

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор, к.ф.-м.н.

 Мартынюк Ю.Н.



« 19 » октября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ООО «НПП Доза» на диссертацию Филиппова Дмитрия Евгеньевича «Система детектирования рентгеновского излучения на основе кремниевых фотоумножителей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Филиппова Д.Е. посвящена разработке системы детектирования рентгеновского излучения на основе кремниевых фотоумножителей для установок персонального досмотра человека.

Актуальность

Системы персонального досмотра человека являются необходимым инструментом в обеспечении безопасности в местах массового скопления людей и на режимных объектах. Актуальность использования установок персонального досмотра человека в настоящее время продиктована возросшими требованиями по обеспечению мер противодействия террористической угрозе человечеству.

Получение информации о сканируемом объекте с помощью таких систем может проводиться как в терагерцовом, так и в рентгеновском диапазонах.

Однако, основным недостатком терагерцовых сканеров является малая глубина проникновения излучения данного диапазона, то есть, возможность получения ограниченной информации лишь о поверхностной области сканируемого объекта.

Такой же недостаток связан с использованием низкодозовых рентгеновских систем персонального контроля, регистрирующих обратное рассеяние рентгеновских гамма-квантов. Только использование систем проекционного сканирования обеспечивает прохождение рентгеновского излучения сквозь исследуемый объект, что обеспечивает получение информации о возможных скрытых внутри него предметах. Однако, рентгеновские проекционные установки персонального досмотра человека (УПДЧ) обладают на порядок

более высокими дозовыми нагрузками за одно сканирование, что является существенным недостатком при массовом использовании таких систем.

Таким образом, для обеспечения максимально возможного уровня получаемой в ходе персонального контроля объекта информации, необходимо использование проекционных рентгеновских сканеров, обеспечивающих снижение дозовой нагрузки ниже уровня 0.3 мкЗв, установленного СанПиН 2.6.1.3106-13.

Научная новизна

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.

Впервые было показано, что при использовании в качестве детектирующих элементов быстрых сцинтилляторов и кремниевых фотоумножителей, чувствительность разработанного модуля находится на предельном уровне, ограниченном статистическими флуктуациями потока рентгеновских гамма-квантов.

Предложенная автором методика анализа качества изображения с помощью численной оценки отношения контраст-шум на стандартных фантомах позволяет проводить количественное сравнение качества визуализации сканирующих рентгеновских систем персонального досмотра.

Достоверность результатов

Достоверность полученных экспериментальных результатов подтверждается данными аналогичных исследований других авторов, а также совпадением с результатами моделирования по методу Монте-Карло.

Результаты диссертационной работы неоднократно докладывались на международных конференциях, а также были опубликованы в 4 рецензированных печатных работах.

Практическая ценность

Анализ экспериментальных данных, полученных на разработанном прототипе модуля, показывает возможность ослабления дозовой нагрузки в 6 раз относительно уровня, установленного СанПиН 2.6.1.3106-13.

Уже при ослаблении дозовой нагрузки ниже уровня СанПиН в 3 раза, проекционная УПДЧ по своей радиационной безопасности становится на одном уровне с системами, работающими на принципе регистрации обратного рассеяния, визуализация которых значительно ограничена поверхностным слоем исследуемого объекта.

Такое понижение дозы позволит использовать проекционную УПДЧ в местах, требующих обеспечения массового персонального рутинного контроля.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы из 127 наименований. Содержит 134 страницы текста, 72 рисунка и 13 таблиц.

Во введении обосновываются актуальность и цели исследования, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, достоверность результатов и апробация работы, а также список докладов, представленных на научных конференциях.

В первой главе обсуждаются проекционные рентгеновские УПДЧ, принцип их работы и предъявляемые к ним требования в соответствии с нормами СанПиН и ГОСТ. Автором сделан обзор различных актуальных подходов по реализации детектирующих систем для УПДЧ, и, в частности, на основе использования сцинтилляционных детекторов. Автор рассматривает особенности работы кремниевых фотоумножителей (SiPM) и обосновывает перспективность его применения совместно с быстрыми неорганическими сцинтилляторами в режиме счета и амплитудного анализа импульсов для рентгеновских проекционных УПДЧ.

Во второй главе автором рассматривается подход по оценке квантовой эффективности детектирования (DQE) рентгеносканирующей УПДЧ на основе сцинтилляционного детектора в зависимости от величины эффективной дозы за одно сканирование. Использование аналитической модели шум-факторов для описания случайных каскадных процессов позволило связать параметры детектирующего элемента SiPM+сцинтиллятор и значение контрастного разрешения системы и ее DQE для интегрально-токового и счётного режимов работы детектора в зависимости от плотности потока гамма-квантов. Используя справочные коэффициенты для вычисления эффективной дозы через плотность потока гамма-квантов заданной энергии, автор связывает влияние энергетического спектра рентгеновских гамма-квантов с DQE системы и получаемой дозовой нагрузкой.

