

ДИАНОВСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВОЛОКОННОЙ ОПТИКЕ

С.А. Попов

DOI: 10.22184/2070-8963.2023.116.8.20.25



В октябре каждого нечетного года столица Западного Урала, отметившая в текущем году 300-летие, становится неременным местом встречи ведущих ученых и специалистов по волоконной оптике. В нынешнем году IX Всероссийская конференция по волоконной оптике (ВКВО), основанная по инициативе выдающегося физика, многолетнего директора, научного руководителя и основателя Научного центра волоконной оптики РАН академика Евгения Михайловича Дианова (1936–2019) и получившая теперь наименование Диановской, состоялась в Перми с 3 по 6 октября.

НЕДЕЛЯ ФОТОНИКИ

На этот раз ВКВО впервые стала интегральной частью Недели фотоники, которая проходила в Перми и городах Пермского края: Соликамске,

Косе и Красновишерске – с 29 сентября по 6 октября. Главным организатором Недели был созданный в 2020 году Центр компетенций Национальной технологической инициативы по направлению

"Фотоника" – он обеспечивает сотрудничество научных и образовательных учреждений, а также объединяет предприятия, вузы и научные институты со всей России в консорциум "Фотоника" (ключевые участники консорциума – ПГНИУ, ПАО ПНППК, ИТМО, Сколтех, НГУ и ИАиЭ СО РАН).

Партнерами мероприятия стали Министерство науки и высшего образования РФ, Институт общей физики им. А.М.Прохорова (ИОФ) РАН, НЦВО РАН, ПАО "Пермская научно-производственная приборостроительная компания" (ПНППК), Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, Агентство инвестиционного развития Пермского края, ПГНИУ, ПНИПУ, Фонд содействия инновациям, Кванториум "Фотоника", Политехническая школа "Фотоника" (СОШ № 93), Пермский академический "Театр-Театр", АНО "Агентство новых технологий" и др.

Площадка для события была выбрана неслучайно – в Пермском крае с 2014 года действует Инновационный территориальный кластер волоконно-оптических технологий "Фотоника". Он был образован вокруг ПАО "ПНППК" – компании, постоянно участвующей в организации конференции ВКВО.

Наряду с двумя центральными событиями – финалом федерального конкурса "УМНИК-Фотоника" и Диановской конференцией – в рамках Недели прошли также мероприятия для педагогов и научно-популярные, охватившие более 2 тыс. человек.

САММИТ ВОЛОКОННЫХ ОПТИКОВ

Организаторами ВКВО-2023 выступили обособленное подразделение ИОФ РАН – Научный центр волоконной оптики РАН, ПАО "ПНППК", Центр компетенций НТИ по направлению "Фотоника", Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ) и Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН. Событие получило поддержку Администрации губернатора Пермского края. Программный комитет возглавил Сергей Семенов, руководитель НЦВО РАН. В числе информационных спонсоров значимого научно-практического события традиционно были два журнала издательского холдинга "ТЕХНОСФЕРА": "ПЕРВАЯ МИЛЯ" и "Фотоника".

В ВКВО-2023 приняли участие 355 человек, в том числе 25 докторов и 100 кандидатов наук, прозвучали 275 докладов по актуальным вопросам

исследования и применения волоконно-оптических технологий. На конференцию приехали ученые и практики из вузов, научных центров и производственных компаний из 14 регионов страны от Калининградской области до Томска, а также из Беларуси и КНР. Многие традиционные участники отметили, что значительно снизился средний возраст докладчиков, на ВКВО приехало много молодых ученых, а организация конференции на базе ПАО "ПНППК" оставила самые лучшие впечатления.

ВКВО И ТЕЛЕКОМ

Диановская конференция традиционно представляет немалый интерес для специалистов отрасли телекоммуникаций. В этом году ярким подтверждением этого тезиса стали доклады, выбранные программным комитетом ВКВО для ее пленарного заседания. Председатель Совета директоров ОАО "ВНИИКП", вице-президент Ассоциации "Электрокабель" Евгений Васильев в своем выступлении рассказал о развитии кабельной науки и производства, уделив особое внимание оптическим волокнам (ОВ) и кабелям. Ученый из Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН и одновременно руководитель одного из ведущих изготовителей оборудования телекоммуникационного транспорта ГК "Т8" Владимир Трещиков представил перспективы отечественных систем DWDM.

