

На правах рукописи

ШАТУНОВ Петр Юрьевич

**МАГНИТНАЯ СИСТЕМА НАКОПИТЕЛЯ
С ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ
ВСТРЕЧНЫМИ ПУЧКАМИ ВЭПП-2000**

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

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук**

НОВОСИБИРСК – 2011

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

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

КООП — доктор физико-математических наук,
Иван Александрович Учреждение Российской академии наук
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
СО РАН, г. Новосибирск.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

ВИНОКУРОВ — доктор физико-математических наук,
Николай Александрович профессор, Учреждение Российской
академии наук Институт ядерной физики
им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск.

ИВАНОВ — доктор физико-математических наук,
Сергей Владиславович член-корреспондент РАН,
ГНЦ РФ «Институт физики высоких
энергий», г. Протвино.

ВЕДУЩАЯ — Объединенный институт ядерных
ОРГАНИЗАЦИЯ: исследований, г. Дубна.

Защита диссертации состоится “_____” “_____” 2011 г.
в “_____” часов на заседании диссертационного совета Д 003.016.03
Учреждения Российской академии наук Института ядерной физики
им. Г.И. Будкера СО 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. А. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Актуальность представленной работы определяется, в первую очередь, физической программой коллайдера ВЭПП-2000: измерение сечения рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции в области энергий от 0.4 до 2 ГэВ в системе центра масс. Результаты экспериментов на ВЭПП-2М внесут существенный вклад в вычисления в рамках Стандартной модели величины аномального магнитного момента мюона $(g - 2)_\mu$, где расхождение между экспериментом и теорией составляет 3.5σ . Кроме того, появляется уникальная возможность изучения протон-антипротонных и нейтрон-антинейтронных пар вблизи порога рождения.

Для решения поставленных задач на ВЭПП-2000 требуется достичь светимости $1 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. В связи с этим особую актуальность приобретает реализация концепции “круглых” пучков, как единственный способ получения светимости при отсутствии возможности организации многосгусткового режима.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является создание магнитной системы накопителя с электрон-позитронными встречными пучками ВЭПП-2000 на энергию от 200 МэВ до 1 ГэВ и со светимостью до $1 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: разработать электронно-оптическую схему коллайдера, удовлетворяющую условиям, которые накладывает концепция “круглых” пучков, позволяющая получить значение параметра пространственного заряда $\xi = 0.15$; для основных магнитных элементов структуры — поворотные магниты с полем до 24 кГс, квадрупольные линзы с градиентом магнитного поля до 5.2 кГс/см — провести компьютерные расчеты и измерения магнитных полей с соответствующим анализом; разместить в структуре сверхпроводящие соленоиды финального фокуса с полем 13 Т и корректирующие магнитные элементы, включая секступоли, горизонтальные и вертикальные дипольные коррекции, скью-квадрупольные; выбрать источники питания, позволяющие достичь проектных величин полей в магнитных элементах при достаточной стабильности; предусмотр-

реть надежную систему защит и блокировок; разработать систему корректирующих магнитных элементов; создать систему автоматизированного управления и контроля магнитными элементами; создать систему измерения энергии пучков в накопителе.

Личный вклад автора

Личное участие автора в получении результатов, составляющих основу диссертации, является определяющим. Он принимал активное участие в моделировании параметров электронно-оптической схемы установки. Им непосредственно проведены расчеты физической модели поворотных магнитов и квадрупольных линз. Под его руководством проходили работы по измерению магнитного поля в поворотных магнитах, включая создание стенда магнитных измерений. Он является автором ядра системы управления основными магнитными элементами накопительного кольца ВЭПП-2000 и системы измерения энергии пучков по оперативным измерениям магнитного поля в элементах. Автор также участвовал в разработке и создании системы защиты сверхпроводящих соленоидов и наладке источников питания. Кроме того, автор является активным участником запуска установки, настройки режимов работы и проводимых на ней экспериментов.

Научная новизна

Накопитель с встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2000 — первая установка, электронно-оптическая схема которой удовлетворяет всем условиям принципа “круглых” пучков. Принцип “круглых” пучков, в основе которого лежит дополнительный интеграл движения — сохранение продольной компоненты момента импульса — позволяет повысить параметр пространственного заряда, значение которого ограничено эффектами встречи. Данный принцип был предложен в начале 90-х годов в ИЯФ, однако на практике опробован не был.

