных релятивистских сгустков, включающая в себя:

- электронно-оптическую схему импульсного источника с электронным пучком малого фазового объема, работающую в широком диапазоне энергий электронов;
- импульсный режим работы детектора на основе микроканальной пластины с большим коэффициентом усиления;
- способ калибровки детектирующей системы, необходимой для проведения временных измерений.

3. Разработка программного обеспечения, необходимого для работы пучкового датчика, а именно:

- управляющего программного обеспечения, реализующего все необходимые режимы работы прибора;
- программного обеспечения, моделирующего динамику тестирующего пучка с учетом всевозможных особенностей исследуемого сгустка.

4. Разработка и испытание опытных образцов приборов, рассчитанных на различные приложения, в частности:

- пучковый датчик для работы в циклическом накопителе электронов ВЭПП-3 (ИЯФ СО РАН);
- пучковый датчик для линейного ускорителя электронов Инжекционного комплекса ИЯФ СО РАН;
- пучковый датчик для циклического коллайдера ВЭПП-4М (ИЯФ СО РАН);
- пучковый датчик для Международного линейного коллайдера;
- пучковый датчик для накопителей интенсивных ионных пучков (SNS, Окридж, США).

Научная новизна работы

- Впервые для неразрушающей диагностики интенсивных пучков высокой энергии был применен электронный пучок низкой энергии.
- Впервые поля излучения коротких интенсивных сгустков были зарегистрированы с помощью внешнего электронного пучка.
- Впервые продольное распределение заряда в коротких интенсивных сгустках было измерено с использованием новой методики.
- Впервые методика, основанная на использовании электронного пучка низкой энергии, была применена для диагностики пучка в циклическом коллайдере.

Практическая значимость работы

Применение пучкового датчика на линейном ускорителе электронов Инжекционного комплекса ИЯФ СО РАН позволило решить проблему наблюдения пространственной и временной структуры электронных сгустков.

Возможности данного метода диагностики оказались востребованы в проектируемых установках с интенсивными релятивистскими пучками: международном линейном коллайдере и супер В-фабрике.

Прибор, разработанный диссертантом для международного линейного коллайдера, в ближайшее время будет отправлен в КЕК (Япония), где планируется проведение экспериментов с короткими интенсивными сгустками электронов.

Прибор, предназначенный для измерения горизонтального и вертикального профилей сечения протонного пучка в накопительном кольце SNS (Окридж, США), планируется запустить в эксплуатацию в 2009 году. Метод востребован в диагностике интенсивных ионных пучков, используемых для генерации мощных нейтронных потоков.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на Конференции по Ускорителям Заряженных Частиц (PAC'99, Нью-Йорк, США), на 7-й Европейской Конференции по Ускорителям Заряженных Частиц (EPAC-2000, Вена, Австрия), на 18-й Международной Конференции по Ускорителям Высокой Энергии (HEACC'01, Цукуба, Япония), на XIX Всероссийской Конференции по Ускорителям Заряженных Частиц (RUPAC-2004, Дубна).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано 17 работ.

Структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 151 машинописную страницу и включает: 80 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 41 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** кратко изложено современное состояние исследуемых вопросов, обоснована актуальность темы исследования, отмечены уникальные особенности нового метода диагностики пучков.

Первая глава включает в себя описание неразрушающих методов диагностики. Параграф 1.1 содержит краткое описание методов диагностики, основанных на электромагнитном взаимодействии интенсивного пучка с элементами вакуумной камеры ускорителя. Подавляющее большинство таких методов основано на регистрации токов и напряжений, наведенных

исследуемым пучком на специальных электродах, расположенных внутри вакуумной камеры ускорителя. Как правило, для диагностики используется низкочастотная часть спектра электромагнитного излучения исследуемых сгустков, которой соответствуют электромагнитные волны, не распространяющиеся свободно в вакуумной камере ускорителя.

В параграфе 1.2 описаны методы, использующие синхротронное излучение, которое генерируется релятивистскими электронами или позитронами в поворотных магнитах. Синхротронное излучение свободно распространяется вдоль прямолинейных отрезков вакуумной камеры и может быть выведено и проанализировано специальными методами. В результате может быть получена ценная информация не только о положении сгустка в пространстве, но и о его поперечном профиле.

