

*В.А. Бурдин, А.В. Бурдин, О.Г. Морозов,  
Г.А. Морозов, А.Х. Султанов, А.А. Василец*

## **В ПРЕДДВЕРИИ ГОДА ИНЖЕНЕРА**

*Освещены основные направления работы и подведены итоги IV-ой международной молодежной научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы», проходившей в Казани, на базе Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, с 12 по 14 апреля 2017 года.*

**Ключевые слова:** *год инженера; микроволновые технологии, оптические технологии, радиофотонные технологии, квантовые технологии, приложение в технических и живых системах*

2018-й год может быть объявлен в России Годом инженера. В преддверии Года инженера в Казани, на базе Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ) в 4-й раз прошла международная молодежная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы» (ПРЭФЖС-2017, Казань, 12-14 апреля 2017 года).

Как бы сегодня не называли выпускников вузов: бакалавр – инженер-техник, магистр – инженер-разработчик, аспирант – инженер-исследователь (преподаватель-исследователь), гордо, четко и просто, а главное, консервативно-правильно звучит ИНЖЕНЕР, без каких-либо добавок. Инженерное дело является основополагающим фактором для появления и реализации новейших разработок во всех сферах человеческой деятельности. Инженеры, по сути строят мост от науки в реальную жизнь, поэтому роль, которую инженерный корпус играет в экономике и культуре XXI века трудно переоценить. Инженер (фр. *ingénieur*, от лат. *ingenium* – способность, изобретательность) – специалист с техническим образованием, создатель информации об архитектуре материального средства (продукта), его функциональных свойствах, системах контроля и программирования, технологии изготовления этого средства (продукта), методах наладки и испытаний самого средства и его материального воплощения, осуществляющий руководство и контроль за изготовлением продукта. Как бы кому-то не хотелось быть ближе к Европе, нельзя слепо переносить их систему образования в страну, которая

отличается своим мироустройством и в которой существовала и, надеемся, будет существовать своя система, не образования вообще, а РОССИЙСКОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.

Последние годы КНИТУ-КАИ четко определило, что самые сильные студенты идут на те направления, которые четко подкреплены на выходе обучения развитой или развивающейся производственной отраслью. Это техническая кибернетика, авиа- и вертолетостроение, телекоммуникации, СВЧ-устройства, микроволновые технологии и антенны, фотоника и квантовая оптика, радиофизика и радиофотоника, биофизика и др. В этом тренде и проходит юбилейный 2017 год – год 85-летия КНИТУ-КАИ, 65-летия Института радиоэлектроники и телекоммуникаций, 30-летия научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, 10-летия кафедры радиофотоники и микроволновых технологий.

Ежегодная международная молодежная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы» (ПРЭФЖС-2017), которая всегда приурочена к Дню космонавтики, ставила своей целью подведение итогов инженерной и научно-исследовательской работы студентов старших курсов, открытие новых направлений развития науки и техники молодыми студентами и учеными, и, конечно, представление огромного пласта достижений метров науки КНИТУ-КАИ, Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ) и их партнеров из Казанского институт биохимии и биофизики (КИББ) КазНЦ РАН, Поволжского государственного технологического университета (ПГТУ) и Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ).

Основные направления работы конференции:

- микроволновые процессы, технологии и комплексы (моделирование процессов, СВЧ-аппараты и комплексы, антенны и электромагнитная совместимость);
- фотоника (технологии оптических систем телекоммуникаций, пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем, микроволновая фотоника);
- техническая электродинамика, фотоника и информатика живых систем (межклеточная сигнализация, микроволновые и квантовые комплексы мониторинга и адаптации живых систем, психофизиологические аспекты восприятия информации).

Учитывая специфику развития основных учредителей конференции КНИТУ-КАИ, УГАТУ, ПГУТИ, КИББ в программу были включены новые направления: квантовая

оптика и коммуникации; тренинг и образование в области радиофизики, фотоники и живых систем.

Пленарное заседание ПРЭФЖС-2017 позволило участникам конференции получить полное представление о состоянии разработок в области современных технологий прикладной электродинамики, фотоники, живых систем и перспективах их развития до 2020-2025 года, подтвердить верность научных подходов, развиваемых в научных и образовательных учреждениях в целях развития технологий будущих микроволновых технологий, систем связи и сетей доступа, сенсорных систем, основанных на радиофотонных принципах интеррогации волоконно-оптических датчиков, а также на основе понимания природы человека и других живых систем.

