

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Ульяновского филиала
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института радиотехники и
электроники им. В.А. Котельникова Российской
академии наук, д-р. техн. наук, профессор



В.А. Сергеев

«10»

09

2021г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Алексева Александра Сергеевича «Разработка и исследование первичных оптико-волоконных преобразователей для автоматизированной системы радиационного контроля и управления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Актуальность темы

Повышение требований к безопасности радиационных объектов, включая безопасность работы персонала и сохранность окружающей среды, обуславливает необходимость разработки и совершенствования датчиков и систем мониторинга и управления радиационными параметрами на предприятиях, использующих источники радиации различных видов. Существующие датчики радиационных параметров на основе ионизационных камер, счетчиков Гейгера и других устройств с проводными линиями связи имеют низкую помехозащищенность, ограниченную дальность, значительные весогабаритные параметры. Для преодоления указанных недостатков существующих датчиков перспективным представляется разработка оптико-волоконных радиационно-чувствительных преобразователей (датчиков) и систем радиационного контроля и управления на их основе. При этом востребованы как точечные, так и распределенные одно- и многоканальные оптико-волоконные системы радиационного контроля и управления для одновременного детектирования различных видов ионизирующего излучения. Основные преимущества таких систем: достаточно высокая чувствительность, электромагнитная помехозащищенность, надежность и относительно низкая стоимость внедрения и эксплуатации.

Таким образом, тема диссертационной работы Алексева А.С. посвященная разработке и исследованию новых оптико-волоконных преобразователей радиационного излучения с улучшенными эксплуатационными характеристиками и расширенными функциональными возможностями для применения в многоканальных автоматизированных системах радиационного контроля и управления является актуальной.

Содержание работы

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, список литературы из 225 наименований и 1 приложение. Общий объем диссертации - 159 страниц, из них 133 страницы текста, включая 51 рисунок.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, представлены выносимые на защиту научные положения, показана научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации рассмотрены используемые в настоящее время первичные преобразователи, устройства и системы радиационного контроля и управления, их основные характеристики и параметры, а также типовые схемы организации систем на их основе, определены цели и задачи исследования. Показано, что для решения задач, связанных с определением мощности дозы радиационного излучения, активности и положения источников радиационного излучения различных видов требуются разработка, моделирование и исследование новых первичных преобразователей на основе специальных оптических волокон и систем радиационного контроля и управления на их основе.

Во второй главе представлена конструкция нового первичного волоконного преобразователя для регистрации активности источников бета-излучения и предложена его численная модель с использованием метода Монте-Карло, учитывающая упругие и ионизационные столкновения, тормозное излучение в волокне. Представлены структурная схема программного обеспечения (ПО) и блок-схема его алгоритма работы для реализации модели. Показано, что результаты расчетов по предложенной численной модели преобразователя согласуются с экспериментальными данными. Рассмотрена схема включения предложенного преобразователя в состав системы автоматизированного радиационного контроля и управления. Показано, что экспериментальный образец оптико-волоконного преобразователя в составе системы автоматизированного радиационного контроля и управления устойчиво чувствителен к источникам на основе ^{63}Ni с активностью порядка 20 мКи и выше, а также к источникам на основе ^{89}Sr и ^{90}Sr с активностью порядка 1 мКи, при этом зависимости скорости счета генерируемых фотонов от активности источников на основе ^{63}Ni , ^{89}Sr и ^{90}Sr имеют линейный вид.

В третьей главе представлены результаты разработки, моделирования и экспериментальных исследований нового первичного волоконного преобразователя для определения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения с использованием органического сцинтиллятора и спектросмещающего волокна. Разработана численная модель взаимодействия преобразователя с гамма-излучением и описан программный алгоритм для ее реализации. С помощью численной модели выполнена оптимизация конструкции преобразователя, которая была реализована в экспериментальном образце. На основе численной модели определен вид калибровочной функции преобразователя, использованной в ПО системы автоматизированного радиационного контроля и управления для перевода результатов измерения предложенным преобразователем в единицы мощности дозы радиационного излучения. Экспериментальные исследования образца преобразователя для измерения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения показали соответствие расчетных и экспериментальных данных, при этом установлена высокая чувствительность датчика к рентгеновскому и гамма-излучениям для энергий до 1,5 МэВ. Для предложенного преобразователя теоретически и экспери-

ментально получена линейная зависимость числа генерируемых фотонов от мощности дозы гамма- и рентгеновских излучений в диапазоне 1–17 мГр/с.