Как подчеркнул Евгений Васильев, кабельная промышленность России сегодня практически не зависит от импорта, в ее номенклатуре есть все виды кабельных изделий (кроме кабелей силовых для подводной прокладки и некоторых высокочастотных кабелей), для их производства есть все необходимые мощности и технологическое оборудование.

Оптические кабели (ОК) по составу конструкций особенно подвержены зависимости от импорта. Сегодня осуществляются закупки многомодового ОВ, полибутилентерефталата, водоблокирующих лент и нитей, гидрофобных наполнителей, УФ-отверждаемых композиций для буферных покрытий и окраски ОВ, и сталеполимерных лент. Этот импорт идет, в основном, из дружественных стран и крайне мало по параллельным схемам. Вместе с тем, за последние пять лет производство ОК удалось освободить от почти 100%-ной зависимости закупок по импорту. Совместно с промышленными предприятиями и научными организациями ОАО "ВНИИКП" были созданы такие материалы, как одномодовое ОВ, в том числе

радиационно-стойкое; УФ-отверждаемые полиакрилатные покрытия; экструзионные полисульфоны и экструзионный поликарбонат для оптических модулей; арамидные нити и др. В настоящее время заканчивается разработка многомодовых ОВ с градиентным профилем показателя преломления, выполняемая "ВНИИКП" вместе с ПАО "ПНППК" и АУ "Технопарк-Мордовия".

Однако, как констатировал докладчик, в то время как в мире объемы производства и потребления оптического волокна неуклонно растут, в России созданные мощности по производству ОК загружены на 50–60%, что, конечно, является неблагоприятным фактором для их существования и развития и требует внимания государства. Завершая, Евгений Васильев подчеркнул, что сегодня кабельная промышленность России готова, как и 50 лет назад, в полном объеме обеспечивать в количественном и качественном исполнении потребности всех отраслей экономики страны в оптических кабелях.

Владимир Трешиков рассказал, что в нашей стране ведущим производителем волоконно-оптических систем связи на основе технологии DWDM в настоящее время является компания "Т8". Ее коллектив – более 400 человек, в том числе более 200 человек – ученые и разработчики, из них четыре доктора наук и более тридцати кандидатов наук. Разработка скоростных DWDM-систем ведется компанией с 2008 года, а в 2012-м "Т8" продемонстрировала когерентный транспондер 100 Гбит/с собственной разработки, войдя в пятерку компаний в мире, обладавших на тот момент данной технологией. Через шесть лет компанией представлено коммерческое оборудование 200 Гбит/с, а в 2021 году разработан мукспондер со скоростью 1200 Гбит/с на блок (по двум оптическим несущим со скоростью 600Г каждая). Начата разработка мукспондера с канальной

скоростью 800G, идет создание компактной (в корпусе высотой 2U) DWDM-системы для ЦОДов с полной скоростью 6,4 Тбит/с. Характеристики созданных компанией "Т8" DWDM-систем связи платформы "Волга" соответствуют мировому уровню коммерческих магистральных DWDM-систем.

Основные направления дальнейшего развития оборудования DWDM "Волга" связаны с увеличением его производительности и экономичности, с повышением надежности и защищенности от несанкционированных воздействий, а также с увеличением доли отечественных компонентов. В ближайшее время ключевой тенденцией в разработке когерентных оптических систем связи станет все более плотная компоновка электрических и оптических компонентов и необходимость в более высоких уровнях интеграции в электрических и фотонных схемах. Сегодня практически вся компонентная база высокоскоростных когерентных систем связи российского производства изготавливается за границей. Поэтому критически важной задачей, подчеркнул Владимир Трешиков, является создание российской компонентной базы интегральной фотоники.

