



## ИНДУСТРИЯ ФОТОНИКИ

К.В.Швырков, АО "РИЦ "ТЕХНОСФЕРА", [www.photonics.ru](http://www.photonics.ru), Москва

Низкая конкуренция продуктов фотонной индустрии на внутренних рынках страны не способствует эффективному трансферу технологий из области получения новых фундаментальных знаний в область их практического использования. Для создания продуктов фотоники, конкурентноспособных не только на российском, но и на глобальном рынках, необходимо, чтобы фотоника стала приоритетным направлением научно-технологического развития России. О состоянии российского сегмента волоконной оптики можно узнать из обзора конференции ВКВО-2017, которая прошла в Перми.

**П**ервая Всероссийская конференция по волоконной оптике в Перми была организована в 2007 году. За десять лет интерес бизнеса и науки к этой области настолько вырос, что она превратилась в традиционный долгожданный (конференция проходит раз в два года) научный форум.

Организаторами мероприятия выступили Научный центр волоконной оптики РАН (НЦВО РАН, Москва), Пермская научно-производственная приборостроительная компания (ПНППК), Пермский научно-исследовательский политехнический университет (ПНИПУ) и Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ). Подчеркнем, что конференция проходила на территории ПНППК, являющейся базовым предприятием, образующим кластер "Фотоника". Кластер создан в 2015 году и имеет два федеральных статуса: приоритетный инновационный территориальный кластер России и промышленный кластер.

С развитием оптических приборов на основе волоконной оптики, ростом производства комплектующих для волоконной связи, систем безопасности, мониторинга окружающей среды, разработкой технологий радиофотоники, с развитием магистральных подводных линий связи тематика докладов конференции ВКВО-2017 расширилась по сравнению с прошлым мероприятием. Также возросло число

ее участников, чему немало способствует авторитет крупного ученого, председателя конференции, академика РАН Евгения Михайловича Дианова, научного руководителя НЦВО РАН. На открытии конференции Генеральный директор ПНППК Алексей Гурьевич Андреев отметил, что количество участников конференции год от года неизменно растет. Если в первый раз конференция по волоконной оптике собрала чуть более 100 человек, то в 2017 году число участников выросло вдвое. К ним присоединились представители из 18 городов России и представители США, Китая, Нидерландов, Великобритании, Латвии, Финляндии, Франции.

В этом году у конференции появился генеральный спонсор, им стала компания ООО "ОЭС Спецпоставка", резко взявшая курс на расширение своего присутствия на российском рынке. В рамках развития направления оптики и фотоники в регионах России компания "ОЭС Спецпоставка" является активным участником и организатором специализированных мероприятий, посвященных изучению и развитию лазерных и оптических технологий и их применению в различных областях промышленности и медицины. Компания "ОЭС Спецпоставка" представляет на территории РФ продукцию многих мировых лидеров по производству оптоэлектронных приборов и компонентов. ОЭС Спецпоставка - спе-

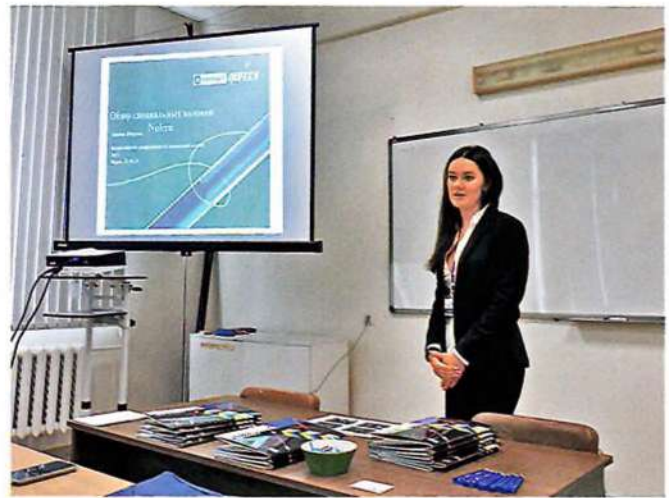


специализированный дистрибьютор оптических компонентов и оборудования для отрасли фотоники. Среди ее партнеров такие известные фирмы, как AA OPTOELECTRONIC (Франция), ведущий мировой производитель и разработчик акустооптических и радиочастотных устройств, а также NKT Photonics (Дания), Microwave Photonics Systems (США), LightComm (Китай), II-VI Laser Enterprise (Германия), ID Quantique (Швейцария) и многие другие.

