

## ОСМЫСЛЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОШЕДШЕЕ: ПОДВОДЯ ИТОГИ КОНФЕРЕНЦИИ «ОПТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ–2018»

Ю.А. Константинов, *Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН*

Е.Ю. Филиппова, *Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН*

Р.И. Петрова, *Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН*

Представлены результаты 2-й Всероссийской конференции «Оптическая рефлектометрия–2018», состоявшейся 29–31 мая 2018 г. в г. Перми по инициативе Лаборатории фотоники ПФИЦ УрО РАН. Описаны ключевые содержательные аспекты прошедшего мероприятия, включая представленные ведущие научные школы, тематическую повестку секционных заседаний и базовую статистическую информацию о конференции. Дается представление об оптической рефлектометрии как научном направлении, адаптированное для специалистов нетехнических специальностей. Это позволяет читателю ознакомиться с итогами прошедшей конференции в форме, интегрированной с полученным первичным представлением об описываемом научном направлении. В заключении статьи авторы делают выводы о проблемах и перспективах состоявшегося мероприятия в частности и оптической рефлектометрии в России в целом.

**Ключевые слова:** *оптическая рефлектометрия, фотоника, Всероссийская конференция.*

29–31 мая 2018 года в Перми состоялась 2-я Всероссийская конференция «Оптическая рефлектометрия-2018». Конференция была инициирована Лабораторией фотоники Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН и проведена при непосредственном участии подразделений этого учреждения. Оптическая рефлектометрия как исследовательское направление находится на стыке многих технических, физико-математических, других естественно-научных дисциплин, связанных с оптикой и фотоникой, и глубоко интегрируется в нефтегазовую промышленность, горное дело, авиацию, механику, строительство и многие другие

отрасли. Формально под оптической рефлектометрией можно понимать любое зондирование импульсным или непрерывным излучением какой-либо среды или объектов с целью исследования параметров отраженных и/или обратно-рассеянных сигналов для дальнейшего получения информации об объекте. В более узком, научно-практическом смысле под данным термином обычно понимают направление инфракрасного сигнала в оптическое волокно (волоконный световод) для полного исследования его внутренней структуры. Несколько организаций в нашей стране (в том числе пермский кластер «Фотоника») изучают и применяют на практике методы изготовления сверх-

сложных как с технологической, так и с конструкционной точки зрения специальных волоконных световодов, которые должны соответствовать повышенным требованиям по пространственной однородности (многие модификации таких волокон применяются в бортовых сетях летательных аппаратов и морских судов, а также иной специальной технике, от работоспособности которой зависит безопасность людей) [7; 8].

Поскольку волокно очень часто используют не только для передачи сигнала, но и в качестве сенсора [9; 10; 11], своего рода «оптического нерва» (датчика физических величин), то все воздействия на него от исследуемого объекта (трубопровода, моста, авиадвигателя, оживленной автотрассы, нагретого или деформируемого композитного материала и т.д.) передаются его (волокна) конструкции, а значит, есть возможность измерения величин воздействий.

Но почему именно рефлектометрия выступает предпочтительным методом исследования? Почему нельзя просто просветить интересующий объект и получить свет «на выходе», а затем исследовать именно его? Ответ прост. Человеку всегда было интересно то, что скрыто: обратная сторона Луны, Марианская впадина... Внутренние органы живого человека, в конце концов, тоже необходимо неdestructивно изучать, чтобы исследовать на предмет болезни. Иначе говоря, оптимальным

вариантом было бы не только получение факта нахождения какого-либо объекта в изучаемом предмете, но и определение его локации (координаты). Оптическая рефлектометрия в простейшем и классическом своем представлении, сформировавшемся в 80-х годах прошлого столетия, представляет собой изучение временной развертки сигнала, вернувшегося из исследуемого объекта (волокна) на регистрирующее устройство. В самом тривиальном случае данная временная развертка легко преобразуется в пространственную (поскольку известна средняя скорость света в изучаемой среде), и если, скажем, 1 км волокна (тончайшего «волоска» со световедущей жилой в 7 мкм) интегрирован в какой-либо инженерный объект, то поля температур и деформаций данного объекта во всем его объеме или по всей поверхности могут стать известны с точностью от сантиметров до микрон. Подобный случай представлен приглашенным докладчиком конференции Йеном Шеннаном (рисунок).

Рефлектометрия позволяет получить аналогичные профили для температур, вибраций, а также параметры функционирования оптических линий связи, которые в данный момент без преувеличения уже опутали весь мир. В годы становления волоконной оптики это направление было главным и почти единственным применением методов рефлектометрии.