Из шести секций ВКВО-2023 в кратком обзоре упомянем лишь две: "Волоконно-оптические кабели" (председатель И.А.Овчинникова, ОАО "ВНИИКП") и "Волоконно-оптические системы связи" (председатель О.Е.Наний, МГУ им. М.В.Ломоносова и НТЦ "Т8").

Директор научного направления ОАО "ВНИИКП" И.А.Овчинникова в докладе, подготовленном совместно с П.А.Семеновым, остановилась на надежности ОК. Поскольку основной функцией такого кабеля является передача информационного сигнала, то отказом ОК является обратимое увеличение коэффициента затухания сигнала в ОВ, расположенного в кабеле, сверх установленных в нормативной документации значений,



а предельным состоянием – необратимое увеличение затухания в ОВ и нарушение их оптической целостности в результате деградиционных изменений конструктивных элементов или нарушения условий эксплуатации. При оценке надежности ОК используют ускоренные методы испытаний, длительность которых определяют с помощью закона Аррениуса, а длина образцов выбирается таким образом, чтобы можно было измерять параметры – критерии годности.

Докладчица рассказала о результатах изучения влияния на надежность ОК различных факторов, в частности, агрессивных сред (диоксида азота, озона, аммиака, морской воды) на элементы ОК и кабель в целом, гидрофобных заполнений на упрочняющие нити, первичные и вторичные покрытия ОВ и др.

Д.А.Тарасов, заведующий отделом ОАО "ВНИИКП", сообщил об исследованиях и разработке конструкций кабелей с уменьшенным диаметром двухслойного защитного покрытия оптического волокна. По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что ОВ с диаметром покрытия 250 и 200 мкм обладают схожими характеристиками, за исключением того, что первое лучше сохраняет свои свойства после испытания на совместимость с внутримодульным гидрофобным наполнителем. Различие, вероятно, обусловлено большей толщиной второго (внешнего) слоя защитного покрытия у ОВ диаметром 250 мкм по сравнению с ОВ 200 мкм. Усилие снятия защитного покрытия зависит от внешнего, имеющего большее значение модуля Юнга, слоя покрытия, и именно внешний слой подвержен воздействию гидрофобного наполнителя. Испытания также показали, что микрокабель диаметром 0,6 мм с ОВ диаметром 200 мкм обладает меньшим приростом затухания при испытании на воздействие пониженных температур, что, вероятно, обусловлено меньшим объемом воздействующей на световод полимерной массы, как двухслойного защитного покрытия, так и внешней оболочки ОК, изготовленной из материала на той же основе, что и защитное покрытие, что приводит к меньшим микроизгибам (и, как следствие, оптическим потерям).

Еще один специалист кабельной промышленности – ведущий инженер-технолог завода "Саранскабель-Оптика" И.В.Фролов – рассказал об исследованиях погрешности измерения коэффициента затухания оптических волокон в рефлектометрии временной области. Результаты

исследований показали, что при наложенных ограничениях по соотношению сигнал/шум погрешность определяется степенью коррелированности участков рефлектограммы, определяемой как параметрами прибора, так и биениями двулучепреломления в волокне. При этом при измерении на коротких длинах эти факторы воздействуют в совокупности.

Представители самарской научной школы линейщиков из ПГУТИ – М.В.Дашков, Т.Г.Никулина, С.А.Гаврюшин и А.С.Евтушенко – представили результаты исследований стойкости оптического кабеля облегченной конструкции к воздействию замерзающей воды в микротрубке. Актуальность этой работы не вызывает сомнений в связи со все большим распространением технологии строительства волоконно-оптических линий связи с задувкой ОК в каналы из полимерных микротрубок. Было установлено, что для исследуемого объекта (протяженность 96-волоконного ОК составляла 95 м) действие замерзающей воды в микротрубке на участке длиной 31 см не привело к заметному приросту потерь. В заключение было отмечено, что полученные результаты указывают на необходимость проведения дальнейших испытаний.

На секции "Волоконно-оптические системы связи" было заслушано 20 докладов, причем более половины были подготовлены либо полностью сотрудниками упомянутой выше ГК "Т8", либо с их участием.

