

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», д.т.н.

\_\_\_\_\_ Марков Д.В.

« 10 » \_\_06\_\_ 2022 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» на диссертацию Самойловой Марии Андреевны «Формирование гамма-изображений радиоактивных объектов с помощью сканера с антиколлиматором», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа М. А. Самойловой посвящена разработке и реализации метода построения гамма-изображений, основанного на применении техники сканирования с антиколлиматором. Принцип формирования гамма-изображений на основе техники сканирования с антиколлиматором разработан впервые. На основе этого принципа, впервые создан прототип гамма-сканера с антиколлиматором и проведено его тестирование в условиях реальной эксплуатации для обследования радиационно-загрязненного помещения. Разрабатываемое устройство, позволяющее локализовать источники гамма-излучения в заданной области, создано для обнаружения радиоактивных загрязнений и направлено на обеспечение безопасности персонала, выполняющего поисковые работы.

#### **Актуальность темы диссертации**

Визуализация источников гамма-излучения с каждым годом привлекает все больше внимания, поскольку влияние техногенных источников излучения неуклонно растет – сегодня это не только атомная энергетика, но также источники медицинского назначения, исследовательские ядерные реакторы и пр. Традиционно, для гамма-

визуализации применялась техника сканирования с применением коллиматора, известны исследовательские и коммерческие приборы, применяющие такую технику. К недостаткам коллиматора относят большое время измерения, связанное с небольшой апертурой коллиматора, а также большой вес установок и нелинейная зависимость массы защиты от чувствительности детектора, что обеспечивает трудности в эксплуатации. Автором диссертации реализовано устройство, применяющее технику сканирования с антиколлиматором, что позволяет уменьшить массу прибора и время измерения, что особенно важно при проведении оперативных работ по локализации источников ионизирующих излучений.

### **Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.**

Согласно постановления Правительства РФ № 2557 от 29.12.2021 г. О внесении изменений в Федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2030 года», планируется реализация широкого спектра задач, направленных на обеспечение радиационной безопасности населения. Реализация программы связана с выводом из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов, ликвидацией пунктов временного хранения РАО, реабилитацию загрязнённых территорий. Например, в период 2026 – 2075 гг. предполагается проведение постэксплуатационного мониторинга бассейна Б-25 АО «СХК»; на территории ВНИИНМ реализуют три проекта; планируется вывод из эксплуатации радиохимических производств (корпус № 8) АО «ВНИИХТ» (ФГУП "РАДОН") и т. д. Применение средств дистанционной диагностики при проведении таких работ позволит не только оперативно и точно локализовать наиболее загрязненные участки объектов, но и обеспечить безопасность персонала.

В настоящее время оформлено решение Госкорпорации «Росатом» об окончательном останове блока № 1 Курской АЭС с РУ РБМК. К 2030 году в соответствии с утвержденной дорожной картой будет остановлено для ВЭ 19 блоков АЭС, а к 2040 году количество остановленных блоков возрастет до 25. При выводе из эксплуатации промышленных объектов ядерной энергии важно использование эффективных и современных приборов для картирования загрязненных помещений с минимальной дозовой нагрузкой на персонал.

## **Научная новизна и практическая значимость**

Предложенный в диссертационной работе новый способ формирования гамма-изображений обеспечивает эффективное проведение работ по локализации радиоактивных загрязнений, поскольку позволяет значительно сокращать дозовую нагрузку на персонал, выполняющего работы по поиску радиоактивных загрязнений.

Созданный, в рамках данной работы, способ гамма-визуализации с антиколлиматором, разработан впервые. Он позволяет уменьшить массу устройства и сократить время измерения в сравнении с аналогичными приборами, применяющими технику сканирования с коллиматором, при этом сохраняется практически малая погрешность локализации источников гамма-излучения. Создание такого портативного сканирующего устройства для локализации источников гамма-излучения имеет высокую практическую ценность.

Результаты, представленные в диссертации Самойловой М. А., могут найти применение при создании новых приборов, предназначенных для поиска радиоактивных загрязнений. В частности, возможно создание небольшого веса автономного устройства (не более 8 кг) для гамма-визуализации с временем сканирования приблизительно в 2 раза меньше, чем прибора с коллиматором.