Для реализации “круглых” пучков на ВЭПП-2000 впервые в мире применена финальная фокусировка с помощью сильных сверхпроводящих соленоидов с полем до 13 Т. Не менее уникальным свойством магнитной структуры ВЭПП-2000 является использование поворотных магнитов с рабочим диапазоном полей от 5 до 24 кГс. При этом магниты спроек-

тированы так, что обеспечивают достаточную однородность поля при любой энергии накопителя и тем самым не ограничивают динамическую апертуру.

Научная и практическая ценность

Научной ценностью данной работы является тот факт, что коллайдер ВЭПП-2000 приступил к выполнению программы физических экспериментов с детекторами СНД и КМД-3. Примененный принцип организации электронно-оптической схемы установки позволяет достигать высоких значений светимости. В экспериментальном сезоне 2011 года двумя детекторами был набран интеграл светимости $\sim 45 \text{ пб}^{-1}$, что составляет более половины всей статистики, накопленной на ВЭПП-2М за 25 лет эксплуатации. Практическая ценность проделанной работы проявляется в высокой надежности созданной магнитной системы. Электронно-оптическая схема коллайдера позволяет варьировать параметры пучков в широких пределах для работы в различных режимах.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Найден вариант построения электронно-оптической схемы нового накопителя с круглыми встречными электрон-позитронными пучками.
2. Создана магнитная система коллайдера, и в двух экспериментальных заходах с детекторами КМД-3 и СНД доказана ее работоспособность во всем рабочем диапазоне энергий вплоть до 1 ГэВ.
3. Настроена система стабилизации и определения энергии пучков в накопителе по измерениям параметров магнитных элементов. Проведена абсолютная калибровка энергии пучков по массе ϕ -мезонного резонанса и методом резонансной деполяризации.
4. Экспериментально проверена концепция круглых встречных пучков.
5. Реализована автоматизированная система управления и контроля магнитных элементов и источников их питания, построенная на принципах разделения подсистем и предоставляющая широкие возможности для работы операторов комплекса.

Апробация работы

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на следующих конференциях и рабочих совещаниях:

10th European Particle Accelerator Conference (EPAC 06, Edinburgh, Scotland), 20th Russian Particle Accelerator Conference (RuPAC'2006, Новосибирск, Россия), 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08, Magazzini del Cotone, Genoa, Italy), 40th ICFA ABDW 2008 (Novosibirsk, Russia), 21th Russian Particle Accelerator Conference (RuPAC'2008, Звенигород, Россия), 12th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS'2009, Kobe, Japan), 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics" (2010, Новосибирск, Россия), 2nd International Particle Accelerator Conference (2011, San Sebastian, Spain).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и одного приложения. Материал работы изложен на 76 страницах, включает 60 рисунков и список литературы, содержащий 46 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе рассматривается подход к получению высокой светимости коллайдера на основе концепции “круглых” встречных пучков. Показано, что при соблюдении следующих условий: равные бета-функции в месте встречи $\beta_x = \beta_z = \beta^*$; равные эмиттансы $\varepsilon_x = \varepsilon_z = \varepsilon$; равные дробные части бетатронных частот $\nu_x = \nu_z = \nu$ — продольная компонента момента импульса частицы сохраняется. Благодаря дополнительному интегралу движения поперечные бетатронные колебания частиц становятся эффективно одномерными, что приводит к значительному подавлению бетатронных резонансов и позволяет увеличить параметр пространственного заряда ξ , ограниченный эффектами встречи. Приведены результаты компьютерного моделирования эффектов встречи для

электронно-оптической схемы ВЭПП-2000, демонстрирующие возможность достижения величины пространственного заряда $\xi = 0.16$. Расчетная светимость коллайдера составляет $1 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

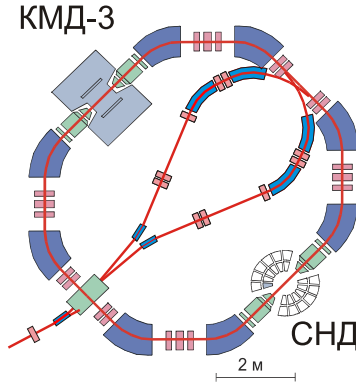


Рис. 1. Схема накопителя ВЭПП-2000.