В частности, в докладе С.С.Когана, О.Е.Нания и В.Н.Трещикова говорилось о повышении спектральной эффективности и увеличении протяженности высокоскоростных оптических каналов OTN/DWDM. В настоящее время для DWDM-каналов на одной несущей с пропускной способностью 100 Гбит/с и более в основном используются стандартные форматы модуляции типа DP-QPSK, DP-8QAM/16QAM/32QAM/64QAM по каждой из двух поляризаций оптического сигнала. При фиксированном количестве служебных байтов заголовка линейного OTN-сигнала и значении символьной скорости изменение уровня QAM приводит к ступенчатой зависимости спектральной эффективности/пропускной способности системы от дальности передачи. Например, при той же символьной скорости порядка 32 ГБод переход от формата модуляции DP-QPSK для канала 100G к формату модуляции DP-16QAM для канала 200G приводит к уменьшению дальности связи для последнего примерно в четыре раза.

Как было отмечено в докладе, путем к увеличению дальности связи может быть снижение уровня QAM-модуляции (увеличение евклидова расстояния между точками звездной диаграммы) с повышением символьной скорости. Однако рамки стандартной целочисленной QAM (степень двойки) ограничивают оптимизацию дальности при выборе скорости передачи. По стандартам FlexO скорость линейного сигнала можно менять с шагом 5 Гбит/с. На практике пока рассматривают скорости с шагом 50, 100, 150, 200 Гбит/с и т.д.). Использование алгоритма PCS (Probabilistic Constellation Shaping) с вероятностным формированием символов звездной диаграммы сигнала позволяет изменять скорость с определенным шагом (например, 25 или 50 Гбит/с) и оптимизировать (достигать максимальных значений с приближением к пределам Шеннона) дальность связи для каждого значения скорости передачи.

Результаты совместной работы специалистов "Т8" С.С.Когана и С.Н.Лукиных и преподавателей МТУСИ Л.Н.Исаевой и А.В.Лобзова были представлены в докладе на тему "Методы измерения оптического отношения сигнал/шум (OSNR) в высокоскоростных когерентных каналах DWDM ВОСП".

В нем отмечено, что для каналов 10G, частотный спектр которых меньше, чем шаг сетки частот оптических каналов (50 или 100 ГГц), используются внеполосные (out-of-band) методы измерения OSNR без перерыва связи. Но частотный спектр сигналов в когерентных оптических каналах с пропускной способностью 100 Гбит/с и выше обычно намного шире, чем частотный спектр сигнала канала 10G. Это означает, что средняя точка между такими соседними каналами больше не состоит исключительно из шума, а скорее из сигнала вместе с шумом. Таким образом, использование внеполосного метода для высокоскоростных каналов приведет к завышению оценки уровня

шума, а результирующая оценка значения OSNR будет занижена.

Для оптических каналов с пропускной способностью 100G и выше, частотный спектр которых равен или больше, чем стандартный шаг сетки частот оптических каналов 50 или 100 ГГц, производителем метрологического оборудования предложены следующие методы внутриполосного (in-band) измерения OSNR без перерыва связи:

- с разделением оптического сигнала по поляризациям OPS (Optical Polarization Splitting);
- с использованием корреляционной зависимости между компонентами сигнала в пределах оптического спектра канала SCoRM (Spectral Correlation Method).

Однако, как было отмечено в докладе, до сего момента для систем, использующих в сетевой топологии поляризационное мультиплексирование и перестраиваемые оптические мультиплексоры ввода-вывода ROADM, не существует универсального метода измерения внутриполосного значения OSNR в работающих OTN/DWDM-системах, то есть без перерыва связи.

На секции была рассмотрена и такая отчасти футуристическая тема, как беспроводная подводная связь с длиной волны, лежащей в видимом оптическом спектре (гидрооптическая связь). В докладе, представленном сотрудниками АО "Центральное конструкторское бюро морской техники "Рубин" С.А.Павловым и К.В.Беличевой, было отмечено, что такие системы способны обеспечить высокую скорость передачи данных (вплоть до нескольких Гбит/с на дальностях до 10 м и порядка 1 Мбит/с на дальностях до 150 м); имеют сравнительно низкое энергопотребление, мобильны и компактны. Канал гидрооптической связи обладает высокой скрытностью, более того практически отсутствует возможность перехвата сигнала.