Традиционно пленарное заседание открыли проф. Морозов Г.А. и проф. Седельников Ю.Е. с докладом «Развитие научной школы «Микроволновые технологии, процессы и комплексы» в НИИ ПРЭФЖС». Был рассмотрен широкий круг вопросов прикладной электродинамики, посвященных: приложению классической теории антенн в области промышленных микроволновых технологий обработки различных сред, применению сфокусированных антенн в микроволновых технологиях (МВТ) и смежных областях, математическому моделированию СВЧ-нагрева диэлектриков, практической реализации МВТ при сепарации и дистилляции нефти. Отдельным разделом следует выделить вопросы микроволновой биологии, которые раскрывают полный спектр МВТ, от высокоинтенсивных до низкоинтенсивных (информационных), присущих созданной и развивающейся научной школе. В ее активе защиты 4 докторских и более 20 кандидатских диссертаций.

Не менее информативно выглядел блок докладов по фотонике, открытый докладом проф. Бурдина В.А. «Прошлое, настоящее и будущее оптических волокон на сетях связи». В прошлом 2016 году исполнилось 50 лет с тех пор, как в 1966 году К.Ч. Као и Дж.А. Хокхем в своей теперь знаменитой статье сформулировали требования к системам передачи информации по волокнам из стекла и показали возможность создания оптического волокна из кварцевого стекла с затуханием менее 20 дБ/км. Они пришли к выводу, что большие потери в обычном стекле (около 1000 дБ/км), обусловлены присутствующими в стекле примесями. Впоследствии за эту работу Чарльз Као получил Нобелевскую премию 2009 года по физике.

А уже совсем скоро, в 2020 году, мы будем отмечать 50 лет изобретения оптического волокна с малыми потерями, авторы которого Роберт Маурер, Дональд Кек, Петер Шульц летом 1970 года получили оптическое волокно с легированной окисью

титана сердцевиной с потерями 17 дБ/км на длине волны 633 нм. Патент на изобретение был получен фирмой Корнинг.

В 80-90-ые годы XX века в России было налажено собственное производство оптического волокна. Стекланные заготовки выпускались в городе Гусь Хрустальный. Вытяжкой волокна из заготовок – собственно производством оптического волокна – занимались несколько предприятий: опытный завод ВНИИ кабельной промышленности в Подольске, Ленинградский завод «Севкабель», Московский «Электропровод», «Одесскабель», ГосНИИ вакуумного стекла в Ленинграде и др. В 1988 году была введена в действие волоконно-оптическая линия связи Ленинград – Сосновый Бор протяженностью 120 км.

Первое многомодовое оптическое волокно с потерями 17 дБ/км вытягивали со скоростью около 1,5 м/мин. Сегодня одномодовое оптическое волокно с потерями менее 0,2 дБ/км вытягивают со скоростью 50 м/с. К настоящему времени в мире проложено более 3 млрд. км оптического волокна, по которому передается более 80% от общего объема передаваемой информации. Емкость оптических систем связи выросла более чем в 100 000 раз за 45 лет своего существования.

Казалось бы, век многомодовых волокон прошел, но доказательство обратного привел в своем докладе проф. Бурдин А.В. с коллегами. В работе представлено описание математического аппарата, ориентированного непосредственно на расчет параметров передачи модового состава ОВ с увеличенным диаметром сердцевины, с учетом особенностей маломодового режима, и решения обратной задачи оптимизации профиля показателя преломления ОВ для управления дифференциальной модовой задержкой. Приведены некоторые результаты синтеза градиентных профилей кварцевых ОВ 42/125 для транспортных сетей связи нового поколения, а также для волокон 50/125 и 100/125 компактных сетей передачи данных разного назначения. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований потенциальных возможностей использования маломодовых эффектов для распределенных и сосредоточенных волоконно-оптических датчиков.

Полученные результаты показали, что переход на маломодовые ОВ с сильно увеличенным, по сравнению с традиционными телекоммуникационными коммерческими одномодовыми и маломодовыми ОВ, диаметром сердцевины, обеспечивающим практически полное устранение нелинейности самого волоконного световода, в сочетании с пространственным мультиплексированием на базе технологий MDM и MIMO, считается одним из перспективных подходов для решения задачи создания компактных сетей передачи данных. Кроме того, волоконный световод в маломодовом режиме фактически

является интерферометром, что позволяет рассматривать его как платформу для построения элементов с новыми уникальными свойствами. В том числе и в нелинейном маломодовом режиме. Это открывает дополнительные возможности разработки принципиально новых концепций построения устройств управления световыми потоками и реализации на их основе альтернативных решений управления оптическими сигналами для частных приложений сенсорики.

