

К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА САХАБУТДИНОВА АЙРАТА ЖАВДАТОВИЧА



11 сентября 2023 года исполняется 50 лет со дня рождения профессора кафедры радиوفотоники и микроволновых технологий Сахабутдинова Айрата Жавдатовича. Сахабутдинов А.Ж. в 1995 году получил высшее образование в Казанском государственном университете им. В.И.Ульянова-Ленина, на факультете механики и математики, по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы». С 1995 по 1998 год обучался в аспирантуре Института механики и машиностроения КазНЦ РАН. В 1999 году Сахабутдинову А.Ж. присвоена степень кандидата физико-математических наук по результатам защиты диссертации на тему «Численное трехмерное моделирование динамики газового пузырька», выполненную под руководством Ильгамова М.А., д.т.н., профессора, член-корреспондента РАН, академика Академии наук Республики Башкортостан. С 2001 по 2002 год Сахабутдинов А.Ж. работал в ОАО «Таиф-Телком» начальником отдела информационно-справочной службы, затем техническим директором ООО «ПроТелеком».

В 2018 году Сахабутдинов А.Ж. защитил докторскую диссертацию на тему «Радиотонные сенсорные системы на адресных волоконных брэгговских структурах и их применение для решения практических задач» по специальности «05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» с присвоением ученой степени доктора технических наук, имеет ученое звание доцента. Работа была выполнена в рамках научной школы «Квантовая электроника, фотоника и динамика сложных систем» при консультациях ее руководителя д.т.н., профессора, Почетного работника РФ в сфере образования, Заслуженного работника высшей школы РТ Морозова О.Г.

В результате исследований, проведенных в диссертации, предложен и разработан новый класс сенсорных систем – «Радиотонные сенсорные системы на адресных волоконных брэгговских структурах», что является главным результатом работы. Показано, что применение указанных систем позволяет решить важную научно-техническую проблему – улучшение метрологических и технико-экономических характеристик, а также расширение функциональных возможностей существующих радиотонных сенсорных систем, что подтверждено следующими основными результатами.

1. Проведен анализ существующих и перспективных радиотонных сенсорных систем на волоконных брэгговских структурах; выявлены причины, сдерживающие их широкое использование, особенно в многосенсорных приложениях, и определены резервы для улучшения их метрологических и технико-экономических характеристик, а также расширения функциональных возможностей; предложены концепция адресных волоконных брэгговских структур и радиотонных сенсорных систем на их основе; разработан иерархический классификатор задач проектирования, производства и эксплуатации радиотонных сенсорных систем на адресных волоконных брэгговских структурах; сформулированы цель, основная научная задача и направления научных исследований для их достижения.

2. Разработана концепция адресных волоконных брэгговских структур, заключающаяся в формировании в их оптическом спектральном отклике двух сверхузкополосных составляющих, разнесенных на уникальную разностную частоту,

лежащую в радиочастотном диапазоне длин волн, являющуюся адресом конкретной структуры; при фотодетекторной обработке оптического излучения, прошедшего через или отраженного от структуры относительно спектральной характеристики фиксированного оптического фильтра линейно-наклонного типа, выделяется радиочастотная огибающая биений, частота которой равна разностной и является адресом структуры, а ее амплитудные характеристики позволяют определить положение оптической центральной длины волны структуры в радиочастотном диапазоне. Концепция построена на основе использования преимуществ как оптико-электронных волоконно-оптических, так и полигармонических радиофотонных сенсорных систем.

Выбрано два теоретических подхода к формированию адресных волоконных брэгговских структур с инвариантным расстоянием между ее элементами при наложении на нее измеряемых полей. Первым подходом является использование волоконных брэгговских решеток с двумя симметричными фазовыми π -сдвигами (2π -ВБР структура), а вторым – использование двух идентичных разнесенных по длине волны сверхузкополосных волоконных брэгговских решеток (2λ -ВБР структура). Осуществлена постановка и формализация основных задач управления параметрами адресной волоконной брэгговской структуры для решения различных задач сенсорных систем и определены правила их записи с использованием непрерывного аргонового лазера, фазовой маски и интерферометров Ллойда и Тальбота. Дано теоретическое обоснование метрологических, технико-экономических и функциональных преимуществ использования адресных волоконных брэгговских структур в радиофотонных сенсорных системах.

