

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.04, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14 декабря 2020 г. № 33

О присуждении Филиппову Дмитрию Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Система детектирования рентгеновского излучения на основе кремниевых фотоумножителей» по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 12 октября 2020 года (протокол заседания № 32) диссертационным советом Д002.023.04, созданным 9 ноября 2012 года приказом №717/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 1991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53 (ФИАН).

Соискатель Филиппов Дмитрий Евгеньевич, 1992 года рождения, в 2014 году окончил специалитет Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) с квалификацией физик по специальности «Медицинская физика». В 2018 году окончил очную аспирантуру НИЯУ МИФИ по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана отделом аспирантуры НИЯУ МИФИ 28 марта 2019 года. С 2014 года и по настоящее время соискатель работает на должности инженера в лаборатории кремниевых фотоумножителей НИЯУ МИФИ.

Диссертация «Система детектирования рентгеновского излучения на основе кремниевых фотоумножителей» выполнена в лаборатории кремниевых фотоумножителей НИЯУ МИФИ.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент НИЯУ МИФИ, и.о. руководителя межкафедральной лаборатории «Кремниевые Фотоумножители» Попова Елена Викторовна.

Научный консультант – кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный старший научный сотрудник лаборатории терагерцовой спектроскопии твердого тела Физического института им. П.Н. Лебедева РАН Виноградов Сергей Леонидович.

Официальные оппоненты:

Лубсандоржиев Баярто Константинович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела экспериментальной физики лаборатории гамма астрономии и реакторных нейтрино, ФГБУН Института ядерных исследований РАН (адрес: 117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, дом 7а, тел.: +7-499-135-40-63, e-mail: lubsand@rambler.ru);

Поросев Вячеслав Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, сектор 3-13, ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, дом 11, тел.: +7-383-329-40-21, e-mail: porosev@gmail.com);

дали положительные отзывы на диссертацию и указали, что соискатель Филиппов Д.Е. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Ведущая организация - Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «Доза» (адрес: 124498, город Москва, город Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, тел.: +7-495-777-84-85, e-mail: info@doza.ru) в своём положительном заключении, составленным Каракашем Александром Ивановичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником отдела инициативных разработок и утверждённым Мартынюком Юрием Николаевичем, кандидатом физико-

математических наук, главным конструктором ООО «НПП Доза», отметила что «впервые исследования, проведенные в ходе работы, демонстрируют, что при переходе к новому типу детектирующей системы, работающей в счётном режиме с амплитудным анализом импульсов, в установках персонального досмотра человека возможно ослабить эффективную дозу за одно сканирование в 6 раз с сохранением качества изображения», а также заключила, что «диссертационная работа является полноценным научным исследованием и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 (ред. 01.10.2018), а её автор Филиппов Дмитрий Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Соискатель является автором 4 печатных работ, в том числе 4 по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях (4 – перечень ВАК, Scopus и Web Of Science):

1. E.V. Popova, V.N. Belyaev, V.V. Berdnikov, P.Z. Buzhan, A.L. Ilyin, E.O. Lazarenko, D.E. Philippov, A.A. Skryabin, A.A. Stifutkin, SiPM MEPHI megagrant developments in nuclear medicine // Physics Procedia, Vol. 74, pp. 36-43, 2015.
2. D.E. Philippov, V.N. Belyaev, P.Z. Buzhan, A.L. Ilyin, E.V. Popova, A.A. Stifutkin, Development of event reconstruction algorithm for full-body gamma-camera based on SiPMs // J. Phys. Conf. Ser., Vol. 675, 042045, 2016.
3. D.E. Philippov, E.V. Popova, V.N. Belyaev, P.Z. Buzhan, A.A. Stifutkin, S.L. Vinogradov, Digital Signal Processing for SiPM Timing Resolution // J. Phys. Conf. Ser., Vol. 798, Is. 1, 012220, 2017 (Scopus и WoS).
4. D.E. Philippov, E.V. Popova, S.L. Vinogradov, A.A. Stifutkin, A.D. Pleshko, S.N. Klemin, A.L. Ilyin, V.N. Belyaev, D.Z. Besson, M.L. Vandychev, Development of SiPM-based X-ray counting scanner for human inspection // IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 65, Is. 8, pp. 2013-2020, 8263160, 2018.

Вклад соискателя в опубликованные работы определяющий. Результаты, содержащиеся в диссертации, доложены соискателем на 6

международных научных конференциях: 4th International Conference on PET/MR and SPECT/MR (о. Эльба, Италия, 2015); 4th International Conference on New Photo-Detectors (Москва, 2015); International Conference on Particle Physics and Astrophysics (Москва, 2015); 2nd International Conference on Particle Physics and Astrophysics (Москва, 2016); IEEE NSS/MIC – 2016 (Страсбург, Франция, 2016); 14th Int. Conference on Scintillating Materials and their Applications (Шамони, Франция, 2017); а также в рамках следующих научных мероприятий: 3rd International Summer School on Intelligent Signal Processing for Frontier Research and Industry (Гамбург, Германия, 2015); Scintillating Materials and their Applications Summer School 2017 (Шамони, Франция, 2017).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, наличием признанных достижений в области приборов и методов экспериментальной физики, кремниевых фотоумножителей, разработки систем для регистрации рентгеновского излучения, дозиметрических систем, а также участием в крупных российских и международных проектах.