Обоснованный в докладе переход к много- или маломодовым волоконно-оптическим системам нашел подтверждение в двух следующих докладах пленарного заседания с описанием использования многочастотных систем связи и полигармонических сенсорных систем.

Первый из них – доклад соискателя ученой степени кандидата наук Воронкова Г.С. «Моделирование дифференциального преобразования сигналов OFDM для передачи изображений». С целью снижения выходной мощности передатчиков передающих устройств систем с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) без ухудшения качества связи и существенных схемотехнических изменений предлагается применять дифференциальное преобразование. Суть дифференциального преобразования заключается в уменьшении динамического диапазона канального сигнала за счёт экстраполяции значений сигнала и передачи в канал связи разницы между текущим и прогнозируемым значением сигнала с дальнейшим восстановлением исходной формы сигнала на приёмной стороне при известных параметрах экстраполяции. Передаточная функция экстраполятора синтезируется на основании спектральных плотностей мощности (СПМ) сигналов синфазного и квадратурного каналов и действующей в канале помехи. При этом на форму передаточной функции накладывается требование сохранения ортогональности каналов. Такая методика может найти широкое применение при использовании в волоконно-оптических системах RoF – «радио-по-волокну».

Второй доклад доцента, д.т.н. Нуреева И.И. и коллег посвящен радиофотонным полигармоническим сенсорным системам. Ключевым элементом систем радиофотоники, определяющим качественно их преимущества, а количественно метрологические характеристики, является подсистема формирования модулированного лазерного излучения, обеспечивающая как перенос радиосигнала в оптический диапазон (например, с целью передачи информации в телекоммуникационных системах), так и формирование полигармонического оптического сигнала с разностными частотами, лежащими в радиодиапазоне (например, для генерации зондирующих излучений в информационно-измерительных системах). При этом, как правило, используются не дорогостоящие и сложные широкополосные или сканирующие в широком диапазоне лазеры либо

отдельный набор лазеров, а более простые и дешевые одномодовые лазеры с внутренней модуляцией или синхронизацией мод либо одночастотные лазеры с внешней модуляцией на основе электрооптических модуляторов с рабочим диапазоном частот до 100 ГГц амплитудного, фазового, амплитудно-фазового и поляризационного типов.

В первой части доклада были рассмотрены проблемы современных волоконно-оптических сенсорных сетей, ограничения систем интеррогации ВБР, обоснованы преимущества их построения на основе радиофотонных и полигармонических методов зондирования. Во второй части – развиты положения единого поля комплексированных ВОД с включением в него однотипных ВБР, объединенных в группу, определены требования к системам интеррогации последних, представлены принципы синтеза одиночных ВБР со специальной формой спектра для линеаризации характеристик измерительного преобразования, а также приведены основные принципы их калибровки в случае комплексированных измерений. В третьей части – определены требования к построению нового класса радиофотонных систем – полигармонических систем интеррогации комплексированных ВОД, описаны преимущества их использования в системах охраны периметра, систем климатических испытаний, мониторинга пассивных оптических сетей связи, контроля параметров электрических двигателей и машин, а также в приложениях для смежных областей науки и техники (например, аналитической спектроскопии газов, лидарных измерений и т.д.).

Альтернативой классическим волоконно-оптическим системам передачи все более высокими темпами становятся квантовые технологии связи, отраженные в докладе проф. Моисеева С.А. «Возможности реализации квантовой памяти на фотонном эхе в резонаторных схемах». В последние годы достигнут большой прогресс в разработке оптической квантовой памяти, что выразилось в значительном увеличении достигнутой квантовой эффективности, времени жизни, объеме записываемой информации, а также в возможности надежного сохранения квантовых свойств света. Вместе с тем, стало очевидным, что дальнейший прогресс, необходимый для достижения практически значимых параметров, требует новых подходов. Большие надежды в достижении этих целей связаны с использованием резонаторных схем взаимодействия света с атомами – носителями квантовой информации. Такие схемы позволяют заметно уменьшить объем рабочего вещества за счет создания оптимальных условий взаимодействия со световыми полями, облегчить вопросы интеграции квантовой памяти в схемы квантового компьютера. Также показано, что использование системы согласованных резонаторов может увеличить рабочую спектральную ширину квантовой памяти как в оптическом, так и в микроволновом диапазоне частот. Кроме того, в докладе были продемонстрированы

