

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Дубна, Московская область, Россия 141980 Dubna Moscow Region Russia 141980  
Telefax: (7-495) 632-78-80 Tel.: (7-49621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru http://www.jinr.ru

15 СЕН 2021

№ 002-04/1133

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**Утверждаю:**

Директор Международной  
межправительственной организации  
Объединенного института ядерных  
исследований,

д.ф.-м.н., академик РАН

Губкин Г.В.

« 14 » 09 2021 г.



**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию

Мальцевой Юлии Игоревны

«Оптоволоконный датчик потерь пучка на основе черенковского  
излучения для Инжекционного комплекса ВЭПП-5»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.18 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

**Актуальность темы диссертации**

Диагностика потерь пучка является неотъемлемым инструментом  
диагностики пучка в современных ускорителях заряженных частиц на  
высокую энергию. Она необходима как на этапах настройки ускорителя, так и

в процессе его штатной работы. Система датчиков потерь пучка позволяет во время работы с пучком минимизировать потери или полностью от них избавиться, тем самым улучшая производительность ускорителя.

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 (ИК) представляет собой уникальный источник электронов и позитронов, который обеспечивает одновременную работу двух действующих коллайдеров в ИЯФ СО РАН. От надежности функционирования комплекса напрямую зависит эффективность работы этих коллайдеров. Одной из основных задач по улучшению производительности и стабильности комплекса являлась разработка оптоволоконного датчика потерь пучка на основе черенковского излучения. Система из датчиков такого типа позволяет ускорить настройку комплекса и обеспечивает стабильность функционирования ИК ВЭПП-5 в разнообразных режимах его работы.

Представленная диссертационная работа посвящена разработке оптоволоконного датчика потерь пучка с детальным исследованием основных процессов, лежащих в основе принципа его работы, и вводу датчика в эксплуатацию на однопролетных и кольцевых участках ИК ВЭПП-5 в ИЯФ СО РАН.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Кандидатская диссертация Мальцевой Ю.И. состоит из: введения; пяти глав; заключения; списка сокращений и условных обозначений; списка литературы. Общий объем работы 122 страницы, из них 108 страниц текста, включая 54 рисунка и 6 таблиц. Библиография включает 90 наименований на 9 страницах.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, поставлены задачи работы и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов и представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе, посвященной выбору новой системы диагностики потерь пучка для ИК ВЭПП-5, приводится обзор типов датчика потерь пучка,

наиболее подходящих для данного ускорителя. Перечисляются требования, предъявляемые к датчику потерь пучка на ИК ВЭПП-5. Описывается принцип работы выбранного оптоволоконного датчика потерь пучка на основе регистрации излучения Вавилова-Черенкова. Приводится исторический обзор применения оптоволокна в качестве датчика потерь пучка.

Вторая глава диссертации посвящена теоретическому исследованию физических процессов, лежащих в основе принципа работы датчика, с точки зрения точности локализации места потери пучка и оценки количества потерянных частиц. Рассмотрены такие процессы, как взаимодействие электронов с веществом, излучение Вавилова-Черенкова. Подробно описано устройство оптоволокна и механизм передачи излучения по оптоволокну на основе лучевой теории распространения света, рассмотрены существующие типы оптоволокон. Показано, как на качество передачи сигнала по оптоволокну влияют затухание и дисперсия световых импульсов. Описано влияние ионизирующего излучения на качество передачи сигнала по оптоволокну.

Параграф 2.5 второй главы посвящен особенностям распространения излучения Вавилова-Черенкова в оптоволокне с учетом условий его генерации, интенсивности и спектра излучения. Приводятся аналитические расчеты для оценки числа фотонов. Показана зависимость вероятности передачи излучения Вавилова-Черенкова по оптоволокну от угла влета заряженной частицы в оптоволокно. Выход света из оптоволокна квадратично зависит от диаметра его сердцевины и слабо зависит от его числовой апертуры. Показано также, что с ростом длины оптоволокна ультрафиолетовая часть спектра излучения Вавилова-Черенкова затухает сильнее, чем видимая часть спектра и ближний ультрафиолет, за счет молекулярного рассеяния Рэлея.

