

ОТЗЫВ официального оппонента Юрова Дмитрия Сергеевича

на диссертацию Титова Александра Ивановича

«Развитие аппаратно-программных средств управления и диагностики пучка для ускорительного комплекса ИЯИ РАН», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Титова А.И. посвящена решению безусловно актуальной задачи по модернизации автоматизированной системы управления (АСУ) линейного ускорителя (ЛУ) ионов водорода ИЯИ РАН. Автором проделана большая работа, включающая в себя как усовершенствование старого функционала АСУ (системы сбора и отображения данных, пользовательского интерфейса, системы электропитания ускорителя), так и добавление принципиально новых функций, касающихся главным образом системы диагностики пучка. Из последнего можно выделить разработку программного обеспечения (ПО) для сбора и обработки оптических данных с датчиков поперечного профиля пучка, универсального по отношению к типу используемого датчика; применение нового метода расчета числа частиц пучка в импульсе на основании данных с люминесцентных экранов; реализацию системы томографической реконструкции поперечного фазового портрета пучка.

Все разработанное автором ПО активно использовалось по назначению и, судя по отмеченному в работе опыту, привнесло заметные улучшения в процесс настройки и эксплуатации ускорителя. Для большинства разработанных и модернизированных автором систем диагностики приводятся экспериментальные результаты, позволяющие оценить достоверность получаемых с их помощью данных. Достоверность данных, полученных с использованием оптических методов диагностики, подтверждается сравнением с другими измерителями параметров пучка. Достоверность результатов, полученных с использованием процедуры

томографической реконструкции, подтверждается сравнением с апробированным методом поперечных профилей, а также с результатами моделирования динамики пучка. При помощи процедуры томографии проведено восстановление плотности распределения частиц в поперечных фазовых плоскостях для пучков протонов с энергиями в диапазоне от десятков до сотен МэВ. Все вышеуказанное, а также полное представление основных результатов в научной печати и на международных конференциях, подтверждает высокую степень обоснованности и достоверности полученных в диссертационной работе результатов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложенном методе измерения заряда макроимпульса пучка протонов, выведенного в атмосферу, на основе измерения интенсивности свечения люминесцентных экранов под воздействием пучка, а также в реализованном математическом алгоритме устранения артефактов томографической реконструкции поперечных фазовых портретов пучков.

Во введении излагаются актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, научная новизна и практическая ценность работы; раскрывается личный вклад автора и степень достоверности, перечисляются положения, выносимые на защиту, и указываются данные о публикациях и апробации работы.

В первой главе дан обзор современных систем управления, использующихся в различных ускорительных комплексах по всему миру. Предложена классификация основных типов систем управления, разобраны их основные характеристики и особенности использования.

Во второй главе приведено описание автоматизированной системы управления ЛУ ИЯИ РАН. Раскрыт принцип работы АСУ, указаны основные составляющие элементы, описана система синхронизации ЛУ. В разделах 2.7, 2.8 рассказано о программной части АСУ.

Третья глава посвящена модернизации АСУ ЛУ ИЯИ РАН, как общей, связанной с переходом на единую версию LabVIEW, так и отдельных узлов:

системы сбора данных, системы дозиметрического контроля, системы контроля фаз электропитания.

В четвертой главе говорится о разработке ПО для датчиков пучка, использующих оптические методы в своей работе. Разбирается базовый функционал, приводится описание функций, уникальных для каждого конкретного типа датчика.

Пятая глава посвящена разработке процедуры томографической реконструкции поперечных фазовых портретов пучка. В общих чертах обсуждается реализованный алгоритм, оцениваются погрешности процедуры. Приводится сравнение метода томографической реконструкции с методом поперечных профилей, а также обоих методов с расчетными данными.

В Заключение приводятся основные результаты и выводы работы, а также выражаются благодарности тем, кто оказывал помощь и содействие в реализации работы.

Сама работа написана понятным языком, имеет логичную структуру и выполнена на высоком уровне. Тем не менее к работе можно сделать несколько замечаний.

1. Не указана точность измерения заряда макроимпульса пучка протонов с помощью интенсивности люминесценции. Фраза «показания модуля расчета заряда совпадают с показаниями других приборов с точностью до порядка», по-видимому, относится к текущему положению дел с деградировавшим люминофором.