В четвертой главе описана конструкция нового первичного волоконного преобразователя для определения положения точечного источника бета-излучения на основе эффекта ослабления оптического сигнала в волокне. Разработана математическая модель преобразователя, позволяющая интерпретировать результаты подсчета числа оптических фотонов, генерируемых в спектросмещающем волокне в единицу времени, в значения координаты радиационного источника, что хорошо подтверждается видом экспериментальной калибровочной функции такого преобразователя. Исследования экспериментального образца предложенного преобразователя в составе системы показали возможность нахождения координаты точечного радиационного источника бета-излучения при длине сенсорного элемента до 5 м.

В пятой главе предложена новая многоканальная система радиационного контроля и управления с использованием разработанных первичных волоконных преобразователей, которая позволяет проводить детектирование мощности дозы излучения, активности и положения радиационных источников различных видов. Представлена структурная схема программного комплекса и схема его аппаратного обеспечения. Описан программный алгоритм функционирования системы, осуществляющий сбор, обработку, верификацию и визуализацию измерительной информации, предусматривающий возможность расширения функционала в случае подключения дополнительных оптико-волоконных преобразователей. Экспериментальные образцы системы автоматизированного радиационного контроля и управления реализованы в стационарной стоечной и портативной версиях.

Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые предложены оптико-волоконный преобразователь для измерения активности радиационных источников бета-излучения с чувствительным элементом на основе сцинтилляционного волокна и численная модель взаимодействия сцинтилляционного волокна с бета-излучением, учитывающая параметры радиационного источника, конструкции волоконного преобразователя и их взаимного расположения, с помощью которой получена функция преобразования, имеющая линейный вид.

2. Предложены новый оптико-волоконный преобразователь для определения мощности дозы гамма-излучения с чувствительным элементом на основе комбинации пластикового сцинтиллятора и спектросмещающего волокна и численная модель взаимодействия чувствительного элемента с гамма-излучением с учетом параметров источника излучения, конструкции волоконного преобразователя и их взаимного расположения, позволяющая рассчитать параметры чувствительного элемента, при которых крутизна функции чувствительности преобразователя максимальна.

3. Предложен новый оптико-волоконный преобразователь для определения положения точечного источника бета-излучения с чувствительным элементом, содержащим сцинтилляционное волокно, позволяющий переводить результаты измерения

мощностей оптических сигналов на выходах преобразователя в значения координаты положения радиационного источника с помощью специально разработанной математической модели, основанной на ранее не применявшемся эффекте ослабления оптического сигнала в волокне.

4. Предложена новая многоканальная оптико-волоконная система радиационного контроля и управления, позволяющая комплексировать измерительную информацию с удаленных оптико-волоконных преобразователей радиационного излучения различных видов и определять функциональное назначение преобразователей программно с использованием соответствующих численных и математических моделей.

Достоверность результатов работы подтверждается путем грамотного математического и численного моделирования конструкций предложенных волоконных преобразователей, соответствием данных экспериментальных исследований образцов предложенных волоконных преобразователей результатам моделирования, практической реализацией многоканальной оптико-волоконной системы радиационного контроля и управления.

Ценность результатов диссертационной работы для науки и практики

Научную ценность представляют новые математические и численные модели взаимодействия радиационного излучения различных видов с активным оптическим волокном, позволяющие рассчитывать число генерируемых на выходе волокна фотонов и определять оптимальные конструкционные параметры оптико-волоконных преобразователей.

Практическое значение результатов работы заключается в разработке конструкций новых оптико-волоконных преобразователей мощности дозы радиационного излучения, активности и положения радиационных источников, которые могут быть применены в составе многоканальной системы радиационного контроля и управления с оптическим интерфейсом для подключения волоконных сенсорных элементов различных типов, позволяющая дистанционно проводить измерения параметров радиационной обстановки на объектах атомной отрасли.