## **Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов**

Разработан и апробирован новый метод формирования гамма-изображений с применением сканирования с антиколлиматором, который позволяет визуализировать пространственное распределение источников гамма-излучения. Полученные в работе результаты могут быть применены при разработке новых устройств для гамма-визуализации и могут быть полезны научным группам и коллективам, работающим в области создания аппаратуры для радиационного контроля.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Гамма-сканер с антиколлиматором – удобный инструмент для получения информации о распределении радиоактивного загрязнения. Он может быть полезен организациям, входящим в группу предприятий Росатом, при проведении КИРО (комплексное инженерное и радиационное обследование) в рамках подготовки к выводу из эксплуатации и при выводе из эксплуатации ОИАЭ (объектов использования атомной энергии), а также при выполнении радиационных обследований химических комбинатов и лабораторий, при реабилитации объектов ядерного наследия и в аварийных ситуациях на службе МЧС.

Результаты диссертации могут быть использованы в организациях: ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», АО «ВНИИХТ» (ФГУП "РАДОН"), производственное объединение «Маяк» и др.

## **Достоверность и обоснованность**

Достоверность и обоснованность в процессе разработки системы визуализации обеспечивалось проведением контрольных экспериментов, применением стандартных программных средств для верификации используемых программ моделирования, использованием современных инструментов и методов измерений,

Основные результаты диссертации опубликованы в реферируемых журналах и докладывались автором на международных и российских конференциях.

## **Оценка содержания диссертации**

Диссертация изложена на 145 страницах, включает 99 рисунков и 9 таблиц, состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы, состоящего из 129 ссылок.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи, поставленные для её достижения, обсуждаются научная новизна и практическая значимость, методология и методы исследования, а также положения, выносимые на защиту. Описывается личный вклад автора, степень достоверности и апробация представленных результатов.

В главе 1 представлен обзор современных методов формирования гамма-изображений, а также рассмотрены примеры реализации описанных

методов для коммерческих систем гамма-визуализации. Такой материал полезен для понимания актуального состояния области построения систем гамма-визуализации, а также тенденций в разработке аналогичных устройств. Также, в главе обсуждаются известные эксперименты с применением блокирующих гамма-излучение объектов, подобных антиколлиматору.

В главе 2 изложен принцип формирования гамма-изображений на основе техники сканирования с антиколлиматором, приведено описание конструкции разработанного и реализованного прибора «гамма-сканер с антиколлиматором», результаты промежуточных экспериментов и предварительной оценки характеристик устройства, приведено описание метода обработки результатов измерений, получаемых разработанным устройством, а также рассмотрены алгоритмы, используемые для реконструкции информации о распределении гамма-источников.

В главе приведено подробное описание этапа моделирования отклика системы методом Монте-Карло для оптимизации геометрических параметров системы. Представлен раздел с описанием разработанного специально для сканера с антиколлиматором спектрометрического детектора, – подробно изложена информация о создании детектора и определении его измерительных характеристик. Также в главе приведено описание конструкции поворотного механизма и комплекса программного обеспечения, разработанного для управления измерениями сканера с антиколлиматором.

Глава 3 представляет собой подробное описание экспериментов, выполненных с применением разработанного устройства. Глава хорошо проиллюстрирована, к описанию экспериментов приводятся фотографии и схемы, наглядно продемонстрированы полученные результаты.

В заключении резюмируются основные результаты диссертационной работы.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и в целом завершена. Результаты диссертации имеют большую практическую ценность и могут быть использованы при создании новых приборов для гамма-визуализации.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно и правильно отражают содержание диссертации. Основные результаты диссертации

опубликованы в научной печати: в рецензируемых отечественных научных журналах и тезисах докладов на российских и международных конференциях. К изложению материала можно сделать следующие замечания:

1. Неоднократно в тексте диссертации встречаются физические величины без указания единиц измерения (например, рис.9, 12, 13, 14 и т.д. автореферата, рис. 28, 67, 69 и т.д. в диссертации).
2. В диссертации подробно описан пользовательский интерфейс программы управления, приводится координатная сетка сканирования и рассмотрены параметры сканирования, однако непонятно по какой траектории движется сканирующая головка.
3. При описании испытаний прибора не всегда достигнута полнота изложения. Так, например, не всегда указаны параметры измерения – время экспозиции, количество точек и шаг сканирования, активность источника и пр.
4. На страницах диссертации 60-66 обсуждается радиус антиколлиматора. «Для оптимизации было многократно выполнено моделирование сканирующей системы со свинцовым антиколлиматором в форме цилиндра или шара, с различными радиусами (от 1 до 3 см)». А на странице 67 вместо радиуса антиколлиматора указан диаметр 1,6 см. Очевидно, в этом случае, должен быть радиус 1,6 см.

Перечисленные замечания не влияют на качество исследования, а также на общую положительную оценку диссертационной работы.

## **Заключение**

Диссертация М. А. Самойловой «Формирование гамма-изображений радиоактивных объектов с помощью сканера с антиколлиматором» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является завершённой научно-квалификационной работой, которая посвящена разработке, созданию и тестированию гамма-сканера с антиколлиматором, имеющей существенное значение для экспериментального формирования гамма-изображений с визуализацией пространственного распределения источников гамма-излучения.