Далее в этой главе подробно описывается магнитная структура накопительного кольца ВЭПП-2000, состоящая из двух суперпериодов, обладающих зеркальной симметрией (см. рис. 1). Она включает два 3-метровых экспериментальных промежутка; две прямых секции (2.5 м), предназначенные для инжекции и ВЧ резонатора, и четыре коротких технических промежутка с четырьмя триплетами квадрупольных линз в них. Каждый триплет вместе с двумя поворотными магнитами с полем до 24 кГс представляет собой ахроматический поворот на 90° . Общий периметр накопительного кольца 24.38 метра.

Финальная фокусировка организована с помощью сверхпроводящих соленоидов с полем до 13 Т, расположенных симметрично вокруг каждого из двух мест встречи. Применение соленоидов для структур с круглыми пучками удобно из-за их аксиально симметричной фокусировки. Кроме того, соленоиды также вращают плоскость бетатронных колебаний. Рассмотрены несколько вариантов взаимной полярности соленоидов, при которых условия принципа круглых пучков выполняются автоматически. Основные параметры ВЭПП-2000 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры структуры ВЭПП-2000 на энергии 1 ГэВ.

Периметр	м	24.388
Частота ВЧ	МГц	172.0
Номер ВЧ гармоники		14
Коэффициент уплотнения орбит		0.036
Синхротронная частота	кГц	30.73
Эмиттансы ϵ_x, ϵ_z	см·рад	$2.2 \cdot 10^{-5}, 2.2 \cdot 10^{-5}$
Потери энергии на оборот	кэВ	63
Безразмерные декременты затухания $\delta_x, \delta_z, \delta_s$		$3.0 \cdot 10^{-5}$
		$3.0 \cdot 10^{-5}$
		$6.6 \cdot 10^{-5}$
Энергетический разброс σ_E		$7.0 \cdot 10^{-4}$
Длина сгустка σ_s	см	3.3
$\beta_{x,z}$ в месте встречи	см	10
Бетатронные частоты Q_x, Q_z		4.1, 2.1
Число частиц в сгустке		$1 \cdot 10^{11}$
Число сгустков		1
Светимость	$\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	$1 \cdot 10^{32}$

Вторая глава посвящена разработке магнитных элементов ВЭПП-2000. Описывается конструкция поворотных магнитов, квадрупольных линз и сверхпроводящих соленоидов. Приводится информация о системе коррекций, применяемых на ВЭПП-2000. Представлены двумерные и трехмерные компьютерные расчеты магнитного поля и данные о магнитных измерениях.

Параметры поворотных магнитов (см. рис. 2) определяются проектным диапазоном рабочих энергий и периметром накопительного кольца, который в свою очередь ограничен размером экспериментального зала ВЭПП-2000. При радиусе орбиты 140 см для достижения энергии 1 ГэВ необходимая величина поля в магнитах составляет 23.82 кГс. Ширина межполюсного зазора составляет 40 мм. С помощью компьютерного моделирования была создана физическая модель диполя, позволяющая получить необходимую величину ведущего поля при приемлемой однородности поля. Позже были проведены магнитные измерения, подтвердившие результаты расчетов.

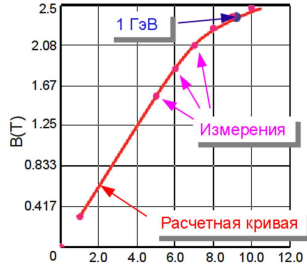
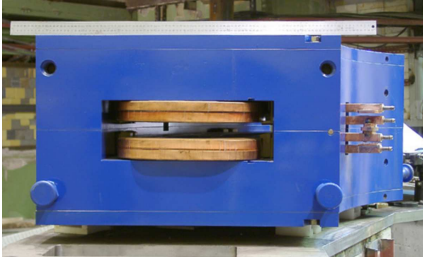


Рис. 2. Общий вид поворотного магнита и зависимость величины магнитного поля от тока в обмотках.