Конференция ВКВО-2017 работала по секциям:

- волоконные световоды и волоконно-оптические компоненты (председатель – Бубнов Михаил Михайлович, НЦВО РАН, Москва);
- волоконные лазеры и усилители (председатель – Буфетов Игорь Алексеевич, НЦВО РАН, Москва)
- волоконно-оптические системы связи (председатель Наний Олег Евгеньевич, МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва);
- волоконно-оптические датчики (председатель Беловолов Михаил Иванович, НЦВО РАН, Москва);
- радиофотоника (председатель Шулунов Алексей Николаевич ОАО "НПК "НИИДАР", Москва);
- волоконно-оптические кабели (председатель Мещанов Геннадий Иванович, ВНИИКП, Москва).

Пленарный доклад "Полые волоконные световоды и источники излучения на их основе", с которым выступил чл.-корр. РАН Буфетов Игорь Алексеевич, открывал конференцию. В докладе был сделан обзор оптических волоконных световодов различных типов с полый сердцевинной, рассмотрены их свойства, представлены возможности управления дисперсией полых световодов. Эти возможности вытекают, во-первых, из того, что в каждой полосе пропускания полого световода дисперсия проходит через нулевое значение, а положением полос пропускания легко управлять, меняя геометрические параметры микроструктурированной оболочки. Во-вторых, в готовом световоде можно варьировать наклон дисперсии за счет изменения давления газа, заполняющего сердцевину. В-третьих, существует возможность менять наклон кривой дисперсии изменением радиуса изгиба световода, а это позволяет решать вопросы передачи ультракоротких лазерных импульсов. По мнению докладчика, наиболее предпочтительна для области среднего ИК-диапазона конструкция револьверного световода. Оптические потери в таком световоде не превышают 0,2 дБ/м в диапазоне длин волн 1,53–1,67 мкм. В докладе были показаны области применений источников излучения, построенных на основе полых световодов



револьверного типа: системы дезориентации и подавления систем наведения, работающих в среднем ИК-диапазоне, подсветка цели, скрытые системы связи на местности, методы диагностики газов.

Члены программного комитета составили программу конференции таким образом, что выстроили доклады по всему фронту исследований в направлении волоконной оптики. Они пригласили выступить известных специалистов по каждому направлению работы конференции. Группа авторов из Новосибирска в составе Подивилова Е.В., Харенко Д.С., Бедняковой А.Е., Федорука М.П. и Бабина С.А., представляющих Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирский государственный университет и Институт вычислительных технологий СО РАН, была приглашена с докладом "Генерация спектрального комба чирпованных импульсов". Широкополосное лазерное излучение состоит из дискретного набора частот. При этом итоговым результатом сложения всех частот друг с другом является генерация сверхкоротких импульсов, длительность которых обратно пропорциональна ширине спектра. Такая частотная гребенка приобрела название "спектральный комб", по частотам которого можно производить измерения. Чем длиннее линейка и чем лучше частоты связаны друг с другом, тем больше возможностей для ее практических применений.

Сделать такую оптическую линейку можно путем увеличения ширины уже имеющегося спектра в высокочастотной среде, например в оптических волокнах с высокой нелинейностью. Под действием керровской нелинейности происходит образование новых спектральных компонент в сигнале и формирование когерентного комба. Получение подобного широкого когерентного спектра, который принято называть "суперконтинуумом", привело к революционному развитию частотной метрологии.



тического использования: для синтеза импульсов предельно короткой длительности, генерации в среднем ИК-диапазоне путем генерации разностных частот, в когерентной микроскопии и сверхширокополосной передаче данных.