новые возможности использования нерезонансной рамановской схемы взаимодействия света с атомами в резонаторе для значительного увеличения спектральной ширины эффективного сохранения световых полей в высокодобротном оптическом резонаторе. Подобные возможности возникают при реализации оптимальной аномальной спектральной дисперсии взаимодействия атомов с отдельной модой резонатора. Например, такие условия достигаются за счет использования дополнительной нерезонансной  $\lambda$ -схемы взаимодействия сигнального поля с атомами, в которой лазерное излучение оптимально связывает нижнее населенное состояние атомов с верхним возбужденным оптическим уровнем.

Существенный интерес вызвал доклад проф. Нигматуллина Р.Р. «Общая теория почти-воспроизводимых экспериментов: существует ли единая количественная платформа для описания данных различных сложных систем?». Найденные автором решения определенного класса функциональных уравнений в виде обобщенных функций Прони – математическая основа объединения современной теории и эксперимента на платформе промежуточной модели. В докладе были приведены результаты для экспериментов с различными выборками (т.н. квази-воспроизводимых), когда влияние неконтролируемых факторов может быть существенным. Кроме того, обобщены прежние результаты, полученные ранее для квази-периодических экспериментов, когда влияние неконтролируемых факторов предполагается неизменным. Полученные формулы были проверены на зависимости потока впрыскиваемого топлива от внешнего давления и времени зажигания в двигателе Дизеля. Во времени эта кривая практически идеально описывается обобщенным спектром Прони, что служит количественным выражением предлагаемой автором промежуточной модели. Полученные результаты представляют собой новую парадигму теории измерений и открывают неожиданные возможности для важных приложений: (а) создание роботизированных лабораторий, (б) универсального метрологического стандарта, (в) приемка изделий с различными дефектами и отклонениями, (г) сравнение тестируемой партии с эталонным изделием. Второй, рассмотренный автором, эксперимент – это практически точное (относительная ошибка подгонки кривой порядка 1%!) описание совокупности сердцебиений с известными экстремумами PQRS, принятыми в кардиологии. Кроме этого, автором практически идеально описаны данные по затуханию в оптоволоконных кабелях в зависимости от расстояния. Последние данные для анализа любезно представлены доц. Нуревым И.И. Опираясь на эти результаты, можно предложить новую схему измерений – т.н. фрактальный эксперимент, когда свойство самоподобия может быть навязано измеряемой системе. Совершенно очевидно, что эта теория в силу её универсальности может быть

применена также для описания квази-воспроизводимых данных различных биологических систем. Пока такого рода данные у автора отсутствуют, но можно надеяться поработать вместе с амбициозными командами ученых, работающих над расшифровкой механизмов работы сложных технических и живых систем.

Одна из таких сложных технических систем была представлена в докладе проф. Данилаева М.П. и коллег «Прозрачные полимерные материалы с повышенными механическими характеристиками». Были представлены результаты экспериментальных исследований модельных образцов полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной смолы, наполненной субмикронными частицами оксида цинка. Частицы оксида цинка капсулировали полистиролом. Показано, что введение в полимерную матрицу капсулированных полистиролом субмикронных частиц оксида цинка привело к образованию четко выраженной «чешуйчатой» структуры полимерного композитного материала. Установлено, что введение капсулированных полистиролом субмикронных частиц оксида цинка в полимерную композицию на основе эпоксидной смолы ЭД-20 позволяет увеличить твердость на 45% и модуль упругости на 15% по сравнению с композицией, в которой частицы не капсулированы.

Среди примеров сложных живых систем слушатели отметили системы, представленные в докладе акад. Никольского Е.Е., доц. Самигуллина Д.В. и их коллег «Механизм обратной связи как фактор обеспечения надежности передачи информации при межклеточном взаимодействии», в которых, что интересно, наблюдается «полное подобие» процессов, происходящих при передаче информации в клетках лягушек, процессам, происходящим в волоконно-оптических системах связи.