Параграф 1.3 посвящен описанию лазерного комптоновского измерителя поперечного размера пучка. Для измерения малого поперечного размера интенсивного релятивистского сгустка в данном методе используется интерференционная картина, образующаяся при пересечении двух лазерных пучков. Сканирование электронным пучком поперек полос интерференционной картины приводит к модуляции интенсивности потока жестких комптоновских квантов, рожденных энергичными электронами в электромагнитном поле лазерного излучения. Глубина модуляции интенсивности потока комптоновских гамма - квантов несёт информацию о поперечном размере электронного пучка. За общим описанием метода следуют основные результаты его применения в эксперименте.

Параграф 1.4 содержит описание метода и основные экспериментальные результаты по монитору профиля интенсивного релятивистского пучка на основе ионизации остаточного газа. Данный метод основан на измерении времяпролетного спектра и азимутального распределения ионов, рожденных в интенсивном пучке. Эти ионы ускоряются электрическим полем интенсивного сгустка и детектируются при помощи микроканальных пластин и секционированного цилиндра Фарадея.

В параграфе 1.5 представлен неразрушающий сканирующий измеритель профиля интенсивных ионных пучков. Данная методика основана на использовании прецизионного электронного пучка низкой энергии для сканирования интенсивного ионного пучка.

Вторая глава посвящена принципу действия и основным диагностическим возможностям пучкового датчика – устройства, основанного на использовании электронного пучка низкой энергии в качестве инструмента исследования интенсивных сгустков заряженных частиц.

Параграф 2.1 представляет методику измерения продольного распределения заряда в интенсивном релятивистском сгустке. Рассмотрены основные эффекты, определяющие точность такого измерения, и

представлены экспериментальные результаты, полученные на пучковых датчиках в ИЯФ СО РАН.

Параграф 2.2 посвящен упрощенной методике определения длины релятивистского сгустка в случае гауссова распределения продольной плотности частиц в нем. Такая методика может быть использована, когда диаметр тестирующего пучка в области взаимодействия превосходит характерный поперечный размер исследуемого пучка. Данная методика основана на измерении вертикального и горизонтального размеров изображения, получаемого на экране прибора.

Параграф 2.3 содержит краткое описание методики определения поперечной координаты центра масс сгустка. Эта методика основана на точном определении момента пересечения траекторий тестирующего и исследуемого пучка.

В параграфе 2.4 представлена методика измерения угла разворота оси исследуемого сгустка по отношению к направлению его поступательного движения. Методика основана на измерении разницы яркостей определенных частей изображений на экране прибора. Такой разворот является следствием воздействия на пучок его собственных полей излучения. Этот эффект приводит к росту фазового объема сгустка в линейном коллайдере, а потому такой разворот сгустка должен контролироваться в нескольких точках по ходу ускорения пучка.

Параграф 2.5 посвящен применению нового метода диагностики для томографии интенсивных протонных пучков высокой энергии. Здесь рассматривается диагностическая система на основе электронного пучка низкой энергии в приложении к накопительному кольцу SNS (Окридж, США). Представлена методика измерения профиля распределения заряда в поперечном сечении длинного протонного сгустка высокой интенсивности. Даны предложения по быстрому измерению поперечных размеров сгустка в определенном сечении по его длине. Рассмотрена возможность измерения продольного распределения заряда длинного протонного сгустка. Представлены результаты численного моделирования работы пучкового датчика во всех указанных режимах.

Третья глава включает в себя описание типовой экспериментальной установки – пучкового датчика, работающего в составе линейного ускорителя электронов Инжекционного комплекса ИЯФ СО РАН. В данную главу также вошло описание процесса калибровки детектирующей системы пучкового датчика и краткое изложение основных принципов компоновки прибора.

Параграф 3.1 посвящен устройству основных систем пучкового датчика, к которым относятся: источник электронов, система фокусировки и коррекции положения пробного электронного пучка, система импульсного высоковольтного питания, система горизонтальной развёртки тестирующего пучка, детектирующая система, система управления и синхронизации.