На диссертацию и автореферат дополнительные отзывы не поступали.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных искателем исследований:

Впервые разработан и экспериментально исследован прототип 15-канального детектирующего модуля «Xcounter» для проекционной сканирующей рентгеновской системы персонального досмотра человека с ультранизкой (предельной) дозовой нагрузкой на основе сцинтилляционных детекторов GAGG+SiPM. Прототип обеспечивает регистрацию отдельных рентгеновских квантов в диапазоне энергий от 20 до 140 кэВ с энергетическим разрешением 34% ($E_\gamma = 59.6$ кэВ) в линейном режиме до $4 \cdot 10^5$ с⁻¹. Кроме того, прототип одновременно может работать в режиме интегрирования тока для расширения динамического диапазона детектирования до уровня $3 \cdot 10^6$ с⁻¹;

Разработана аналоговая фронт-энд электроника, которая обеспечивает стабильный режим работы SiPM в условиях протекания высоких токов (до 10 мА), подавление электрических наводок между расположенными рядом

каналами на линейке SiPM, а также фильтрацию сигналов, позволяющую сформировать импульсы от сцинтилляционных вспышек и исключить влияние шумовых импульсов SiPM на счёт событий;

Разработан метод калибровки энергетической шкалы с помощью радиоактивного источника ^{241}Am , рентгеновской трубки и стальной пластины толщиной 10.5 мм, который позволил выставить пороги амплитудной дискриминации на одинаковый уровень, равный 20 кэВ, для обеспечения равномерной скорости счёта событий по всем 15 каналам модуля. При этом разброс скорости счёта по всем каналам при любой интенсивности входной загрузки в линейном режиме не превышает 2%;

Впервые разработан метод поиска импульсов, получаемых при детектировании рентгеновских квантов, на непрерывной выборке оцифрованного входного сигнала, длительность которой соответствует времени сканирования. Метод также позволяет определять энергию каждого кванта по амплитуде импульса с использованием калибровочных данных. На основе разработанного метода создано программное обеспечение, позволяющее проводить обработку данных сканирования и визуализировать результат сканирования в виде восстановленного изображения исследуемого объекта;

Впервые разработана и использована методика анализа качества изображений, полученных при проекционном рентгеновском сканировании стандартных фантомов для УПДЧ, основанная на вычислении параметра «контраст-шум»;

Впервые при использовании детектирующего модуля «Xcounter» на основе GAGG+SiPM экспериментально продемонстрирована возможность понижения дозы за одно сканирование в 6 раз относительно нормы, установленной СанПиН, при этом проникающая способность по стали составляет 22 мм, что соответствует современному стандарту УПЧД ГОСТ Р. Кроме того, показано, что чувствительность разработанного модуля находится на предельном уровне, ограниченном статистическими флуктуациями потока рентгеновских гамма-квантов.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный прототип детектирующего модуля «Xcounter» на основе SiPM и GAGG предоставляет возможность создания новой системы регистрации рентгеновского излучения для различных применений: персонального досмотра человека, медицинской диагностики, дефектоскопии и материаловедения. Полученные в работе экспериментальные результаты показывают возможность создания УПДЧ, обладающей в 6 раз более низкой дозой нагрузки за одно сканирование, чем норма, предусмотренная СанПиН, при сохранении проникающей способности по стали, определенной в ГОСТ, что позволяет оперативно организовывать досмотр в местах, где стационарные установки отсутствуют или их установка непрактична и/или нецелесообразна.

Достоверность результатов исследований подтверждается сравнением изображений стандартных фантомов, полученных с использованием разработанного детекторного модуля и известным, коммерчески доступным аналогом – УПДЧ «Хомоскан» производства ООО «СКБ Медрентех», а также сравнением результатов измерений настоящей работы с сопоставимыми данными других авторов.

Личный вклад соискателя в получении результатов, представленных в диссертации:

- Разработан 15-канальный детекторный модуль «Xcounter», состоящий из сцинтилляционных кристаллов GAGG, оптически состыкованных с линейкой SiPM, аналоговой фронт-энд электроники и системы оцифровки данных;
- Разработан метод калибровки энергетической шкалы с помощью специально сформированного излучения рентгеновской трубки для получения равномерной скорости счёта по всем 15 каналам прототипа;
- Разработан цифровой метод обработки данных, полученных при просвечивании исследуемого объекта рентгеновским излучением в течение сканирования. Создано программное обеспечение для работы с прототипом и визуализации результатов сканирования;

- Разработана методика численного анализа качества изображений, полученных при проекционном рентгеновском сканировании стандартных фантомов на основе параметра «контраст-шум»;
- Проведено сравнение разработанного модуля с коммерчески доступным аналогом на основе разработанной методики численного анализа качества изображений.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 14 декабря 2020 года диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация Филиппова Дмитрия Евгеньевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п.9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года. На заседании 14 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Филиппову Дмитрию Евгеньевичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

При проведении открытого голосования диссертационного совета в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 21, «против» - 0, воздержавшихся – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,

д.ф.-м.н.

Полухина Наталья Геннадьевна

Учёный секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н.

Баранов Сергей Павлович