Диссертация рассмотрена на заседании Секции Научного совета № 1: «Физические процессы в высокотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле» Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных

исследований», протокол № 18 от «24» мая 2022 г. На заседании секции проведено коллективное обсуждение представленной диссертации, и члены секции единогласно одобрили отзыв.

Диссертационная работа соответствует требованиям, п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Самойлова Мария Андреевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил начальник лаборатории отделения физики токамаков-реакторов АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,  
доктор физико-математических наук,

\_\_\_\_\_ Родионов Николай Борисович

« 8 » \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 2022 г.

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12

Тел.: +7 (495) 841-55-80

e-mail: [nbrodnik@triniti.ru](mailto:nbrodnik@triniti.ru)

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Секции Научного совета №1

Отделения физики токамаков реакторов, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

протокол № 18 от « 24 » \_\_\_\_\_ мая 2022 г.

Председатель Секции Научного совета №1

доктор физико-математических наук,

\_\_\_\_\_ Мирнов Сергей Васильевич

Секретарь Секции

\_\_\_\_\_ Скопинцев Дмитрий Анатольевич

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ Ежов Александр Александрович

«10» \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 2022 г.

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12

Тел.: +7 (495) 841-53-09

e-mail: [liner@triniti.ru](mailto:liner@triniti.ru)

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование: Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»

Юридический адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12

Телефон: +7 (495) 841-53-09

Сокращенное наименование: АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

Электронная почта для отправки корреспонденции: [liner@triniti.ru](mailto:liner@triniti.ru)

Сайт: <https://www.triniti.ru>

Список основных публикаций сотрудников государственного научного центра Российской Федерации «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Фридрихсен Д.С., Чернев И.Ф., Обудовский С.Ю., Джурик А.С., Кашук Ю.А. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА ПАРАТЕРФЕНИЛА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМОЯДЕРНЫХ НЕЙТРОНОВ // Современные средства диагностики плазмы и их применение. Сборник тезисов докладов XII конференции. 2020. С. 45-46.
2. Chechetkin V.R., Lobzin V.V. DETECTION OF LARGE-SCALE NOISY MULTI-PERIODIC PATTERNS WITH DISCRETE DOUBLE FOURIER TRANSFORM. II. STUDY OF CORRELATIONS BETWEEN PATTERNS // Fluctuation and Noise Letters. 2021. Т. 20. № 1. С. 2150003.
3. Артемьев К.К., Родионов Н.Б., Амосов В.Н., Красильников В.А., Мещанинов С.А., Родионова В.П., Кедров И.В., Кузьмин Е.Г., Петров С.Я. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АЛМАЗНОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ АЛМАЗНОГО СПЕКТРОМЕТРА НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ИТЭР // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 3. С. 63-68.
4. Васильева С.В., Коновалова О.В., Панкин А.М., Тутнов И.А., Соболев А.В., Царев В.С. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 1 (33). С. 114-122.

5. Chechetkin V.R., Lobzin V.V. DETECTION OF LARGE-SCALE NOISY MULTI-PERIODIC PATTERNS WITH DISCRETE DOUBLE FOURIER TRANSFORM // Fluctuation and Noise Letters. 2020. Т. 19. № 2. С. 2050019.
6. Belousov Y.M., Elkin N.N., Man'ko V.I., Popov E.G., Revenko S.V. TOMOGRAPHIC REPRESENTATION OF ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS // Journal of Russian Laser Research. 2018. Т. 39. № 3. С. 302-313.
7. Барыков И.А., Грицук А.Н., Данько С.А., Зайцев В.И., Карташов А.В., Родионов Н.Б., Терентьев О.В. ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИКА В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЕТЕКТОРА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ // Приборы и техника эксперимента. 2018. № 3. С. 111-113.
8. Барыков И.А., Грицук А.Н., Данько С.А., Зайцев В.И., Карташов А.В., Мещанинов С.А., Родионов Н.Б., Терентьев О.В. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2018. Т. 41. № 1. С. 70-74.
9. Маклаков В.В., Христофоров О.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦЕННЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ // Приднепровский научный вестник. 2018. Т. 7. № 3. С. 47-55.
10. Radishev D.B., Vikharev A.L., Gorbachev A.M., Muchnikov A.B., Yunin P.A., Amosov V.N., Rodionov N.B. STUDY OF GROWN SINGLE CRYSTAL DIAMOND BY OPTICAL AND X-RAY SPECTROSCOPY // EPJ Web of Conferences. 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications". 2017. С. 02029.