Strain Measured with HD-FOS on Surface of Blade Under Load

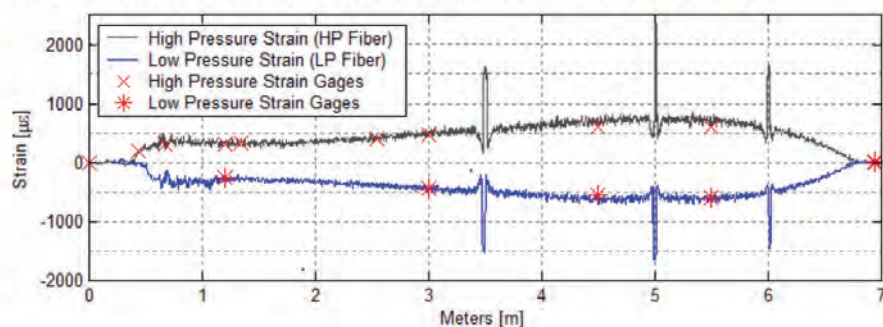


Рис. Распределение механических напряжений в лопасти ветряка, полученное методом оптической рефлектометрии специалистами Luna Innovations (США) [2]

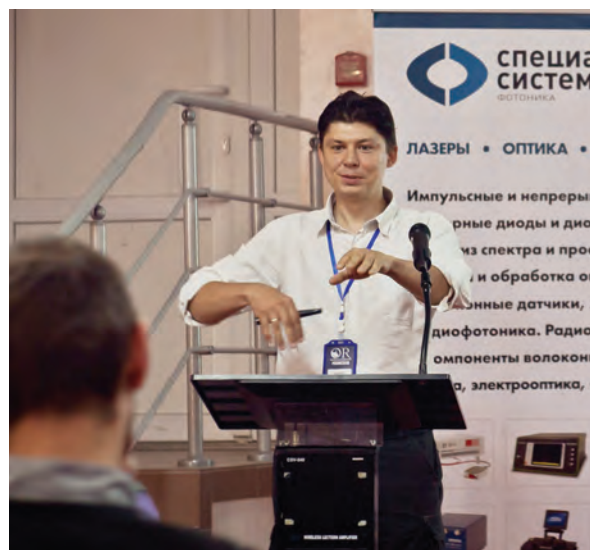
**НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ,  
ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ НА КОНФЕРЕНЦИИ**

Уже второй раз одну из главных научных школ конференции представляет ведущий научный сотрудник Института общей физики РАН им. Прохорова доктор технических наук Борис Георгиевич Горшков со своей командой. Борис Георгиевич – один из немногих исследователей в стране, кто обладает одновременно серьезными фундаментальными и практическими успехами в области оптической рефлектометрии. Основное направление работ Б.Г. Горшкова, связанных с тематикой конференции, лежит в области распределенных волоконно-оптических датчиков, основанных на рассеянии Рэлея, Бриллюэна и Рамана [6]. Борис Георгиевич в самом начале конференции подчеркнул, что предыдущее мероприятие (Конференция «Оптическая рефлектометрия-2016», также прошедшая в Перми) дало серьезный толчок к исследованиям в его исследовательской группе. Этому был посвящен его доклад «Новое в физике рэлеевского рассеяния: инициировано конференцией «Оптическая рефлектометрия-2016».

Вторая научная школа, также выступающая традиционным гостем конференции, представлена профессорами, докторами технических наук Владимиром Александровичем Бурдиным и Антоном Владимировичем Бурдиным, а также доцентом, кандидатом технических наук Михаилом Викторовичем Дашковым (все – Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара). Данная команда исследователей сконцентрировала свое внимание на изучении линий связи [1]. Представленная научная школа тематически связана также с областью распределенной сенсорики, в рамках которой на конференции выступил М.В. Дашков с докладами «Поляризационная рефлектометрия оптических волокон: физические основы, методы и приложения» и «Система распределенного контроля вибрационных воздействий на оптическом кабеле».

Также необходимо отметить, что в очередной раз на конференцию приезжают представители американской компании Luna Innovations – одной из родоначальников весьма сложной как с научной, так и практической точки зрения техник – высокоразрешающей рефлектометрии частотной области. Доклад соавторов доктора Брайана Соллера и Йена Шеннана «Optical frequency domain reflectometry (OFDR), high resolution analysis of fiber optic components assemblies and network» («Рефлектометрия частотной области, высокоразрешающий анализ схем на оптических компонентах и сетей») озвучил признанный практик мистер Шеннан, ныне возглавляющий европейское отделение организации. В докладе было уделено внимание и исследованию поляризационных свойств оптических волокон, что представляется чрезвычайно практически ценным для представителей пермского кластера «Фотоника», в который входит и Лаборатория фотоники Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

