

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
на диссертацию Дорохова Виктора Леонидовича  
**«Развитие методов оптической диагностики в циклических ускорителях**  
**заряженных частиц»,**  
представленную на соискание учёной степени кандидата 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

### **Актуальность темы**

Предметом исследования диссертационной работы Дорохова В.Л. являются методы оптической диагностики характеристик продольных и поперечных размеров и профилей электронных пучков высоких энергий. Мониторирование параметров электронных пучков с использованием возмущающих (контактных) и невозмущающих (оптических) методов является ключом к управлению пучками и достижению запроектированных параметров установок. В рамках принятой в стране программы развития синхротронных и нейтронных исследований планируется в ближайшие годы построить синхротронный источник света в Новосибирске (СКИФ), провести модернизацию комплекса Курчатовского источника синхротронного излучения (Москва) и разработать проект создания синхротрона во Владивостоке (РИФ). Для успешного запуска и эксплуатации этих комплексов требуется наличие разработанных, экспериментально верифицированных и отлаженных на практике схем, а также программно-аппаратных комплексов измерения параметров электронных пучков. Для кольцевых источников важными параметрами являются продольный и поперечный профиль электронного пучка, тщательное измерение которых необходимо для настройки и стабильной эксплуатации комплекса при генерации синхротронного излучения для различных пользователей.

## **Цель работы**

Целью диссертационной работы были определены задачи ввода в эксплуатацию станции мониторинга параметров пучка накопителя «Сибирь-2» (КИСИ) на основе синхротронного излучения в видимом диапазоне длин волн, определение временных характеристик новой модели диссектора с использованием излучения фемтосекундного лазера и пучка метрологического источника синхротронного излучения, исследование линейности отклика люминофорных датчиков и возможности использования излучения Вавилова-Черенкова для измерения продольного профиля пучка линейного электронного ускорителя.

## **Научная новизна**

Научная новизна работы определяется тем, что при её проведении разработаны и запущены в эксплуатацию на накопителе «Сибирь-2» профиломеры на основе линеек лавинных фотодиодов, позволяющие пооборотную регистрацию координат центра тяжести сгустков в пучке. Был впервые в России разработан и запущен в эксплуатацию одномерный щелевой интерферометр синхротронного излучения, работающий в видимом диапазоне длин волн. Были проведены испытания новой модели диссектора, которые показали его разрешающую способность на уровне единиц пикосекунд. Создание комплекса по измерению поперечных и продольных профилей пучков в кольцевых ускорителях позволяет существенно повысить качество ускоряемых пучков и проводить детальные исследования появления нестабильностей и их источники.

**Практическая значимость** работы определяются развитием аппаратной и программной базы средств измерения поперечных и продольных профилей электронных пучков на основе излучения в видимом диапазоне длин волн.

Результаты диссертации могут быть использованы при разработке станций мониторинга параметров пучков кольцевых источников синхротронного излучения, создаваемых в настоящее время в России (СКИФ, ИССИ-4, РИФ).

**Достоверность полученных результатов** обосновывается применением известных методов анализа результатов проведенных измерений и их совпадением с теоретическими расчетами. Результаты неоднократно были обсуждены на международных семинарах и конференциях и опубликованы в международных научных журналах. Разработанная станция мониторинга успешно эксплуатируется на пучке Курчатовского источника синхротронного излучения.

### **Общая характеристика и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения; список литературы содержит 89 наименований; объём работы составляет 129 страниц, включая 67 рисунков и 11 таблиц.

Во **Введении** определены основные понятия, используемые в работе, сформулированы цели и задачи исследования, обсуждаются актуальность, новизна и значимость результатов работы, представлены основные положения, выносимые на защиту. Приведены также сведения о публикациях автора по тематике диссертации, личном вкладе и апробации материалов научных исследований.

**Первая глава** диссертации посвящена описанию диагностического комплекса на основе синхротронного излучения, запущенного в эксплуатацию на базе Курчатовского источника синхротронного излучения. Диагностический комплекс включает в себя канал вывода синхротронного излучения видимого диапазона длин волн и набор измерительных приборов, позволяющих определить горизонтальный (радиальный) профиль пучка, вертикальный размер пучка, продольный профиль пучка, а также вести мониторинг по оборотного измерения поперечного профиля пучка. Измерение

горизонтального профиля пучка основано на прямой визуализации синхротронного излучения с помощью цифровой камеры. Измерение вертикального размера пучка на основе прямой визуализации было ограничено из-за дифракционного предела и эффекта глубины фокуса. Поэтому был спроектирован и изготовлен двухщелевой интерферометр. В тексте приведено обоснование геометрических размеров интерферометра и представлены оценки получаемого разрешения диагностического метода на его основе. По оценкам автора результат измерения минимального вертикального размера пучка составляет  $\sigma_y = 59 \pm 2,1$  мкм. Для проведения пооборотного вертикального и горизонтального профиля пучка или, точнее, положения его центра тяжести использовались линейки лавинных фотодиодов. Измерение продольного распределения заряда в пучке проводилось с помощью новой модели диссектора, описанию и тестированию которого посвящена вторая глава.