Однако, неблагоприятные условия морской среды (сильное поглощение и рассеяние, и в меньшей степени турбулентность) создают большие трудности для использования гидрооптических систем передачи данных и значительно сокращают достижимую дальность связи, что требует эффективных технических решений. Другой весомой проблемой, заметно ограничивающей применение таких систем, является задача строгого ориентирования передатчика относительно приемника, что особенно критично для систем передачи на основе лазера. Как было отмечено в докладе, заметно снизить недостатки гидрооптической связи возможно за счет адаптации способов модуляции для подводного канала связи, в том числе с применением помехоустойчивого кодирования; повышения чувствительности приемников; разработки эффективной системы наведения для установления и удержания связи; построения

и использования адаптивной математической модели для конкретного типа акватории, максимально учитывающей все факторы ослабления и искажения оптического излучения.

Была на ВКВО-2023 поднята в ряде докладов и ставшая "горячей" в этом году тема квантовых коммуникаций, включая квантовое распределение ключей. В частности, доклад И.И.Кореля, Б.Н.Нюшкова и А.В.Иваненко (Новосибирский государственный технический университет, Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирский государственный университет) был посвящен способам генерации и передачи секретного ключа в системах на основе специализированной волоконно-оптической линии связи, представляющей собой длинный волоконный или волоконно-полупроводниковый лазер.

В репортаже использованы фотографии ПАО "ПНППК"

Вузы связи двух столиц интенсифицируют сотрудничество



Ведущие отраслевые университеты Российской Федерации и Республики Беларусь – МТУСИ и Белорусская государственная академия связи (Минск) – запланировали десяток совместных проектов на 2024 год в целях повышения квалификации педагогических кадров и подготовки актуальных специалистов в области связи и ИТ.

Соответствующая дорожная карта была подписана 23 ноября 2023 года в МТУСИ во время визита делегации БГАС во главе с ректором академии Андреем Зеневичем.

"Сегодняшняя встреча знаменует новую веху в развитии российско-белорусского сотрудничества в сфере подготовки профессиональных кадров.

Благодаря усилиям МТУСИ и БГАС страны ежегодно получают высококвалифицированных специалистов в области связи, информационных технологий и кибербезопасности, которые работают в государственных учреждениях, занимают ответственные должности, развивают отрасль телекоммуникаций", – отметил врио ректора МТУСИ Петр Селиванов.

Стороны обсудили реализацию программ "Приглашенный профессор" и академической мобильности, привлечение специалистов для проведения занятий, в том числе в формате удаленного доступа, организацию и проведение мероприятий в целях двустороннего гуманитарного, культурного и молодежного сотрудничества.

Особое внимание представители вузов уделили вопросам научно-технического взаимодействия: участие ученых и студентов в международных конференциях, совместные публикации и вебинары, выполнение научно-технических проектов по самым востребованным направлениям.

"БГАС обладает рядом перспективных научных исследований, по которым хотелось бы найти соприкосновение: наши специалисты проявляют интерес к подводной лазерной связи, квантовым технологиям и киберполигону, который есть в МТУСИ. Помимо этого, необходимо создать эффективную систему студенческой мобильности, чтобы молодежь изучала актуальные курсы, набиралась опыта, затем приходила преподавать", – подчеркнул ректор БГАС Андрей Зеневич.

По завершении деловой встречи делегация БГАС посетила центры перспективных технологий МТУСИ: первый в России киберполигон с функционалом квантового распределения ключей, Центр робототехники, первый в России учебный центр по подготовке специалистов для работы в сетях 5 и 6 поколений связи "Мастерская Лубан" и Квантовый центр.

Коллаборация МТУСИ и БГАС позволит повысить практический уровень подготовки студентов, развить дополнительные компетенции у педагогических кадров, создать новые разработки по самым актуальным направлениям.

По информации МТУСИ