

ОТЗЫВ

официального оппонента Кулевого Тимура Вячеславовича 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

Работа Титова Александра Ивановича выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). Диссертационная работа посвящена актуальной задаче модернизации автоматизированной системы управления (АСУ) линейного ускорителя (ЛУ) ионов водорода ИЯИ РАН.

Во **введении** подробно обозначаются цели и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость. Представлены выносимые на защиту положения, освещена апробация результатов и указаны публикации автора в данной области.

Первая глава посвящена обзору различных типов систем управления ускорительными комплексами. Предложена классификация типов систем управления на основе их программных составляющих.

Вторая глава полностью отведена под описание Автоматизированной системы управления линейного ускорителя ИЯИ РАН. В первых разделах рассматривается аппаратная часть АСУ, последние разделы посвящены программной составляющей, в том числе системе сбора данных (ССД) – клиент-серверной основе системы управления.

В **третьей главе** описана проведенная модернизация узлов АСУ и ССД, связанных с технологическими системами ускорительного комплекса.

В **четвертой главе** дается описание универсального многофункционального программного обеспечения (ПО) для обработки данных с датчиков пучка, использующих оптические методы в своей работе. Приводится информация как о самом ПО, так и о результатах, полученных с его помощью.

В **пятой главе** представлена реализация процедуры томографической реконструкции плотности распределения частиц в поперечных фазовых плоскостях. Приводятся описание реализованного алгоритма, а также результаты томографии и сравнение с апробированным методом поперечных профилей.

Заключение содержит сжатое изложение основных результатов диссертации.

Диссертация Титова А.И. представляет собой актуальное законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Каждая глава завершается промежуточными выводами, в концентрированном виде формулирующими достигнутые результаты. Общий объем диссертации составляет 113 страниц, включая 63 рисунка и 9 таблиц.

Практическая значимость выполненной работы заключается в непосредственном использовании внедренного в АСУ программного обеспечения линейного ускорителя ИЯИ РАН, а также в упрощении его настройки.

Научная новизна диссертации заключается в предложенном методе измерения заряда макроимпульса пучка заряженных частиц, а также в реализации алгоритма обработки предварительных результатов томографии.

Результаты диссертации являются оригинальными, они с достаточной полнотой опубликованы в реферируемых научных журналах, неоднократно апробировались на международных конференциях. Достоверность и степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывают сомнений. Вклад автора является определяющим в результатах работ, составляющих основу диссертации. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Можно сформулировать несколько комментариев и замечаний по содержанию работы:

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 $F_{\text{пучка}} \text{ H}^+$ с временной задержкой $\tau_2 \approx 1030\text{--}1100$ мкс относительно ноля синхронизации и $F_{\text{пучка}} \text{ H}^+$.» Сейчас сложно понять, как получается гистограмма $F_{\text{инжектора}} \text{ H}^+$, 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 эмиттантами. 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 v_e , для которого не приведено выражение, по которому он вычисляется. Требуется пояснения по способу вычисления параметра и определения достоверности измерений с его использованием.

Тем не менее, указанные замечания никоим образом не снижают общую научную ценность работы, достоверность и важность полученных автором результатов.

С учетом изложенного выше можно сделать вывод, что диссертационная работа Титова Александра Ивановича полностью удовлетворяет 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,

Кулевой Тимур Вячеславович,

доктор технических наук по специальности 01.04.04 - «Физическая электроника»,

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

117218, г. Москва, ул. Большая Черемушkinsкая, д. 25

Тел.: +7(910)402-24-83, e-mail: kulevoy@itep.ru

_____ Т.В. Кулевой

6 октября 2025 г.

Подпись Т.В. Кулевого заверяю:

Заместитель директора

Главный ученый секретарь

О.А. Алексеева

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

1. М.С. Саратовских, А.Н. Зимин, Е.С. Саратовских, В.М. Гладков, А.Ю. Орлов, П.А. Федин, Т.В. Кулевой. Создание системы операторского контроля GARNET и распределенной системы управления на основе микросервисной архитектуры и применение на ускорителе ТИПр, Сибирский физический журнал, 2024. – № 2. – с.5-14.

2. Г.А. Филатов, А.А. Сливин, Е.М. Сыресин, А.В. Бутенко, А.С. Ворожцов, А.В. Агапов, К.Н. Шипулин, С.Ю. Колесников, А.Р. Галимов, А.М. Тихомиров, В.И. Тюлькин, Д.Е. Донец, Д.С. Леткин, Д.О. Леушин, А.В. Тузиков, А.А. Балдин, Д.С. Коровкин, Г.Н. Тимошенко, Т.В. Кулевой, Ю.Е. Титаренко, Д.В. Бобровский, А.И. Чумаков, С.А. Соловьев, А.С. Кубанкин, Д.Г. Фирсов, Ю.С. Кубанкин, П.Н. Черных, С.В. Осипов, Е.Г. Серенков, С.А. Четвериков. Каналы и станции для прикладных исследований ускорительного комплекса NICA, Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2023. – № 4(249). – с.812-818.

3. А.В. Тишевский, И.Г. Алексеев, И.С. Волков, Ю.В. Гурчин, А.Ю. Исупов, Т.В. Кулевой, В.П. Ладыгин, П.А. Полозов, С.Г. Резников, Д.Н. Свирида, А.А. Терехин, А.Н. Хренов. Исследование прототипа сцинтилляционного детектора для модернизируемого поляриметра на станции внутренних мишеней Нуклотрона, Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2023. – № 5(250). – с.1299-1322.

4. Г.Н. Кропачев, Т.В. Кулевой, А.Л. Ситников, С.В. Виноградов, Е.Р. Хабибуллина, В.С. Скачков, О.С. Сергеева. Высокоэнергетическая часть ускорителя для компактного источника нейтронов DARIA: ускоряющая структура с трубками дрейфа, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2023. – № 7. – с.27-39.

5. К.А. Павлов, П.И. Коник, Н.А. Коваленко, Т.В. Кулевой, Д.А. Серебренников, В.В. Субботина, А.Е. Павлова, С.В. Григорьев. Компактные источники нейтронов для физики конденсированного состояния в России и мире: состояние дел и перспективы, Кристаллография, 2022. – № 1. – с.5-20.

6. Ю.Е. Титаренко, В.Ф. Батяев, В.Ю. Бландинский, В.М. Живун, М.А. Жигулина, А.А. Ковалишин, Т.В. Кулевой, Б.В. Кутеев, В.О. Легостаев, С.В. Малиновский, К.В. Павлов, В.И. Рогов, А.Ю. Титаренко, Р.С. Халиков, В.С. Столбунов, Н.А. Коваленко, А.Р. Мороз, С.В. Григорьев, К.А. Павлов. Определение потока нейтронов при облучении бериллиевой мишени протонами с энергией 21.3 МэВ, Ядерная физика, 2022. – № 6. – с.388-396.

7. S. Barabin, G. Kropachev, A. Lukashin, T. Kulevoy, S. Vybin, S. Golubev, I. Izotov, E. Kiseleva, V. Skalyga, S.V. Grigoriev, N. Kovalenko. Emittance measurements of a gasdynamic electron cyclotron resonant ion source, Technical Physics Letters, 2021. – № 47. – pp.485-489.