3. Разработаны основы теории и принципы построения нового класса радиофотонных сенсорных систем на адресных волоконных брэгговских структурах при решении задач одно- и малосенсорных приложений. Предложен алгоритм определения сдвига брэгговской длины волны каждой из структур на выходе линейного наклонного оптического фильтра и фотоприемника малосенсорной системы путем анализа параметров огибающих биений их оптических компонент на разностных адресных частотах, лежащих в радиодиапазоне. Для реализации алгоритма определен единственный измеряемый параметр, необходимый и достаточный для решения поставленной задачи, – коэффициент модуляции огибающей.

4. Разработаны основы теории и принципы построения нового класса радиофотонных сенсорных систем на адресных волоконных брэгговских структурах при решении задач многосенсорных приложений. На основе созданной математической модели многосенсорной системы решена задача однозначного определения брэгговской длины волны каждой из адресных структур при их множественном включении по различным топологиям в условиях возможного возникновения ложных адресных частот. С этой целью предложен метод адресного частотного анализа, основанный на узкополосной фильтрации адресных радиочастот биений, и выведена полная трансцендентная система уравнений, решение которой может быть получено только на основе численных методов. Предложены подходы к ее решению, основанные на выборе начальных условий для запуска итерационной процедуры решения, введению процедуры наблюдения за смещением брэгговских частот массива адресных структур в динамике по времени, при этом последняя эффективна в силу высокой скорости опроса датчиков радиофотонными методами по отношению к скорости изменения измеряемых параметров.

5. Получены положительные оценки возможности реализации радиофотонных сенсорных систем на адресных волоконных брэгговских структурах для решения задач одно-, мало- и многосенсорных приложений. Оценки проводились на основе компьютерного и численного моделирования различных структурных и топологических оптико-электронных схем опроса адресных датчиков, подтверждена корректность их функционирования. Отдельно исследован случай возникновения адресных или ложных

частот экстремально близких, но не равных другим адресным частотам. Показана высокая эффективность предложенных методов математической обработки сигналов биений на адресных частотах, которые позволяют определить положения брэгговских длин волн всех адресных структур в массиве при наличии любых ложных и экстремально близких к адресным частотам.

6. Определены процедуры калибровки комплексированных волоконно-оптических датчиков на адресных волоконных брэгговских структурах, которые заключаются в определении и регистрации брэгговских длин волн их лоренцевских окон прозрачности или гауссовых профилей отражения, их полос пропускания и добротностей, разностных адресных частот между ними и центральной длины волны адресной структуры в целом. С этой целью развита теория полигармонических методов зондирования безадресных волоконных адресных структур, применяемых в радиофотонных сенсорных системах соответствующего класса. Предложен асимметричный по амплитуде трехчастотный метод зондирования, позволяющий решить все указанные задачи калибровки.

Показано, что на основе метода асимметричного по амплитуде трехчастотного зондирования можно определять характеристики и калибровать безадресные волоконные брэгговские структуры, волоконные брэгговские структуры с резонансными спектральными профилями других типов, например, Фабри-Перо и Фано. Обозначены пути дальнейшего развития метода для построения радиофотонных сенсорных систем различного назначения.

7. Результаты работы, реализованные в виде информационно-измерительных систем, радиофотонных приборов и устройств, волоконно-оптических датчиков, программных средств и методик проектирования, направленных на улучшение метрологических и технико-экономических характеристик, а также расширения функциональных возможностей радиофотонных систем интеррогации комплексированных волоконно-оптических датчиков, внедрены и использовались при выполнении хозяйственных и госбюджетных НИР в ООО ИРЗ-ТЭК, г. Ижевск, АО «Каскад», г. Чебоксары, ПАО «КамАЗ», г. Наб. Челны, ООО «Цифрател», г. Волжск, ООО «КОМАС», ООО «ПроТелеком», г. Казань, ОАО СЗМН, г. Казань, НИИ АУС, г. Феодосия. Результаты исследований использовались при выполнении НИОКР и НИР КНИТУ-КАИ в рамках работ по Постановлениям Правительства РФ от 09.04.2010 №218 и №220 (гос. контракты №02.G25.31.0004 и №14.Z50.31.0023), государственного задания на выполнение работ по организации научных исследований по ТЗ №№ 7.2217.2011, 1017, 3.1962.2014/К программ «Симметрия», «Фотоника», «Радиофотоника», а также в учебном процессе КНИТУ-КАИ по направлениям «Радиотехника», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и учебном процессе ПГУТИ (г. Самара) по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Значимость полученных им в диссертации результатов, позволила проф. Сахабутдинову А.Ж. за пять лет подготовить пять кандидатов наук. На сегодняшний день им развиты теория и практика применения:

- нейросетевых алгоритмов в решении задач определения центральной длины волны волоконных решеток Брэгга, используемых в качестве чувствительных элементов датчиков оптоволоконных сенсорных сетей;
- метода однородных слоев в решении задач моделирования произвольного профиля показателя преломления волоконной среды, например, для двух и более ВБР, ВБР с одним или множеством фазовых сдвигов, ВБР и интерферометров Фабри-Перо и т.д.;
- оптических методов определения плотности наночастиц по постоянной времени седиментации;
- волоконно-оптических методов контроля роста корневой системы биологических систем;

- комплексированных волоконно-оптических датчиков как ключевых элементов многосенсорных систем одновременного мониторинга концентрации нескольких парниковых газов.

За время преподавательской работы Сахабутдинов А.Ж. разработал и прочитал более 10 курсов лекций для специалистов, бакалавров и магистров. Для 5 дисциплин им поставлены полные циклы лабораторных работ, разработаны задания для расчетно-графических, курсовых работ и проектов. Идеология построения курсов апробирована на научно-методических конференциях в России и за рубежом, для них подготовлены оригинальные учебные, в том числе электронные материалы. Много сил и энергии Сахабутдинов А.Ж. отдает индивидуальной работе со студентами. Бакалаврские, дипломные работы, а также магистерские диссертации, выполненные под его руководством, отличаются высоким научно-техническим уровнем и отражают результаты исследований, проводимых совместно со студентами, в соавторстве с которыми опубликовано более 50 работ.

Сахабутдинов А.Ж. активно участвует в организационно-методической работе университета. Опубликовал более 10 научно-методических и учебно-методических работ, в том числе 6 учебных пособий. Учебное пособие по теории света и фотоники на английском языке издано в Университете Кербала (Ирак). На кафедре радиофотоники и микроволновых технологий под его руководством создана современная учебная лаборатория волоконно-оптических сенсоров. Высокое качество учебного процесса обеспечивается за счет проведения практических и лабораторных занятий, преддипломной и производственной практики на базе Научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС) КНИТУ-КАИ.

В 2022 г. проф. Сахабутдиновым А.Ж. сформирован пакет документов для открытия диссертационного совета на базе КНИТУ-КАИ по специальности 2.2.7 – Фотоника, который находится на рассмотрении ВАК РФ. Научные интересы Сахабутдинова А.Ж. в настоящее время связаны с подготовкой иностранных аспирантов. Им опубликовано более 350 печатных работ, в том числе около 20 статей в журналах Q1 и Q2, получено 24 патента. Он принял участие в организации и работе более 30 научно-технических и научно-методических конференций и симпозиумов. С 2019 года он является членом оргкомитетов ежегодно проводимой международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы» и конференции «Оптические технологии телекоммуникаций», которая ежегодно проводится под эгидой международного общества инженеров-фотоников SPIE (США). Сахабутдинов А.Ж. является членом трех диссертационных советов, за успехи в работе награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки Республики Татарстан.

Результаты многолетнего плодотворного труда Сахабутдинова А.Ж. являются достойным вкладом в дело подготовки высококвалифицированных специалистов, способствуют развитию системы высшего образования Республики Татарстан и Российской Федерации.

Редакционный совет и редколлегия журнала сердечно благодарят заместителя главного редактора Сахабутдинова Айрата Жавдатовича за сотрудничество и поддержку и желают крепкого здоровья, благополучия и продолжения плодотворной деятельности с присущими ему энергией и талантом на благо российской науки!