На ВЭПП-2000 используется 24 квадрупольные линзы (см. рис. 3): 4 линзы длиной 19 см, 16 линз длиной 14 см и 4 линзы длиной 6 см. Линзы длиной 19 и 14 см имеют одинаковое поперечное сечение. Из них собраны триплеты арок и дублеты технических промежутков. Максимальный градиент магнитного поля в них составляет $G = 5.2$ кГс/см (радиус вписанной окружности 40 мм). Параметры этих линз также рассчитывались с помощью компьютерного моделирования. После магнитных измерений форма полюса линзы была доработана для минимизации нелинейных компонент магнитного поля. В детекторных промежутках между соленоидами и поворотными магнитами установлены квадрупольные линзы длиной 6 см. Они относительно слабые ($G=1.1$ кГс/см) и используются для согласования структурных функций арок и промежутка встречи.

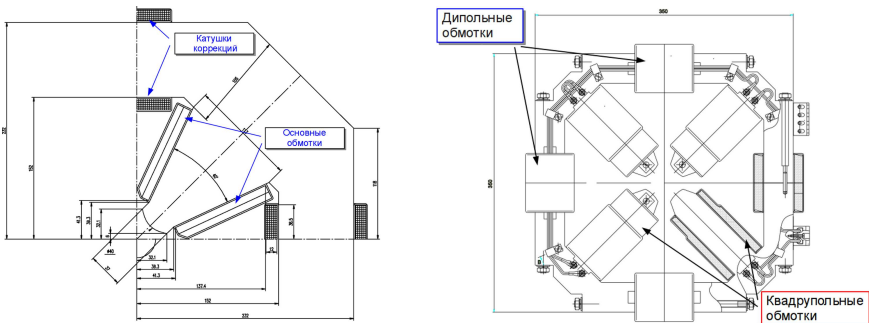


Рис. 3. Поперечное сечение основной и расщепляющей квадрупольных линз ВЭПП-2000.

При применении принципа “круглых” пучков соленоиды являются важнейшими элементами магнитной структуры коллайдера. Сверхпроводящие соленоиды, использующиеся на ВЭПП-2000, являются и самыми сложными в техническом отношении магнитными элементами установки, потребовавшими для своего создания участия сразу нескольких лабораторий ИЯФ СО РАН. Соленоиды секционированы в продольном направлении на три части — две основных катушки с полем до 13 Т, предназначенные для финальной фокусировки пучка, и одна дополнительная катушка с полем до 8 Т (см. рис. 4). В экспериментальном промежутке детектора КМД-3 дополнительные секции используются для компенсации связи

X и Z бетатронных колебаний, вносимых соленоидом детектора. Стоит отметить, что при конструировании соленоидов было уделено значительное внимание защите их от срыва сверхпроводимости, для чего предусмотрен ряд средств: шунтирование катушек активными сопротивлениями, отключение источников питания в случае скачка напряжения на одной из катушек, разнообразные программные защиты от ошибок оператора.

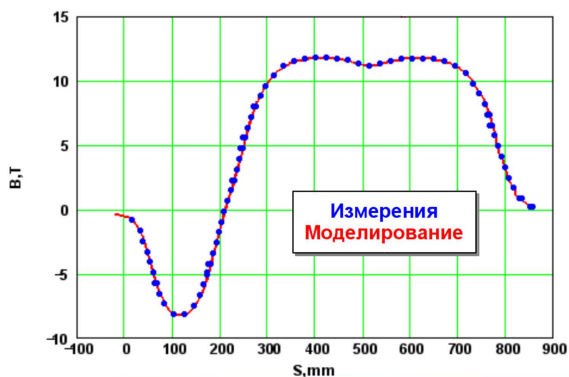


Рис. 4. Продольное магнитное поле в соленоиде. Измерения и моделирование.

В кольце ВЭПП-2000 используется 60 корректирующих магнитных элементов — 12 секступолей, совмещенные с ними скью-квадрупольи, горизонтальные и вертикальные дипольные коррекции, выполненные в виде дополнительных обмоток в поворотных магнитах и квадрупольных линзах (см. рис. 3).

В третьей главе рассмотрены источники питания магнитных элементов ВЭПП-2000: источник для поворотных магнитов со стабилизированным током до 10 кА и мощностью до 1.2 МВт, источник для основных квадрупольных линз с током до 300 А и мощностью до 4 кВт, двухполярный водоохлаждаемый источник для сверхпроводящих соленоидов с током до 300 А, источник для разнообразных коррекций с током до 6 А. Все источники питания разработаны в ИЯФ СО РАН.