Третья глава посвящена численному моделированию различных сценариев потерь пучка в ускорителе и процессов регистрации потерь пучка при

помощи оптоволокна. Показано, что моделирование позволяет определить условия применимости данной диагностики потерь пучка, основные характеристики датчика, его оптимальное местоположение на структуре ускорителя и оптимальные способы регистрации потерь пучка. По результатам моделирования приводится оценка количества вторичных заряженных частиц в результате взаимодействия пучка со стенкой вакуумной камеры. Результаты моделирования излучения Вавилова-Черенкова в оптоволокне показали, что для оценки числа фотонов можно использовать аналитическую формулу, полученную во второй главе.

Четвертая глава посвящена экспериментальному выбору оптимальной конструкции датчика и его оптимального режима работы на ИК ВЭПП-5. Приводятся результаты исследования разных типов оптоволокон, фотоэлектронных умножителей и аналого-цифровых преобразователей. Полученные с помощью моделирования результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом. Показан выбор оптимальных компонентов датчика с точки зрения его оптимального пространственного разрешения, калибровки сигнала по количеству потерянных частиц, простоты и надежности использования датчика в целом. Проведена экспериментальная оценка минимального порога чувствительности датчика, которая составила порядка 1 пКл регистрируемого заряда пучка. Демонстрируется, что одновременное использование четырех датчиков, равноудаленных друг от друга по периметру вакуумной камеры, позволяет с точностью до квадранта определить азимутальное место потерь пучка.

Пятая глава посвящена опыту внедрения и использования датчика на ИК ВЭПП-5. Показана работа датчика оптимизированной конструкции в каналах выпуска электронов и позитронов, а также в циклическом накопителе. Приводится описание программного обеспечения, настроенного на различные режимы работы ускорителя и позволяющего контролировать потери пучка в ускорителе в онлайн режиме. Приводится экспериментальная

проверка калибровки датчика по имеющимся локальным диагностическим устройствам.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Проведено моделирование и расчеты параметров оптоволоконного датчика потерь пучка, в результате которых были сделаны выводы об условиях применимости датчика, о его пространственном разрешении и калибровке сигнала для электронных ускорителей.

2. Экспериментально продемонстрированы особенности работы различных типов оптоволокна, фотодетекторов и АЦП. В результате исследования был выбран наиболее подходящий тип и длина отрезка оптоволокна, а также тип фотодетектора и АЦП с оптимальными временными характеристиками для достижения требуемого пространственного разрешения датчика для ИК ВЭПП-5.

3. Создано и успешно испытано в экспериментах необходимое для работы оптоволоконного датчика потерь пучка программное обеспечение. Оно интегрировано в общую систему автоматизации ИК ВЭПП-5, реализует все необходимые режимы работы прибора и обрабатывает сигнал, предоставляя информацию о местах потери пучка и о количестве потерянных частиц.

4. Впервые успешно испытан и введен в эксплуатацию оптоволоконный датчик потерь пучка с оптимизированными параметрами в составе каналов выпуска электронов и позитронов, а также циклического накопителя на ИК ВЭПП-5.

**Соответствие темы и содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Содержание диссертации, её завершенность в целом соответствуют требованиям, предъявляемым ВАК. Тема исследования соответствует заявленной научной специальности.

## **Соответствие автореферата диссертации её содержанию**

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК, правильно и достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

### **Личный вклад соискателя в получение результатов исследования**

Личный вклад Мальцевой Ю.И. в результаты работ, представленных в диссертации, является определяющим и заключается в постановке задачи, в проведении расчетов и численного моделирования, проведении экспериментов, обработки и анализа экспериментальных данных, разработке программного обеспечения, используемого для получения экспериментальных данных.

### **Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается хорошей воспроизводимостью, а также сравнением результатов, полученных с использованием независимых диагностик. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами численного моделирования. Приведенные выводы сформулированы на основе большого массива экспериментальных данных.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Успешно разработан оптоволоконный датчик потерь пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова. Система датчиков потерь успешно введена в эксплуатацию на действующей установке ИК ВЭПП-5 в ИЯФ СО РАН. Данная диагностика позволила реализовать контроль распределения потерь пучка в режиме онлайн в процессе запуска, наладки и штатной работы комплекса.