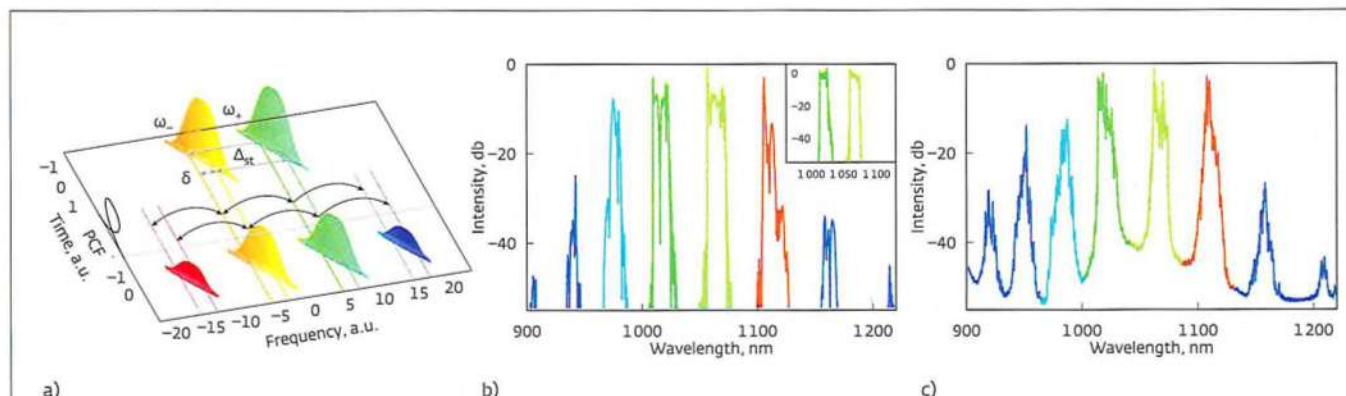
Другие доклады сотрудников Института автоматики и электрометрии СО РАН были посвящены новым результатам исследований в области ВКР-лазеров с прямой диодной накачкой (С.А.Бабин, С.И.Каблуков, Е.А.Злобина), фемтосекундных технологий

Авторами был предложен качественно новый способ генерации широкополосного излучения, основанный на смешении сдвинутых по частоте когерентных фемтосекундных импульсов в высоконе- линейном световоде с близкой к нулю дисперсией (см. рис. 1). Таким образом, у разработчиков имеются две короткие жестко связанные друг с другом линейки. В результате их нелинейного смешения в специальном волокне происходит генерация новых спектральных компонент (коротких линеек), образующих спектральный комб коротких импульсов в диапазоне более чем 300 нм, что на сегодняшний день является заметным передовым результатом. Преимущества предложенного метода генерации спектрального комба коротких импульсов (коротких, но жестко связанных друг с другом оптических линеек) – это высокая стабильность и простота реализации. Помимо своего фундаментального значения, предложенный метод также открывает новые возможности для прак-

(В.Д.Ефремов, И.С.Жданов, А.А.Вольф), самосканирующихся лазеров (И.А.Лобач) и новых видов ВКР-лазеров (С.Р.Абдуллина).

В секции "Волоконно-оптические кабели" были анонсированы два приглашенных доклада: "Волоконно-оптические подводные системы передачи – возможности, проблемы" (авторы А.Н.Пилипецкий и Д.Г.Фурса, TE SubCom, США) и "Сравнительный анализ алгоритмов компенсации нелинейных искажений в волоконно-оптических линиях передачи" (авторы В.А.Бурдин, А.В.Бурдин, И.В.Григоров, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара).

Первый доклад был посвящен развитию систем подводной оптической связи. В октябре 2016 года общественность отметила 150-летие первого трансатлантического кабеля связи. В докладе были представлены результаты, полученные компанией TE SubCom,



**Рис. 1.** Генерация спектрального комба chirпованных импульсов: а) нелинейное смешение в фотонно-кристаллическом световоде двух коротких импульсов с линейной частотной модуляцией,  $\Delta_{st}$  – разница частот между импульсами,  $\delta$  – расстояние между продольными модами внутри импульсов; (b-c) спектр сигнала на выходе нелинейного световода в расчете (b) и эксперименте (c)



известной производством подводных кабельных систем для обеспечения передачи данных с нефтегазовых морских платформ. Условия эксплуатации оптического кабеля для подводной связи предъявляют особые требования к его конструкции и характеристикам. Специфические особенности магистральных трансокеанских линий связи вызваны большими расстояниями между терминальными станциями и ограничениями емкости. На этих линиях число оптических усилителей составляет несколько сотен. Поэтому выбор оптимальной длины пролета между подводными усилителями является одной из важнейших характеристик подводной линии. Конкретные решения этих задач влекут за собой разработку новых оптических волокон с малым оптическим затуханием и с большой эффективной площадью из-за использования мощных когерентных источников. Исследования направлены на освоение новых диапазонов, новых схем модуляции и алгоритмов корректировки ошибок, создание систем мониторинга оптического волокна, способных обеспечить

стабильную эффективную передачу данных, при этом непрерывно вести слежение за неисправностями оптического кабеля.