В четвертой главе описывается система автоматизированного управления и контроля магнитных элементов кольца ВЭПП-2000. Показана структура системы, принципы ее построения, составляющие ее элементы и аппаратное обеспечение. Особое внимание уделено высокоуровневым программным средствам, которые позволяют оператору управлять элементами как по отдельности, так и группами, сохранять и восстанавливать рабочие массивы параметров элементов, визуализировать текущее состояние и просматривать историю событий.

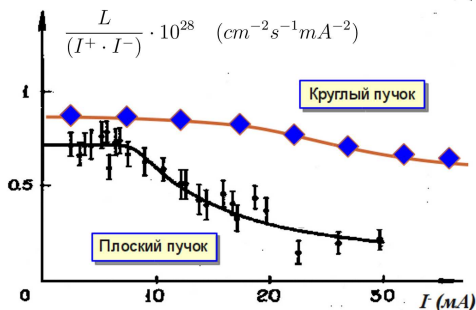


Рис. 5. Удельная светимость в зависимости от тока для круглого (ВЭПП-2000, 2008г) и плоского (ВЭПП-2М, 1976 г) пучков.

В пятой главе рассказывается про запуск коллайдера в рабочий режим и ускорительные эксперименты в первые два сезона работы. Показан вариант структуры кольца без сверхпроводящих соленоидов, который используется для получения высокого вакуума с помощью тренировки вакуумной камеры синхротронным излучением пучков. Описан эксперимент по проверке концепции “круглых” пучков, в котором сравнивались значения удельной светимости в зависимости от тока пучков для ВЭПП-2000 (режим круглых пучков) и ВЭПП-2М (плоский пучок), см. рис. 5.

Рассмотрен процесс калибровки энергии пучков в установке — по массе ϕ -мезона на энергии 510 МэВ и методом резонансной деполяризации на энергии 750 МэВ. Показан метод подъема энергии ВЭПП-2000 с двумя пучками от максимальной энергии инъекции ($E = 825$ МэВ) до максимальной проектной энергии коллайдера $E = 1$ ГэВ.

В заключении приводятся основные результаты и выводы диссертации.

В приложении приведен последовательный список элементов четверти накопительного кольца ВЭПП-2000, начиная от места встречи и заканчивая центром технического промежутка, и их параметры при энергии 1 ГэВ.

Основные результаты работы

Данная работа посвящена созданию магнитной системы нового накопителя со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2000. Обоснован подход к получению высокой светимости коллайдера на основе концепции “круглых” встречных пучков и рассмотрены требования, которые она накладывает на оптическую структуру ускорителя. Приведены результаты компьютерных расчетов параметров встречных пучков.

На основе двухмерных и трехмерных компьютерных расчетов магнитного поля сконструированы и изготовлены поворотные магниты с ведущим полем до 24 кГс и квадрупольные линзы кольца с градиентом магнитного поля до 5.2 кГс/см. Для этих элементов проведены магнитные измерения и проанализированы их результаты. Система коррекций организована в виде дополнительных катушек в основных магнитных элементах — дипольные коррекции в поворотных магнитах и квадрупольных линзах, три типа секступолей и совмещенные с ними скью-квадрупольи. Создана и опробована в работе система защиты сверхпроводящих соленоидов финального фокуса с полем до 13 Т.

Для управления и контроля магнитных элементов кольца создана автоматизированная система, построенная на принципах модульности с использованием современных аппаратных и программных средств. Значительное внимание уделено написанию высокоуровневых приложений, с помощью которых оператор может управлять элементами как по отдельности, так и группами, сохранять и восстанавливать рабочие массивы

параметров элементов, визуализировать текущее состояние и просматривать историю событий.

Запуск коллайдера в рабочий режим проведен в несколько этапов. Вначале был использован вариант структуры без сверхпроводящих соленоидов для получения высокого вакуума и выставки магнитных элементов. Затем были опробованы в работе несколько вариантов организации оптики “круглых” пучков и найден оптимальный режим, позволяющий вести накопление пучков и иметь высокие предельные токи электронов и позитронов.

В одном из первых ускорительных экспериментов была проведена проверка концепции “круглых” пучков. Было показано, что параметр пространственного заряда может достигать величины $\xi = 0.1$ и выше. Была проведена калибровка энергии пучков накопителя двумя способами: по массе ϕ -мезона на энергии 510 МэВ и методом резонансной деполяризации на энергии 750 МэВ.