Важно отметить, что Пермская научная школа по оптической рефлектометрии находится в процессе становления. Но, несмотря на то что она является лишь одним из направлений работы Лаборатории фотоники, можно заметить некий прогресс по



*Выступает Михаил Викторович Дашков*



сравнению с предыдущим мероприятием. Так, к 2016 году работы Лаборатории фотоники в основном представляли собой обработку сигналов, полученных с коммерческих приборов обратного рассеяния, либо на стендах, имеющих мало общего с законченными системами [3; 4; 5]. На конференции 2018 года командой лаборатории презентован уже собственный рефлектометр, созданный в основном из отечественных компонентов, часть из которых произведена в Перми.



*Команды по боулингу среди ученых*

Завершая описание научных школ, представленных на конференции, отметим, что в программный комитет мероприятия также вошли известные исследователи: профессор, кандидат физико-математических наук Андрей Александрович Фотиади (Университет города Монс, Бельгия), ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук Михаил Иванович Беловолов (Научный центр волоконной оптики РАН, Москва) и другие признанные ученые.

#### **О ПОВЕСТКЕ ПЛОЩАДОК МЕРОПРИЯТИЯ**

Конференция была разделена на три секции: «Секция А: Распределенные датчики и методы исследования элементов волоконной и интегральной оптики», «Секция В: Общие вопросы волоконной оптики, метрологии и сенсорики» и «Секция С: Стендовая». «Секция А» была фактически главной, заняла полтора первых дня и содержала все приглашенные доклады конференции. Кроме этого,

в секционных презентациях были представлены основные научные результаты московской, самарской и других научных школ. Несколько докладов сделала омская команда исследователей, уже во второй раз запоминающаяся обилием интересных экспериментальных данных, а также три пермские работы, представляющие Лабораторию фотоники и Горный институт ПФИЦ УрО РАН, ПАО «ПНППК» и «Пермские нанотехнологии». В «Секции В» и стендовой «Секции С» внимание было уделено докладчикам из Санкт-Петербурга, Казани, Омска и других городов.

Изначально организаторами конференции было сделано предположение, что многие обсуждаемые на мероприятии направления развиваются недостаточно динамично, поскольку отдельные малые исследовательские группы из разных городов просто незнакомы и между ними отсутствуют не то что командные, но иногда и просто дружеские связи. С целью решения именно этой проблемы в завершение второго дня конференции в рамках культурной программы был предусмотрен чемпионат по боулингу среди ученых, занимающихся оптической рефлектометрией. Команды формировались с элементом случайности, поэтому данные меры в весомой степени способствовали неформальному общению разных групп разработчиков.

В третий день конференции был проведен круглый стол «Актуальные проблемы рефлектометрии и оптоэлектронной отрасли России».

Встреча была организована по принципу ответа на вопросы тремя экспертами-спикерами, после чего микрофон передавался в зал для дополнительных вопросов и диалога. Три эксперта представляли три вида деятельности: доктор технических наук Б.Г. Горшков – академическую науку; специалист компании «Саранскабель-оптика» И.В. Фролов «отвечал» за производство компонентов; кандидат физико-математических наук С.В. Архипов

из компании «Специальные системы. Фотоника» (г. Санкт-Петербург) был приглашен для ответов на вопросы эксплуатационного и коммерческого взаимодействия.

Первые вопросы, заданные экспертам, были связаны с местом России среди стран-разработчиков рефлектометров. В ходе дебатов собеседники выясняли, что мешает нашей стране выйти на конкурентоспособные позиции в мире – падение уровня образования, инженерный консерватизм, неразвитая коммерческая жила российских разработчиков? Затронули и важную для Пермского края тему – возможна ли отечественная элементная база для построения рефлектометрических систем? Известным является факт, что многие оптоэлектронные компоненты начинают производиться в РФ, в том числе и в нашем регионе, но открытым вопросом оставалось то, какие еще ключевые технологии и компоненты нужны для рывка? Также был рассмотрен случай перехода от макета или стенда к готовому изделию, его особенности и трудности. Не обошли вниманием собеседники и сложности стандартизации и сертификации в рефлектометрии.

Важным дискуссионным блоком в ходе проведения круглого стола стал вопрос о техническом образовании в России, его проблемах и перспективах. Участники обсуждали вопросы о профильных кафедрах, методическом сопровождении образовательного процесса, рекрутировании в отрасль новых кадров и об уровне выпускаемых специалистов. Последний вопрос породил длительную дискуссию: одни спикеры настаивали на повсеместном низком уровне подготовки молодых специалистов – выпускников вузов не только в региональных, но и в столичных образовательных учреждениях. Другие спикеры, напротив, отстаивали точку зрения о том, что системность обсуждаемой проблемы не должна означать экстраполяцию ее эффектов на всех выпускников профильных специальностей – российские вузы

сегодня способны выпускать качественных специалистов.

