

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **13.11.2025** № **35/13**

О присуждении **Титову Александру Ивановичу**, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Развитие аппаратно-программных средств управления и диагностики пучка для ускорительного комплекса ИЯИ РАН» по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 05.06.2025 г., протокол № 27/5 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель Титов Александр Иванович 1996 года рождения. В 2020 году соискатель с отличием освоил программу магистратуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.04.01-«Прикладные математика и физика» (диплом № 107724 4872523, выдан 17.07.2020 г.). В 2024 г. соискатель окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики» (диплом № 107724 1414869, выдан 16.07.2024 г.). В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника отдела ускорительного комплекса, Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе ускорительного комплекса, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Гаврилов Сергей Александрович**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), отдел ускорительного комплекса, заведующий лабораторией пучка.

Официальные оппоненты:

Кулевой Тимур Вячеславович, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Курчатовский комплекс теоретической и экспериментальной физики, заместитель руководителя Комплекса по прикладным научным исследованиям и экспериментальным установкам,

Юров Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, 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 взаимодействия атомных ядер, старший научный сотрудник,
дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Международная межправительственная научно-исследовательская организацию Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), (г. Дубна).

В своем **положительном заключении**, подписанном Балдиным Антоном Александровичем, доктором физико-математических наук, начальником Научно экспериментального отдела теоретической и методической поддержки проектов, Отделения №2 Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ, и утвержденном директором ОИЯИ, доктором физико-математических наук, академиком РАН, Трубниковым Григорием Владимировичем

указала, что работа на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук полностью удовлетворяет всем требованиям и критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Титов Александр Иванович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, а также 5 работ, опубликованных в трудах конференций.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список основных работ по результатам диссертационного исследования:

1. Beam transverse phase space tomography at the high-intensity linear accelerator of hydrogen ions / Titov A.I., Bragin S.E., Volodkevich O.M., Gavrillov S.A. // Instruments and Experimental Techniques, Vol. 66, № 1, pp. 1–18, 2023.
2. Multipurpose software for acquisition and processing of optical signals from beam profile monitors at the INR linac / Titov A.I., Gavrillov S.A., Polonik. I.I. // Instruments and Experimental Techniques, Vol. 67, Suppl. 1, pp. S70–S76, 2024.
3. A beam-induced fluorescence monitor at the low-energy beam transport line of the proton linac at the Institute for Nuclear Research / Gavrillov S.A., Kalinin Yu. G., Polonik I.I., Titov A.I. // Instruments and Experimental Techniques, Vol. 67, Suppl. 2, pp. S167–S173, 2024.
4. Bragin S., Feschenko A., Gavrillov S., Grekhov O., Kalinin Y., Kiselev Y., Latysheva L., Lebedev S. G., Melnikov A., Serov V., Sobolevskiy N., Titov A., Volodkevich O., Arbuznikov D., Podgornaya O., Prokhorov E., Razinkov S.,

Tsedrik P. and Tsibryaev S. Development of Proton Irradiation Facility at the INR Linac. // Journal of Physics: Conference Series, V. 1238, Number 1, 2019.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и полностью удовлетворяет всем требованиям и критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

1. На рисунке 2.1 не полностью приведена расшифровка всех элементов ускорительного комплекса ИЯИ РАН. Нет описания РАДЭКС, ИН-06. А также нет расшифровки элемента РС.

2. Встречаются предложения неопределенного содержания. «На отдельных секторах АСУ также имеет определенную структуру» стр. 22, «По сравнению с другими секторами структура АСУ в ЭК гораздо более простая» стр. 24., «В случае использования газа, то тогда речь идет о мониторах свечения остаточных газов [71] или ионизационных мониторах [72].» стр. 52.

3. Хаотично используется аббревиатура. Причем в одном предложении в середине текста может одновременно встречаться и полное название, и аббревиатура. Например, стр.24 – «В экспериментальном комплексе структура АСУ кардинально отличается от остальных секторов, поскольку ЭК проектировался и строился позже самого ускорителя.»

4. Фотографии устройств системы управления (рис. 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13) не добавляют информации к тексту. Их можно было бы исключить, либо же добавить расшифровку отдельных элементов управляющих стоек с описанием алгоритма их использования.

5. Требуется уточнение предложения на стр. 36 – «Данная серия – это сумма частот 50 Гц минус $f_{\text{пучка}} H^+$ с временной задержкой $\tau_2 \approx 1030\text{--}1100$ мкс относительно ноля синхронизации и $f_{\text{пучка}} H^+$.» Сейчас сложно понять, как получается гистограмма Гинжектора H^+ , приведенная на рис.2.16.

6. Проведенная работа по унификации версии программы LabVIEW 2010 для управления оборудованием ускорительного комплекса понятна. Но это может привести к сложностям с дальнейшим развитием программного комплекса.

7. По пункту 3.3 – видится целесообразным добавить, как минимум, алгоритмы разработанных частей программ. Или добавить фото пульта управления, иллюстрирующие изменения, появившиеся после изменения ПО.

8. Было бы полезным указать в гл.4.1 при каком давлении работают датчики профиля пучка, использующие оптические методы, ФЛУМ и ИМПС. Также было бы полезным указать, какие именно заряженные частицы остаточного газа – ионы или электроны – используются в ходе измерения, и какое поле создается в детекторе ИМПС для направления вторичных частиц на сцинтиллятор.