Параграф 3.2 содержит описание процесса калибровки детектирующей системы. Калибровка представляет собой процесс измерения аппаратной функции детектирующей системы. Данная аппаратная функция устанавливает взаимно - однозначное соответствие между поверхностной плотностью заряда, приходящего на вход детектирующей системы, и числовым значением яркости изображения, получаемым с цифровой фотокамеры. Аппаратная функция измеряется в различных областях входной поверхности детектора и зависит от координат на этой поверхности.

Параграф 3.3 дает представление о базовых принципах компоновки и проектирования пучковых датчиков. Исходя из реальных возможностей элементов, которые и составляют прибор, предложены оптимальные варианты их размещения.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментов, проведенных с пучковыми датчиками на ускорительно-накопительных комплексах в ИЯФ СО РАН.

В параграфе 4.1 представлены экспериментальные результаты, полученные на пучковых датчиках, установленных в накопителе ВЭПП-3 и в коллайдере ВЭПП-4М.

Параграф 4.2 посвящен результатам работы пучкового датчика в составе линейного ускорителя электронов S-диапазона на Инжекционном комплексе.

В параграфе 4.3 приведены результаты наблюдения полей излучения, генерируемых интенсивными сгустками электронов в линейном ускорителе Инжекционного комплекса.

Пятая глава представляет результаты численного моделирования работы пучкового датчика.

Параграф 5.1 содержит описание физической модели и разностной схемы.

Параграф 5.2 представляет результаты численного моделирования процесса измерения параметров интенсивных сгустков. Здесь приведен ряд практических примеров использования численного моделирования для выяснения природы сложных изображений, полученных на экране прибора.

В **Заключении** приводятся основные результаты проделанной работы, отмечается ее научная новизна и практическая значимость.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Предложен и исследован ряд конкретных применений данного метода в диагностике интенсивных релятивистских сгустков, а именно:

- измерение продольного распределения заряда в интенсивном релятивистском сгустке,
- наблюдение полей излучения коротких интенсивных сгустков,
- измерение поперечной координаты центра масс интенсивного сгустка, имеющего очень малые поперечные размеры,
- измерение угла наклона оси такого сгустка к направлению его движения,
- измерение поперечного профиля интенсивного протонного пучка.

Проведено экспериментальное изучение практической применимости метода на ускорительно-накопительных комплексах ИЯФ СО РАН, а именно:

- создан и успешно испытан пучковый датчик, рассчитанный на работу в циклическом накопителе электронов ВЭПП-3,
- создан и успешно работает пучковый датчик, оптимизированный для работы в составе линейного ускорителя электронов Инжекционного комплекса,
- созданы и испытываются пучковые датчики, приспособленные к работе в циклическом коллайдере ВЭПП-4, в выпускном канале накопителя-охладителя комплекса ATF (КЕК, Япония), в накопителе протонов SNS (Окридж, США).

Таким образом, в диссертационной работе впервые системно теоретически и экспериментально исследованы возможности нового типа активных неразрушающих методов диагностики интенсивных пучков электронов и позитронов, основанных на взаимодействии электронного пучка низкой энергии с объектами диагностики. Новый тип диагностических приборов был разработан и успешно внедрен как на ускорительно-накопительных комплексах ИЯФ СО РАН, так и за рубежом.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- [1] Logatchov P.V., Bak P.A., Starostenko A.A., Dikansky N.S., Gousev E.A., Korabelnikov M.B., Shiyankov S.V. Non-destructive Single Pass Monitor of Longitudinal Charge Distribution. // Tsukuba, Japan : 2001.
<http://conference.rt.jp/heacc2001/pdf/p2new04.pdf>.
- [2] Starostenko A.A., Bak P.A., Gousev Ye.A., Dikansky N.S., Logatchov P.V., Frolov A.R. Non-destructive Single Pass Bunch Length Monitor: Experiments at VEPP-5 Preinjector Electron Linac. // Viena, Austria: Austrian Academy of Sciences Press, 2000, p.1720-1722.
- [3] Logatchov P.V., Starostenko A.A. Non-Destructive Single-Pass Monitor of Longitudinal Charge Distribution. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 1999, v.20.
- [4] P.V. Logatchov, P.A. Bak, A.A. Starostenko, N.S. Dikansky, V.S. Tupikov, K.V. Gubin, V.M. Mishnev, M.B. Korabelnikov, M.G. Fedotov. Non-destructive Single Pass Monitor of Longitudinal Charge Distribution in an Ultrarelativistic Electron Bunch. // PAC, 1999.
- [5] Aleksandrov A., Assadi S., Cousineau S., ..., Logatchov P., et al. Feasibility Study of Using an Electron Beam for Profile Measurements in the SNS Accumulator Ring. // Knoxville, Tennessee, USA : Particle Accelerator Conf, Oak Ridge National Laboratory Spallation Neutron Source, 2005, p.2586-2588.

