

ОТЗЫВ

официального оппонента Мешкова Олега Игоревича на диссертацию
Гаврилова Сергея Александровича

«Системы, приборы и методы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Работа Гаврилова Сергея Александровича посвящена актуальной задаче исследования и разработки приборов и методов контроля и диагностики пучков ускоренных заряженных частиц для ускорительных комплексов с последующим созданием опытных образцов не только универсальных устройств, предназначенных для широкого круга пользователей, но и специализированных приборов, позволяющих, в частности, обеспечить эффективную настройку и эксплуатацию сооружаемых в данный момент ускорительных комплексов.

В приборах диагностики пучка, как правило, задействован широкий набор разнообразных и зачастую взаимосвязанных физических процессов, требующих детального анализа, особенно в случае интенсивных пучков современных ускорителей, когда эксплуатация отдельных устройств диагностики ведется в режиме работы, близком к критическому, при котором наступает либо существенное искажение регистрируемого сигнала, либо разрушение детектирующей части датчика. Таким образом, научная новизна проведенных работ состоит в разработке, численном моделировании, изготовлении и экспериментальной верификации разнообразных средств диагностики пучков для линейных ускорителей ионов, работающих в широком диапазоне интенсивностей и энергий пучков ионов. В частности, для измерителей продольной формы сгустков, работающих на основе поперечной высокочастотной модуляции вторичных низкоэнергетических электронов, разработан и реализован метод повышения фазового разрешения измерений до уровня, ограниченного естественной дисперсией времени вылета электронов вторичной эмиссии.

Практическая значимость представленных исследований определяется тем, что в основе материалов диссертации лежат результаты работ автора, выполненных в ИЯИ РАН по договорам с РФЯЦ-ВНИИЭФ, НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ «МИФИ», ОИЯИ, а также с зарубежными ускорительными центрами CERN (Швейцария), FAIR-GSI (Германия), ESS (Швеция), MYRRHA (Бельгия), FRIB MSU (США) на разработку, изготовление и поставку систем и отдельных устройств диагностики пучков для линейных ускорителей ионов, действующих или сооружаемых в этих организациях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав с отдельными выводами и заключения. Общий объем диссертации: 350 страниц, включая 283 рисунка и 16 таблиц.

Во Введении излагаются актуальность и степень разработанности темы исследования; цель, научная новизна и практическая значимость работы; описывается личный вклад автора и перечисляются положения, выносимые на защиту; отражается степень достоверности, методология и методы проведенного исследования, а также указываются данные о связи с государственными научными программами, апробации работы и публикациях.

В Главе 1 сформулированы основные задачи и потребности в диагностике пучков в зависимости от типа, назначения и характеристик линейных ускорителей ионов, даны определения и типичные значения основных измеряемых параметров пучков, проведен анализ методов и средств диагностики и показан типичный выбор диагностических устройств, приведены описания их физических принципов работы и основных технических характеристик, особенности и примеры практической реализации, а также указаны опытно-аналитические обоснования их применимости для различных типов пучков, что в совокупности формирует согласованную физико-техническую концепцию построения систем базовой диагностики пучков для линейных ускорителей ионов. Представленная физико-техническая концепция была, в частности, использована для проектирования системы диагностики пучка сильноточного линейного ускорителя протонов в составе компактного источника нейtronов DARIA.

В Главе 2 описаны результаты работ в рамках нескольких договоров на поставку диагностических устройств и систем для линейных ускорителей ионов, как отечественных, так и зарубежных ускорительных центров, по которым были проведены разработка, изготовление и настройка оригинального оборудования базовой системы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов на основе разработанной физико-технической концепции. Из всего многообразия существующего оборудования диагностики параметров пучка было предложено использовать устройства, практическая реализация которых возможна с учетом имеющегося или гарантированно достижимого уровня отечественных технологий.

В Главе 3 описаны процессы разработки, изготовления и настройки оригинальных систем диагностики ионных пучков для стендов облучения на примере установок Ускорительного центра нейтронных исследований структуры вещества и ядерной медицины ИЯИ РАН на базе сильноточного линейного ускорителя протонов и отрицательных ионов водорода. В частности, для стенда протонного облучения и комплекса протонной терапии, где пучки протонов выводятся в атмосферу, разработаны и реализованы системы диагностики интенсивности, положения и профиля пучка на основе мультианодных газовых счётчиков. Отличительной чертой разработанной системы диагностики является возможность работы с пучками частиц в разных зарядовых состояниях, включая смесь зарядовых состояний, а также атомарные пучки водорода. Результатом выполненных работ

стало приборно-методическое обеспечение научных и прикладных исследований по облучению различных объектов пучками ионов во всём диапазоне энергий и интенсивностей пучков, доступном для установок Ускорительного центра.

В Главе 4 описаны некоторые оригинальные системы и методы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов, связанные с опытом автора в проводке высокоинтенсивных пучков протонов в протяженных каналах транспортировки Ускорительного центра ИЯИ РАН.

Например, предложен, разработан и реализован метод неразрушающей диагностики положения разгруппированных пучков протонов в протяженных каналах транспортировки на основе ёмкостных датчиков положения пучка.

Кроме того, для линейного ускорителя проекта DARIA была предложена, разработана и изготовлена система контроля разности измеряемых токов пучка при прохождении двух последовательно установленных индукционных датчиков тока, которая используется для быстрой аварийной защиты сильноточного ускорителя.