Разработан и опробован метод подъема энергии ВЭПП-2000 с двумя пучками до $E=1$ ГэВ.

Опыт работы показал, что магнитная система накопителя соответствует проектным требованиям. Главным результатом работы автор считает успешное начало физических экспериментов с детекторами СНД и КМД-3 в двух экспериментальных сезонах 2010 – 2011 годов, в ходе которых была достигнута светимость $3 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Список литературы

1. *Shatunov Yu.M., Evstigneev A.V., Ganyushin D.I., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* //Proceedings of European Particle Accelerators Conference 2000. — Austria, 2000, pp. 439-441.
2. *Shatunov P.Yu. et al.* Magnet structure of the VEPP-2000 electron positron collider. // Proceedings of 10-th European Particle Accelerators Conference 2006. – Edinburgh, Scotland, 2006, pp. 628-630.
3. *Berkaev D.E., Druzhinin V.V., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* Beams injection system for e+ e- collider VEPP-2000. // Proceedings of 10-th European Particle Accelerators Conference 2006. – Edinburgh, Scotland, 2006, pp. 622-624.
4. *Berkaev D., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* Vepp-2000 collider control system. — Prepared for ICALEPCS’09, Kobe, Japan, 10-17 Oct, 2009.

5. *Berkaev D., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* The automation system of the electron-positron collider Vepp-2000. — Prepared for 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics Novosibirsk, Russia, 1-5 Sep, 2010.
6. *Shatunov Yu.M., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* Status of VEPP-2000 Project — Prepared for XX Russian Particle Accelerator Conference, 10 to 14 September, 2006, Novosibirsk, Russia.
7. *Berkaev D.E., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* First commissioning results of VEPP-2000. // *ICFA Beam Dyn.Newslett.* —2009. —Vol.48. —Pp. 235-242.
8. *Shatunov Yu.M., Berkaev D.E., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* VEPP-2000 Electron-Positron Collider Commissioning and First Results of Round Colliding Beam Tests. — Prepared for 11-th European Particle Accelerators Conference EPAC-2008, 23-27 Jun 2008, Genoa, Italy.
9. *Koop I.A., Otboev A.V., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M.* Plans for polarized beams at VEPP-2000 and U-70. // *Proceedings of AIP Conf.* (915). — 2007, Vol. 915, pp.153-161.
10. *Berkaev D., ... Shatunov P., ... et al.* Status and progress VEPP-2000. — Prepared for 21st Russian Particle Accelerators Conference, 28 Sep – 3 Oct 2008, Zvenigorod, Russia.
11. *Romanov A., Berkaev D.E., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* Round Beam Lattice Correction using Response Matrix at VEPP-2000. — Prepared for 1st International Particle Accelerator Conference: IPAC'10, 23-28 May 2010, Kyoto, Japan.
12. *Romanov A., Berkaev D.E., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* Correction the Round Beam Lattice of VEPP-2000 Collider Using Orbit Response Technique. — Prepared for 11-th European Particle Accelerators Conference EPAC-2008, 23-27 Jun 2008, Genoa, Italy.
13. *Achasov M.N., ... Shatunov P.Yu., ... et al.* First experience with SND calorimeter at VEPP-2000 collider. // *Published in Nucl.Instrum.Meth.* —2009. —A598. —pp. 31-32.
14. *Shwartz D., ... Shatunov P., ... et al.* Present status of VEPP-2000. — *ICFA Beam Dyn.Newslett.* —2010. —Vol.53. —Pp. 28-39.
15. *Berkaev D.E., Shwartz D.B., Shatunov P.Yu. et al.* The VEPP-2000 electron-positron collider: First experiments.// *Journal of Experimental and Theoretical Physics* — Vol. 113. — Num. 2. — Pp. 213-220.

ШАТУНОВ Петр Юрьевич

**Магнитная система накопителя
с электрон-позитронными
встречными пучками ВЭПП-2000**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Сдано в набор 21.11.2011 г.

Подписано в печать 22.11.2011 г.

Формат бумаги 100×90 1/16 Объем 0.9 печ.л., 0.7 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 33

Обработано на ИВМ РС и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.