Авторы второго доклада – известные специалисты в области решения задач оптимизации алгоритмов обработки сигналов при наличии помех. Их результаты направлены на увеличение скорости и дальности передачи информации в волоконно-оптических линиях передачи. Авторы представили обзор современных алгоритмов обработки сигналов, использование которых подавляет нелинейные и дисперсионные искажения, алгоритмов подавления негауссовских импульсных помех большой длительности, привели оценку помехоустойчивости.

Отметим еще один доклад, прозвучавший во время работы этой секции, – доклад от компании Nokia "Перспективные решения для оптических транспортных сетей различной протяженности и пропускной способности" (автор С.С.Коган). Новые запросы потребителей подводных кабельных сетей связаны с требованием увеличения их пропускной способности. Промышленность, выпускающая волоконно-оптические транспортные системы, реагирует на эти запросы, внедряя передовые форматы модуляции, обеспечивая более высокие скорости передачи по длинам волн, размещая дополнительные оптические каналы в доступном окне прозрачности оптического волокна, в том числе за счет перехода к гибкой сетке частот (FlexGrid). Компания Nokia недавно завершила полевые испытания подводной кабельной DWDM ВОСП, America Europe Connect-1 (AEC-1), простирающейся от узла Shirley (Long Island) в Нью Йорке (США) до узла Killala, расположенного на северо-западном побережье Ирландии (средняя протяженность участков 89 км; среднее затухание на участках 14,4 дБ; полоса частот оптических усилителей этой ВОСП составляет 4300 ГГц). Новый метод обработки





сигнала в оптическом канале, получивший название "Probabilistic constellation shaping" (вероятностное формирование точек/позиций на звездной диаграмме QAM), позволяет адаптировать для каждого конкретного маршрута соединений по оптической сети пропускную способность канала для получения наилучших характеристик.

Заметной особенностью нынешней конференции стала организация в рамках ее работы секции "Радиофотоника". Отметим, что первый доклад по радиофотонному принципу построения радиоэлектронной аппаратуры прозвучал на конференции ВКВО-2013. И вот спустя четыре года создана новая секция. Радиофотонный принцип базируется на преобразовании входного сигнала СВЧ-диапазона в сигнал оптического диапазона. Перенос операции обработки в оптический диапазон упрощает общую схему аппаратуры и повышает ее ключевые показатели: быстродействие, рабочую полосу частот, массогабаритные характеристики, динамический диапазон, электромагнитную совместимость.

С развитием радиофотоники системы измерения мгновенной частоты радиосигналов СВЧ-диапазона становятся перспективным инструментом РЛС-предупреждения, разведки наземных и бортовых средств, радиоэлектронной борьбы. В этом направлении на передний план выходят задачи амплитудно-фазового модуляционного преобразования радиосигналом одночастотного лазерного излучения. Этой теме был посвящен доклад "Системы радиофотоники с последовательным амплитудно-фазовым преобразованием оптической несущей" группы авторов из Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева-КАИ (О.Г.Морозов, Г.И.Ильин и Г.А.Морозов).

Диапазон частот сантиметровых длин волн, используемых для наземной и спутниковой радиосвязи, X-диапазон (X band), по определению IEEE, простирается от 8 до 12 ГГц электромагнитного спектра. Оптико-электронные устройства радиофотоники ("фотонные АЦП" (photonic ADC) были рассмотрены в докладе А.Н.Шулунова (ОАО "НПК "НИИДАР") "Фотонные ЦАП и АЦП для X-диапазона".

Распределенные волоконные датчики и волокна со встроенными решетками Брэгга могут сыграть решающую роль при создании помехоустойчивой системы связи. С этой темой был связан доклад "Оптические волокна с массивом брэгговских решеток" (коллектив авторов из Института Радиотехники и Электроники РАН, бельгийского Университета города Монса и Ульяновского Государствен-