Химические синапсы – это структурные элементы центральной и периферической нервных систем, посредством которых осуществляется передача информации между передающей клеткой (нервное окончание) и принимающей клеткой (нейрон, мышечное волокно). Этот процесс происходит путем трансформации электрического нервного стимула в химический сигнал, который представляет собой выделяющиеся из нервного окончания порции (кванты) нейромедиатора. Затем на эффекторной клетке этот химический сигнал вновь трансформируется в электрический. К таким структурам относятся и периферические нервно-мышечные соединения теплокровных и холоднокровных. Для обеспечения надежной передачи возбуждения с нервного окончания на эффекторную мышечную клетку необходимо кратковременное выделение числа квантов нейромедиатора, достаточного для того, чтобы возбудить соответствующие рецепторы и вызвать деполяризацию мышечного волокна.

Процесс изменения количества выделившихся квантов самим нейромедиатором ацетилхолином за счет активации пресинаптических холинорецепторов может рассматриваться как обратная связь и представлять собой один из факторов, обеспечивающих надежность передачи сигнала и синаптическую пластичность. Таким образом, можно заключить, что нервно-мышечном синапсе лягушки действительно реализуется механизм отрицательной обратной связи, который состоит в уменьшении выброса квантов ацетилхолина под действием самого нейромедиатора.

Наличие такой петли обратной связи может быть обусловлено необходимостью контроля недостатка готового к освобождению медиатора в нервном окончании и/или, напротив, его избытка в синаптической щели при ритмической активности синапса, характерной для физиологических условий работы синаптического аппарата.

В заключении пленарного заседания выступил доц. Акишин Б.И., который с одной стороны показал, что самой сложной живой системой является человек, а с другой – вернул слушателей к проблеме создания всесторонне развитого российского ИНЖЕНЕРА – физически развитого и спортивного.

В его докладе «Самообразование и самостоятельная работа в физическом воспитании студентов», отмечено, что существенные изменения в системе образования в России, проходящие в последние годы в значительной степени изменили и структуру образовательного процесса. В средней школе введение ЕГЭ привело к возникновению системы дополнительных занятий с репетитором, то есть внешкольных занятий. В высшей школе, с появлением новой парадигмы образования, связанной с получением в вузе профессиональных компетенций, то есть не просто знаний, а умений и навыков, также потребовало дополнительных занятий на реальном производстве, зачастую самостоятельных. Практически, в каждой формулировке компетенции по направлению обучения в области физической культуры присутствует требование умения самостоятельно организовать свою жизнедеятельность с правилами здорового образа жизни и с активным занятием спортом или физическими упражнениями. Без этих компетенций невозможно получить здорового, физически и культурно развитого ИНЖЕНЕРА.

Указанные ключевые направления развития науки и техники были содержательно поддержаны в выступлениях студентов, аспирантов, инженеров и молодых ученых КНИТУ-КАИ, УГАТУ, ПГУТИ, КИББ КазНЦ РАН, ПГТУ, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ИТМО, СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, ПАО «КАМАЗ», ГИПО, АО НПО КАСКАД, Иннополиса, ПАО «Таттелеком», «ТатАИСнефть» и др.

Конференция четвертый раз проходит при финансовой поддержке OSA – Оптическое общество Америки, организационной помощи УИРС КНИТУ-КАИ, с участием оптических ячеек научных обществ SPIE и OSA КНИТУ-КАИ и ПГУТИ. По итогам работы ПРЭФЖС-2017 издан сборник материалов докладов. В 2018 году ждем Вас в Казани на юбилейной V-ой конференции ПРЭФЖС-2018.

*БУРДИН Владимир Александрович* – доктор технических, профессор, проректор по научной деятельности и инновациям, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Область научных интересов – оптические технологии телекоммуникаций. Автор более 500 публикаций.

E-mail: [burdin@psuti.ru](mailto:burdin@psuti.ru)

*МОРОЗОВ Олег Геннадьевич* – доктор технических, профессор, директор научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, заведующий кафедрой радиофотоники и микроволновых технологий, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов – радиофотонные технологии телекоммуникаций. Автор более 400 публикаций.

E-mail: [OGMorozov@kai.ru](mailto:OGMorozov@kai.ru)

*СУЛТАНОВ Альберт Ханович* – доктор технических, профессор, директор института инфокоммуникационных технологий, заведующий кафедрой телекоммуникационных систем, Уфимский государственный авиационный технический университет. Область научных интересов – оптические технологии телекоммуникаций. Автор более 500 публикаций.

E-mail: [tk@ugatu.ac.ru](mailto:tk@ugatu.ac.ru)