Представленные в данной работе методы моделирования сценариев потерь пучка в ускорителях заряженных частиц и различные способы регистрации потерь при помощи оптоволоконного датчика позволяют производить

оптимизацию конструкции датчика для получения его оптимальных временных и амплитудных характеристик.

Результаты исследования потерь пучка, полученные в рамках диссертационной работы, могут быть использованы при создании аналогичных систем диагностики потерь пучка на современных ускорительных комплексах, коллайдерах и источниках синхротронного излучения как в России, так и за рубежом.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в исследовательских центрах России: ОИЯИ, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, ЦКП «СКИФ», а также зарубежных стран, где разрабатываются, создаются и эксплуатируются ускорительно-накопительные комплексы.

### **Новизна и научная ценность полученных результатов**

Научная новизна диссертации заключается в разработке новых, уникальных методик и приборов, позволяющих осуществлять наблюдение потерь пучков заряженных частиц в современных ускорителях заряженных частиц.

### **Замечания по диссертационной работе**

На заседании Секции физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники Общеинститутского семинара при обсуждении доклада диссертанта ему были заданы вопросы и высказаны конкретные замечания по теме диссертации. В частности, участниками семинара было высказано пожелание использовать стандартные методики, основанные на анализе движения пучка относительно кроссовера, для разделения когерентных и некогерентных потерь частиц.

По заданным вопросам и высказанным замечаниям диссертант дал обстоятельный ответ. В целом критические замечания не уменьшают

значение работы, как диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

### **Заключение по диссертации о соответствии её требованиям**

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, выполненную автором на высоком научном уровне. Представленные в работе результаты исследований достоверны, выводы, заключения и рекомендации аргументированы и обоснованы. Результаты работы опубликованы, апробированы и внедрены. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По результатам диссертации опубликовано 8 работ в рецензируемых журналах и сборниках трудов конференций, 4 из которых в периодических изданиях, входящих в рекомендуемый перечень ВАК.

Диссертация Мальцевой Юлии Игоревны «Оптоволоконный датчик потерь пучка на основе черенковского излучения для Инжекционного комплекса ВЭПП-5» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Мальцева Юлия Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составил:

Специальный представитель директора Института по сотрудничеству с международными и российскими научными организациями

Академик РАН, д.ф.м.н.,

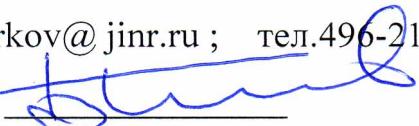
Борис Юрьевич Шарков

Специальность 01.04.20 (1.3.18) – физика пучков

заряженных частиц и ускорительная техника

e-mail sharkov@jinr.ru ; тел.496-2165060

Подпись



Дата

10.09.2021

Материалы диссертации Мальцевой Ю.И. "Оптоволоконный датчик потерь пучка на основе черенковского излучения для Инжекционного комплекса ВЭПП-5" рассмотрены и утверждены на видеоконференции научного семинара Секции физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники Общеинститутского семинара Международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований ОИЯИ, протокол № 81 от 07 сентября 2021 г.

Председатель Секции физики пучков

заряженных частиц и ускорительной

техники Общеинститутского семинара

Специальный представитель директора Института по сотрудничеству с

международными и российскими научными организациями

Академик РАН, д.ф.м.н.,

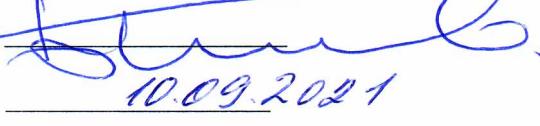
Борис Юрьевич Шарков

Специальность 01.04.20 (1.3.18) – физика пучков

заряженных частиц и ускорительная техника

e-mail sharkov@jinr.ru ; тел.496-2165060

Подпись



Дата

10.09.2021

Подпись Шаркова Б.Ю. заверяю:

Главный научный секретарь ОИЯИ,

Кандидат физико-математических наук,

/ Сергей Николаевич Неделько

Почтовый адрес

Московская область, г. Дубна

ул. Жолио-Кюри, 6.

Тел. 496-2165940, 496-2162221.

e-mail main@jinr.ru

Подпись

Сергей

Дата

10.09.2021