9. При выборе настройки модуля ранговой фильтрации говорится, что медианный фильтр является оптимальным (стр.67). Видится, что термин «оптимальный» следует заменить на «компромиссный». Иначе требуется определить критерий, по которому проводилась оптимизация, а также описать метод, по которому проводилась оптимизация.

10. Использование приближения фазового эллипса при измерении эмиттанса пучка методом квадрупольной вариации требует обоснования применимости при измерениях на ускорительном комплексе ИЯИ РАН (стр.75).

11. Необходимо объяснить используемое соотношение между среднеквадратичным и полным эмиттансами. Из теории известно, что для разного распределения частиц на фазовой плоскости, это соотношение получается разным. Так для распределения Капчинского-Владимирского это соотношение равно 4. При распределении «water-bag» это соотношение равно 6, а для Гауссова распределения совсем не имеет смысла для полного пучка.

12. На стр.85 приведена оценка применимости погрешности приближения малых углов. Представленные размеры расстояний между трубками дрейфа и апертур трубок не дают значения углов, приведенных в тексте.

13. На стр.88 введен параметр ν_e , для которого не приведено выражение, по которому он вычисляется. Требуются пояснения по способу вычисления параметра и определения достоверности измерений с его использованием.

14. 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.

15. Алгоритм процедуры томографической реконструкции описан недостаточно подробно и понятно. Не ясно, что имеется в виду под итерацией в тексте и на Рис. 5.4 и каков физический смысл процедуры постобработки. Также непонятно, 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.

16. 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.

17. На Рис. 4.8 показаны распределения частиц на выходе из ионопровода и после прохождения Al фольги и воздушного промежутка, где абсолютное число частиц в центре выше после прохождения рассеивающего вещества. Данный график требует пояснения, что за частицы дают вклад в

выросший пик, а не только объяснения, что распределение частиц после рассеяния становится Гауссовым. Кулоновское рассеяние не может привести к росту абсолютного числа частиц в центре пучка.

18. В обсуждение «соглашения о фазовом эллипсе», или, другими словами, о практике расчета «полного» размера пучка», следует добавить физические обоснования установившейся практики.

Текст диссертации написан ясно и имеет логичную структуру, полностью освещает цели, методы и результаты проделанной работы. Отмеченные замечания не снижают научную значимость и практическую ценность работы, а также не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Соискатель Титов А.И. ответил на заданные в ходе защиты вопросы и высказанные замечания. В частности, в ответ на замечание 12, соискатель ответил, что для оценки применимости приближения малых углов был рассмотрен теоретически наихудший случай движения частицы от одного края ионопровода к другому, а не от оптической оси ионопровода до края, и при таком рассмотрении оценка проведена верно.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработано многофункциональное программное обеспечение для оптических методов диагностики поперечного профиля пучка.

2. Проведены измерения параметров пучков ионов водорода с использованием оптических методов диагностики в различных точках ускорительного комплекса ИЯИ РАН.

3. Впервые предложена процедура измерения заряда макроимпульса пучка протонов, выведенного в атмосферу, на основе измерения интенсивности свечения люминесцентных экранов под воздействием пучка.

4. Разработано программное обеспечение для проведения томографической реконструкции поперечного фазового пучка протонов, в том числе с возможностью автоматизированных измерений.

5. Предложен и реализован математический алгоритм коррекции артефактов томографической реконструкции.

6. Впервые проведена томографическая реконструкция распределений частиц пучков протонов в поперечных фазовых плоскостях с энергиями в диапазоне от десятков до сотен МэВ.

7. 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. Предложен и реализован математический алгоритм устранения артефактов томографической реконструкции поперечных фазовых портретов пучков.

Практическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Проведенная модернизация отдельных узлов АСУ позволила упростить настройку линейного ускорителя и обеспечить работоспособность ускорительного комплекса в рамках работ по подготовке к получению пучков протонов с энергией до 423 МэВ.
- Датчики профиля пучка, которые используют оптические методы в своей работе, установлены в каналах транспортировки ускорительного комплекса ИЯИ РАН. Они позволяют измерять различные параметры пучка и используются для настройки ускорителя во время сеансов работы.
- Разработанная процедура томографической реконструкции применяется для проведения измерений параметров пучка в фазовом пространстве, результаты которых используются для оптимизации процессов настройки и проводки пучков протонов.

Все результаты получены на основе проведенных экспериментальных исследований. Разработанные методы могут быть использованы в других установках. 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 результатами моделирования динамики пучка.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, либо при его непосредственном участии.

На заседании 13 ноября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Титову Александру Ивановичу ученую степень кандидата физико-математических наук за вклад в развитие аппаратно-программных средств управления и диагностики пучка для ускорительного комплекса ИЯИ РАН, а именно за разработку алгоритма устранения артефактов томографической реконструкции и процедуры измерения заряда макроимпульса выведенного в атмосферу пучка протонов на основе свечения люминесцентных экранов.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **7** докторов наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за — **19**, против — **0**, недействительных бюллетеней — **0**.

Председатель

диссертационного совета 24.1.163.01

доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

_____ Кравчук Л.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.163.01

кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

13.11.2025 г.

М.П.