- [6] М.С. Авилов, ..., П.В. Логачев и др. Инжекционный комплекс ВЭПП-5. Состояние работ. // Атомная энергия, №1, 2003, с.82-87.
- [7]. Логачев П.В., Малютин Д.А., Старостенко А.А. Применение электронного пучка низкой энергии как средства неразрушающей диагностики интенсивных пучков заряженных частиц. // Приборы и техника эксперимента, №1, 2008, с.5-33.
- [8] P.V. Logatchov. Beam quality control for linear colliders. // [ed.] S.Kurokawa. Melville, New York : AIP Conference proceedings, 2001, p.552-565, v.592.
- [9] P. Logatchov. Beam manipulation and diagnostic techniques in linacs. // [ed.] S. Kurokawa. Singapore : World Scientific, 2002, p.213-256.
10. M. S. Avilov, ..., P.V. Logatchov et al. Status of VEPP-5 preinjector. // LINAC'2002, Gyeongju, Korea, 18-23 August, 2002. ISBN: 89-954175-0-1 98420.
- [11] P.V. Logatchov, D.A. Malyutin, A.A. Starostenko. Low energy electron beam as a nondestructive diagnostic tool for high power beams. // RUPAC'2006, Novosibirsk, Sept. 10-14, 2006.
- [12] V.E. Akimov, A.V. Bulatov, P.V. Logatchev, I.V. Kazarezov, A.A. Korepanov, D.A. Maljutin, A.A. Starostenko. Electron miniaccelerator on the base of Tesla transformer for the beam of charged particles nondestructive testing. // RUPAC'2006, Novosibirsk, Sept. 10-14, 2006.
- [13] Астрелина К.В., Блинов М.Ф., Всевожская Т.А., Диканский Н.С., ..., Логачев П.В. и др. Получение интенсивных позитронных пучков на Инжекционном комплексе ВЭПП-5. // ЖЭТФ. 2008. т.133. с. 94-114.
- [14] П.А. Бак, Д.Ю. Болховитянов, А.А. Корепанов, П.В. Логачев, Д.А. Малютин, А.А. Старостенко, А.С. Цыганов. Прибор для измерения влияния полей излучения на интенсивный сгусток международного линейного коллайдера. // Новосибирск : Вестник НГУ. Серия: Физика. Том 4, выпуск 1, 2009.
- [15] П.А. Бак, П.В. Логачев, Д.А. Малютин, А.А. Старостенко. Регистрация полей излучения интенсивных электронных сгустков в линейном ускорителе Инжекционного комплекса ВЭПП-5. // Новосибирск: Вестник НГУ. Серия: Физика. Том 4, выпуск 1, 2009.
- [16] П.А. Бак, Д.Ю. Болховитянов, П.В. Логачев, Д.А. Малютин, А.А. Старостенко, А.С. Цыганов. Измерение асимметрии продольного распределения заряда в электронном сгустке на коллайдере ВЭПП-4М. // Приборы и техника эксперимента, 2008, № 6, с. 92-98, 2008.
- [17] П.В. Логачев, Д.А. Малютин, А.А. Старостенко. Развертка с параллельным переносом электронного пучка для измерителя поперечного профиля интенсивного ионного сгустка. // Приборы и техника эксперимента, 2009, № 4, с.1-5.

ЛОГАЧЕВ Павел Владимирович

**Неразрушающая диагностика
интенсивных сгустков заряженных частиц
электронным пучком низкой энергии**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Сдано в набор .16.10. 2009 г.

Подписано в печать 16.10. 2009 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 0.8 печ.л., 0.7 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 27

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