Во второй главе диссертации рассматривается конструкция нового диссектора на основе электронно-оптического преобразователя ПИФ-01. Данный диссектор был разработан ИЯФ им. Г.И. Будкера и ИОФ им. А.М. Прохорова как модернизация диссектора ЛИ-602 и отличается от него наличием системы запирающих электродов, позволяющей проводить селекцию световых импульсов. Приведены схемы и результаты измерения разрешающей способности диссектора с использованием фемтосекундного титан-сапфирового лазера. Показана способность прибора разрешать вспышки лазера с расстоянием порядка 9 пс, что обусловлено толщиной используемого светоделителя. Также новая конструкция диссектора была испытана на пучке метрологического фотонного источника в Берлине (MLS), где измеряли продольный профиль сгустка одновременно с использованием диссектора и стрик-камеры, имеющей разрешение около 2 пс. Измерения были сделаны на основе пучка с длительностью 6 пс. На основе полученных профилей в главе сделан вывод о том, что разрешающая способность диссектора составляет

порядка единиц пикосекунд, что делает его эффективным средством измерения профилей сгустков в накопительных кольцах.

**Третья глава** диссертации посвящена исследованию контактных оптических методов диагностики поперечного и продольного профиля электронных пучков. Для широко используемых материалов сцинтилляторов проведено исследование линейности отклика от плотности тока пучка. Для измерения продольного профиля пучка протестирована схема с измерением стриккамерой профиля вспышки излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого при прохождении электронного пучка через коническую кварцевую мишень.

**В Заключении** сформулированы основные выводы работы.

**Автореферат** оформлен в соответствии с требованиями ВАК и в достаточной мере отражает структуру и основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

Несмотря на то, что, в целом, работа производит положительное впечатление, она не лишена ряда недостатков:

1. В работе присутствуют орфографические и пунктуационные ошибки, а также неточности, которые затрудняют восприятие материала. Например, во введении интерферометр назван «двухщелевым», а в первой главе – «двуухлучевым».
2. В первой главе недостаточное внимание уделено деталям созданного оптического комплекса. Например, непонятно какие использовались методы подстройки и юстировки оптики, используются ли моторизованные трансляторы, как станция мониторинга сопряжена с системой управления ускорительным комплексом. Имеются ли на кольце «Сибирь-2» другие станции измерения профилей пучка и, если имеются, как коррелируют измеряемые размеры?
3. При описании результатов измерения размеров и профилей пучков не уделено внимание измеряемому эмиттансу пучка. Было бы интересно

проверить насколько измеряемый эмиттанс пучка согласуется с расчётным значением при разных режимах работы ускорителя.

4. При испытании временного разрешения диссектора с использованием титан-сапфирового лазера, описанного в главе 2, минимальное время между импульсами лазера составляло около 9 пс, что определялось толщиной светоделителя. Для создания последовательности импульсов лазера с меньшим расстоянием между ними могла быть использована схема на основе интерферометра, описанная в работе [Generation of a femtosecond electron microbunch train from a photocathode using twofold Michelson interferometer / Shevelev, M., Aryshev, A., Terunuma, N., Urakawa, J. // Physical Review Accelerators and Beams. – Т. 20 (10). – статья № 103401. – DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.103401]. В цитируемой работе схема формирования лазерных импульсов позволяла генерировать импульсы с задержкой порядка 0,7 пс.

5. В третьей главе, при описании оптической схемы измерения продольного профиля пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова недостаточное внимание уделено описанию элементов оптической схемы и возникающих в них aberrаций. Для разработанной схемы конуса не приводится расчёт его эффективной длины, которая, судя по рисунку 3,17, составляет порядка половины истинной длины конуса. Также не оценены потери излучения из-за дисперсии света в конусе и возможности использования других материалов.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации В.Л. Дорохова и могут рассматриваться как пожелание для проведения дальнейших исследований. Главным достоинством работы В.Л. Дорохова является то, что автор решает важнейшую экспериментальную и практическую задачу расширения набора средств измерения характеристик пучков заряженных частиц, которые должны быть применены на всех разрабатываемых и создаваемых в настоящее время в России кольцевых источниках синхротронного излучения.

## **Заключение**

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация Дорохова В.Л. «Развитие методов оптической диагностики в циклических ускорителях заряженных частиц» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой выполнены все поставленные задачи и достигнуты поставленные цели. Диссертационная работа соответствует требованиям и критериям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Дорохов Виктор Леонидович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»

Официальный оппонент:

Доцент Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор физико-математических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»

/ Сухих Леонид Григорьевич /

Тел. +7-903-914-72-80

E-mail: [sukhikh@tpu.ru](mailto:sukhikh@tpu.ru)

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

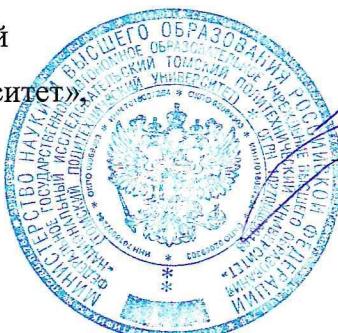
Подпись Сухих Леонида Григорьевича заверяю

и.о. учёного секретаря ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский

Томский политехнический университет»,

кандидат технических наук



/Е.А. Кулинич/

«21 » апреля 2021 г.