В Заключении приводятся основные результаты исследований и формулируются выводы по итогам всех проведенных в рамках диссертации работ.

Физические принципы и общие подходы к конструированию средств диагностики пучков, описанных в диссертации, для большинства из разработанных устройств хорошо известны. Однако все приборы, разработанные автором, имеют оригинальные научные и технические решения, т.е. содержат элементы новизны. Немаловажно, что автором налажено малотиражное изготовление этих высокотехнологичных наукоемких изделий, адаптированное под возможности отечественного производства. Например, индукционные датчики тока, описанные в разделе 2.1, выпускаются несколькими компаниями в мире, а теперь, к счастью, их умеют делать и в России.

Разнообразие средств диагностики пучка, созданных автором, вызывает глубокое уважение и восхищение. Теперь, в случае необходимости, комплекс средств диагностики пучка может быть произведен для ускорителей ионов, функционирующими в очень широком диапазоне по энергии пучка и заряду в сгустке.

Отдельно хочется отметить вклад автора в разработку и изготовление уникального метода диагностики – фазового анализатора пучка. Здесь автором были внесены изменения в базовую конфигурацию и конструкцию измерителей, что позволило улучшить фазовое разрешение прибора до предельных значений, а также расширить диапазон измерений по фазам до полного периода следования анализируемых сгустков. В результат расчетное временное разрешение прибора достигает 4 пикосекунд для частоты ВЧ 352.2 МГц, что сравнимо с оптическими стрик-камерами.

Диссертация написана хорошим понятным языком и содержит умеренное количество грамматических ошибок.

В связи с большим объемом изложенного материала диссертация неизбежно имеет некоторые недостатки, в частности:

1. Некоторая перегруженность текста диссертации обзором и теоретическими основами методов диагностики пучков ионов. Все эти сведения многократно изложены в специализированных изданиях, журнальных обзорах и монографиях. При этом автор не производит сравнение характеристик созданных им датчиков с мировыми аналогами.
2. К сожалению, проводя обзор диагностических методов автор не ссылается на некоторые оригинальные отечественные разработки: датчик поперечного профиля пучка на основе струи паров магния и датчик продольного профиля пучка Логачева. Оба прибора успешно работали на отечественных и зарубежных ускорителях ионов.
3. При обсуждении характеристик ионизационного монитора поперечного сечения (ИМПС) было бы логично определить диапазон токов пучка, при которых измерения профиля возможны при указанном диапазоне рабочего давления остаточного газа в ионопроводе.
4. Диаметр отверстий, указанный на рис. 2.3.2 отличается от величины, указанной ранее в тексте.

Перечисленные недостатки не снижают научную и практическую значимость результатов диссертации и не влияют на общую высокую оценку представленной работы.

Заключение

Основные научные результаты диссертации изложены в 16 публикациях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Степень обоснованности научных положений диссертации, достоверность проведенных исследований и использованная методология не вызывают сомнений. Они подтверждены в ходе экспериментальных исследований на действующих отечественных и зарубежных линейных ускорителях ионов и прошли публичное обсуждение в профессиональном ускорительном сообществе в виде 25 работ, опубликованных в трудах международных научных конференций. Подготовка всех публикаций проводилась совместно с соавторами. Содержание диссертации и положения, вынесенные на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Автoreферат в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа С. А. Гаврилова представляет собой оригинальную законченную научную работу, актуальна, обладает достаточной научной новизной, представляет научный и практический интерес, полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Гаврилов Сергей Александрович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент:

Мешков Олег Игоревич, доктор физико-математических наук по специальностям 1.3.18 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника» и 1.3.9 – «Физика плазмы», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, научно-исследовательский сектор 1-31, заведующий сектором,
адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 11,
электронная почта: O.I.Meshkov@inp.nsk.su,
телефон: +7-913-953-92-81.

О. И. Мешков

«22» января 2026 г.

Подпись О. И. Мешкова удостоверяю,
ученый секретарь ИЯФ СО РАН

_____ (А. В. Резниченко)

Список основных публикаций оппонента по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. V. M. Borin, ..., O. I. Meshkov et al. Development and testing of an autocorrelator for measuring the duration of picosecond pulses of near-infrared radiation // Siberian Journal of Physics, 2023. – vol. 18 (№2). – pp. 16–25.
2. M. Xiaochao, ..., O. I. Meshkov et al. BEAM DIAGNOSTICS FOR LINEAR ACCELERATOR OF SKIF SYNCHROTRON LIGHT SOURCE // Journal of Instrumentation, 2022. – v. 17 (№4). –pp. T04001.
3. M. V. Arsentyeva, ..., O. I. Meshkov et al. RESULTS OF OPERATION OF THE TEST ACCELERATOR FACILITY FOR THE SKIF LINEAR ACCELERATOR // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2024. – v. 21 (№3). – pp. 271-277.
4. V. L. Dorokhov, O. I. Meshkov et al. DEVELOPING AN INTERFEROMETRIC METHOD FOR MEASURING THE TRANSVERSE DIMENSIONS OF A PARTICLE BEAM IN CYCLIC ACCELERATORS // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2023. – v. 20 (№5). – pp. 1046-1054.
5. V. Balakin, O. Meshkov et al. P43 FOR MANUFACTURING OF LARGE AREA SCINTILLATING SCREENS // Journal of Instrumentation, 2022. – v. 17 (№8). – pp. P08020.