В третьей главе представлены результаты проведенного Монте-Карло моделирования прототипа детектирующей системы на основе сцинтилляционного кристалла гадолиний-алюминий-галлиевого граната GAGG и SiPM с помощью открытого пакета библиотек Geant4. Для количественного анализа и сравнения различных систем по качеству получаемых изображений, автором проведено вычисление отношения контраст-шум (CNR) для тестовых структур, указанных в требованиях ГОСТ Р 55249—2012. На основании полученных результатов делается вывод о возможности понижения дозовой нагрузки при условии

использования в УПДЧ предложенной детекторной системы на основе счета и амплитудного анализа импульсов.

В четвёртой главе представлен разработанный экспериментальный прототип детектирующего модуля «Xcounter» на основе кристаллов GAGG и SiPM. Автор подробно описывает каждый элемент прототипа – сцинтиллятор, фотодетектор, аналоговую фронт-энд электронику и аналогово-цифровую систему набора данных. Также рассматривается разработанный автором алгоритм цифровой фильтрации формы импульсов и восстановления изображения сканирования по данным, полученным с помощью прототипа.

В пятой главе приведены результаты калибровки прототипа «Xcounter». Выравнивание откликов каналов по амплитуде сигнала и по счётной характеристике является необходимым условием для корректной работы прототипа в счётном режиме. Зависимость амплитуды сигнала от энергии гамма-кванта была получена двумя способами: с помощью лабораторного гамма-источника ^{241}Am (по линии $E=59.5$ кэВ) и сформированного с помощью стального фильтра толщиной 10.5 мм рентгеновского спектра с наиболее вероятной энергией 104 кэВ. Измерение счётной характеристики было проведено с помощью изменения интенсивности рентгеновской трубки.

В шестой главе на основе проведенного сканирования тестовой структуры-фантома и вычисления CNR автор сравнивает качество визуализации стандартной УПДЧ «Хомоскан» на основе сцинтилляторов CsI(Tl) и фотодиодов, работающих в режиме интегрирования тока, и разработанного прототипа детекторного модуля «Xcounter». Анализ экспериментальных данных показывает, что с использованием сцинтилляционного детектора на основе SiPM, работающего в счётном режиме, возможно уменьшить дозовую нагрузку примерно в 6 раз за одно сканирование по сравнению с интегрально-токовой детекторной системой. Этот результат согласуется с полученными в ходе расчётов на базе аналитического подхода и с помощью моделирования по методу Монте-Карло результатами данной диссертационной работы.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Замечания.

1. Выбор рабочей точки кремниевых фотоумножителей по напряжению смещения для разработанного прототипа по критерию достижения наилучшего энергетического разрешения при регистрации гамма-квантов выглядит недостаточно обоснованным, поскольку не показано влияние величины энергетического разрешения на параметры системы.

2. Вызывает сожаление, что не было проведено более детальное изучение происхождения рассеянного излучения в области низких энергий регистрируемого рентгеновского спектра, понижающего контрастность изображения при сканировании объектов высокой плотности.

3. В диссертационной работе часто встречаются повторы материала, изложенного различными словами, но с недостаточным выделением ключевой информации и использование специфических жаргонизмов, затрудняющих восприятие текста читателем.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на суть и общую оценку работы. Диссертация Филиппова Д.Е. является полноценным научным исследованием, которое не только развивает перспективное направление использования кремниевых фотоумножителей в установках персонального досмотра человека, но и предлагает ряд теоретических подходов для предварительной оценки возможности работы системы такого типа в зависимости от предъявляемых к ней требований.

Диссертационная работа полностью 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 за разработку системы детектирования рентгеновского излучения на основе кремниевых фотоумножителей.

Содержание диссертационной работы было заслушано и обсуждено на научно-техническом семинаре отдела инициативных разработок ООО «НПП Доза» 13 мая 2020 года.

Отзыв составил:

В.н.с ОИР к.ф.-м.н.  /Каракаш Александр Иванович/

Подпись сотрудника ООО «НПП Доза» Каракаша А.И. заверяю,

Секретарь ООО «НПП Доза»  /Улыбина Екатерина Алексеевна/

ООО «НПП Доза», 124498, город Москва, город Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, этаж 2, комната 49,
E-mail: info@doza.ru; web-сайт: <http://www.doza.ru/>; тел.: +7 (495) 777-84-85.