Практическую значимость имеют также:

- встроенное ПО для микроконтроллера в составе измерительного блока, реализующего подсчет электрических импульсов, поступающих со счетчика фотонов;
- кроссплатформенное ПО для персонального компьютера и ПО для одноплатного микрокомпьютера, обеспечивающие сбор измерительной информации, нахождение калибровочной функции сенсорного элемента в соответствии с расчетной моделью и экспериментальными данными, отображение результатов измерений в заданных единицах;
- ПО для реализации численной модели первичного волоконного преобразователя для измерения активности источников бета-излучения в составе системы радиационного мониторинга;
- ПО для реализации численной модели первичного волоконного преобразователя для измерения мощности дозы гамма-излучения в составе системы радиационного контроля и управления.

Подтверждение опубликования результатов диссертации в научной печати; соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертация и автореферат написаны грамотным техническим языком, все положения аргументированы. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 статьях в профильных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, защищены 1 патентом на изобретение и 4 патентами на полезные модели. Всего по теме диссертации опубликовано 27 работ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы использованы в НИТИ им. С.П. Капицы Ульяновского государственного университета (УлГУ) при выполнении НИР «Разработка оптоволоконных систем мониторинга состояния сухих хранилищ отработанного ядерного топлива», что подтверждается актом внедрения.

Результаты работы могут найти применение в АО «ГНЦ «НИИАР», АО «Институт реакторных материалов», Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова», АО ГНЦ РФ «ТРИНИТИ». Дальнейшее исследование по тематике диссертации считаем целесообразным продолжить в НИТИ им. С.П. Капицы УлГУ.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по диссертации

Диссертационная работа в целом заслуживает высокой оценки, выполнена самостоятельно соискателем и содержит значимые теоретические и практические результаты, однако, по работе имеется ряд замечаний:

1. В тексте диссертации приведены не все параметры материалов и оптического волокна, использованные при моделировании, в частности, не указаны диаметры покрытия, оболочки и сердцевины волокна, оптические и радиационные характеристики каждого из них.

2. Не приводится оценка быстродействия предложенной оптико-волоконной системы радиационного контроля и управления при считывании измерительной информации с нескольких преобразователей, в том числе различных типов.

3. Представленные в диссертационной работе результаты моделирования (рисунки 2.8 и 3.8) иллюстрируют зависимость чувствительности датчиков от вариантов их конструкции, но не подтверждают, что предложенные конструкции датчиков оптимизированы по максимуму чувствительности, как сформулировано в положениях 1 и 2, выносимых на защиту.

4. В главе 2 в описании методики проведения экспериментов по определению чувствительности разработанного датчика активности бета излучения не приводится погрешность измерительного оборудования, с помощью которого определялась активность источников излучения.

5. В диссертационной работе отсутствуют количественные оценки преимуществ предложенных преобразователей по сравнению с существующими аналогами.

6. В диссертации имеются грамматические ошибки и технические неточности:

- в формуле 2.17 содержится ошибка, т.к. при равных диаметрах волокон, либо при равных числовых апертурах волокон число фотонов на фотоприемнике получается равным нулю;

- отсутствует один из рисунков 1.2 или 1.3;

- на рисунках 3.9 и 3.10 подписи необходимо поменять местами.

Указанные недостатки не затрагивают основных научных результатов работы и положений, выносимых на защиту, и не снижают научного уровня работы.

Заключение

Диссертационная работа А.С. Алексеева является завершенной научно-квалификационной работой, по объему и научному уровню полученных результатов отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 28.08.2017 N 1024) и содержит новое решение важной научно-технической задачи улучшения эксплуатационных и функциональных характеристик опико-волоконных преобразователей параметров радиационного излучения для применения в автоматизированных системах радиационного контроля и управления, а ее автор Алексеев Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции Ученого совета УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 03 сентября 2021 года, протокол № 8.

Отзыв подготовил:

Ведущий научный сотрудник,
доктор физ.-мат. наук, доцент



О.В. Иванов

Ученый секретарь, канд. техн. наук, доцент



А.А. Черторийский

Ульяновский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (УФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН);

432071, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 48/2;

тел. (8422) 44-29-96, e-mail ufire@mv.ru, web-сайт <https://ulireran.ru/>