2. Алгоритм процедуры томографической реконструкции описан недостаточно подробно и понятно. Что имеется в виду под итерацией в тексте и на Рис. 5.4? Каков физический смысл процедуры постобработки? Почему функция устранения артефактов реконструкции присутствует только в модуле офлайн томографии, ведь матрицы преобразования для каждого профиля должны быть известны и во время онлайн томографии?

3. Несмотря на то, что в работе упоминается возможность влияния энергетического разброса пучка на форму фазового портрета, в оценке

погрешности процедуры томографической реконструкции нет члена, отвечающего за энергетический разброс. Так как квадрупольная фокусирующая система является хроматичной, преобразование фазовых координат пучка вдоль тракта, заложенное в процедуре, зависит от энергии частиц. Если влияние энергетического разброса в данном случае пренебрежимо мало, нужны оценки, подтверждающие это.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Титов Александр Иванович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент,

Юров Дмитрий Сергеевич,
кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.20 - «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, отдел электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер, старший научный сотрудник
119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 5
Тел.: +7(495)9395662, e-mail: d_yurov88@mail.ru

_____ Д.С. Юров

17 июня 2025 г.

Подпись Д.С. Юрова заверяю:
Ученый секретарь
НИИЯФ МГУ

Е.А. Сигаева

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

1. Д.С. Юров, В.И. Шведун, А.С. Алимов. Линейные ускорители электронов непрерывного действия для научных и прикладных целей, Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 2023. – № 1. – с.2310501.

2. Д.С. Юров, М.А. Борисов, А.С. Алимов, А.Н. Ермаков, А.Н. Каманин, Н.И. Пахомов, А.С. Симонов, Я.Ю. Филиппов, В.В. Ханкин, В.И. Шведун, И.В. Шведун, Н.В. Шведун. Разработка линейного ускорителя электронов для комплекса лучевой терапии I. Подавление эффекта обратной бомбардировки катода, Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 2024. – № 5. – с.2451001.

3. Д.С. Юров, М.А. Борисов, А.С. Алимов, С.З. Багова, А.Н. Ермаков, А.Н. Каманин, Т.К. Лобжанидзе, Н.И. Пахомов, А.С. Симонов, В.В. Ханкин, В.И. Шведун, И.В. Шведун, Н.В. Шведун. Разработка линейного ускорителя электронов для комплекса лучевой терапии II. Снижение напряженности ускоряющего поля, повышение эффективности ускоряющей структуры, Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 2024. – № 5. – с.2451002.

4. V.S. Chernysh, A.N. Ermakov, A.E. Ieshkin, D.S. Kireev, V.V. Khankin, L.Y. Ovchinnikova, V.I. Shvedunov, A.A. Tatarintsev and D.S. Yurov. Dark current issues for high gradient C-band medical linac, Journal of Instrumentation, 2021. – № 2. – p.T02007.

5. У.А. Близнюк, П.Ю. Борщеговская, О.В. Есаулова, В.С. Ипатова, В.С. Ким, С.В. Кузьмин, Э.М. Насибов, З.К. Никитина, С.И. Никифоров, В.В. Розанов, А.П. Черняев, Д.С. Юров, И.А. Родин. Влияние ускоренных электронов на выживаемость бактерий *Escherichia coli*, Технологии живых систем, 2024. – № 1. – с.75-85.

6. Н.С. Чуликова, А.А. Малюга, У.А. Близнюк, А.П. Черняев, П.Ю. Борщеговская, С.А. Золотов, А.Д. Никитченко, Я.В. Зубрицкая, Д.С. Юров. Влияние пучка ускоренных электронов с энергией 1 МэВ на рост и микрофлору картофеля, Известия Российской академии наук. Серия физическая, 2022. – № 12. – с.1817-1825.

7. U. Bliznyuk, P. Borshchegovskaya, T. Bolotnik, A. Chernyaev, V. Ipatova, A. Nikitchenko, O. Shinkarev, D. Yurov, O. Khmelevskiy, I. Rodin. Research into gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) for ensuring the effect of 1 MeV-accelerated electrons on volatile organic compounds in turkey meat, Separations, 2022. – № 8. – p.227.

8. A. Oprunenko, T. Bolotnik, Y. Ikhalaynen, V. Ipatova, U. Bliznyuk, P. Borshchegovskaya, D. Yurov, N. Bolotnik, E. Kozlova, A. Chernyaev et al. Evaluating changes in the VOC profile of different types of food products after electron beam irradiation, Applied Sciences, 2025. – № 3. – p.1333.