Принимая во внимание, что любой дискуссионный вопрос неизбежно влечет за собой наличие разных точек зрения, важность состоявшегося круглого стола не вызывает сомнений. Несмотря на то, что «здесь и сейчас» не просто решить, но и найти конвенциональный, единственно возможный вариант решения существующих проблем не представляется возможным, конструктивная дискуссия оказывается важной сама по себе. Коллективное обсуждение проблемных тематических участков позволяет сделать первые, необходимые шаги на пути к пониманию процесса их преодоления.



*Круглый стол «Актуальные проблемы рефлектометрии и оптоэлектронной отрасли России»*

#### РЕЗЮМИРУЯ ИЗЛОЖЕННОЕ И ПОДВОДЯ ИТОГИ

На конференции присутствовало более 70 слушателей, прозвучало 37 докладов. Эти цифры незначительно, но все же уступают предыдущей конференции, чему есть вполне рациональное объяснение: на первом мероприятии, состоявшемся в 2016 году, исследователи презентовали работы, продолжительность которых можно оценить в 5 и более лет. Таким образом, в стране присутствует как раз около 35-40 научных групп, которые динамично развиваются и могут стабильно презентовать весомые результаты. Но, как было отмечено программным комитетом после круглого стола «Актуальные проблемы рефлектометрии и оптоэлектронной отрасли России», состоявшегося в рамках

конференции, абсолютно не присутствуют заказчики подобных технологий – крупные приборостроительные, газовые и нефтяные компании. Проектам по оптической рефлектометрии, несмотря на все их прорывные особенности, чрезвычайно сложно получить финансирование от фондов, а крупные компании, которые могут быть заинтересованы в подобных результатах, отделены завесой консерватизма от подобных технологий. Эту завесу может преодолеть следующая конференция.

Необходимо отметить, что организаторами самого первого мероприятия 2016 года были разосланы письма в крупнейшие компании России, но положительного эффекта получено не было. Возможно, как предположили члены программного комитета, в популяризационных целях необходимо некоторым образом скорректировать будущее название или ключевые темы конференции,

уйдя от чисто физической терминологии и добавив сугубо прикладное слово «сенсорика». Это может дать хоть какой-то отклик от подобных корпораций. В целом, конференция признана успешной, вследствие чего было принято положительное решение о возможности ее проведения в 2020 году. Некоторые работы будут рекомендованы программным комитетом для публикации в журналах, являющихся информационными партнерами конференции: «Прикладная фотоника» (г. Пермь), «Фотоника» и «Фотон-экспресс» (оба – г. Москва).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Организаторы благодарят своего генерального спонсора – компанию «Специальные системы. Фотоника» (г. Санкт-Петербург), а также Министерство образования и науки Пермского края за предоставленную поддержку.

#### Библиографический список

1. *Бурдин В.А., Даишков М.В., Дмитриев Е.В.*, Локализация нерегулярностей оптического волокна методами поляризационной рефлектометрии // Сб. докл. 1-й Всерос. науч.-практ. конф. «Оптическая рефлектометрия – 2016». – Пермь: Гармония, 2016.
2. Официальный сайт Luna Innovations: <https://lunainc.com/wp-content/uploads/2016/05/CASE-STUDY-HDFOS-for-Wind-Turbine-Blade-Test-May-18th-2016.pdf> (дата обращения 03.06.2018).
3. Применение поляризационной бриллюэновской рефлектометрии для оценки величины распределенного двулучепреломления в анизотропных волоконных световодах / *Смирнов А.С., Бурдин В.В., Елисеев Р.Д., Константинов Ю.А.* // Оптическая рефлектометрия – 2016: сб. тез. докл. Отв. за вып. *А.Г. Вотнинова, Ю.А. Константинов.* – Пермь, 2016. С. 60–61.
4. Разработка метода поляризационной рефлектометрии, применимого для локализации участков изменения состояния поляризации излучения в РМ волокнах / *Смирнов А.С., Барков Ф.Л., Бурдин В.В., Константинов Ю.А., Солдатов П.Н.* // Оптическая рефлектометрия – 2016: сб. тез. докл. Отв. за вып.: *А.Г. Вотнинова, Ю.А. Константинов.* – Пермь, 2016. С. 56–57.
5. Способ корреляционной пост-обработки данных, получаемых с приборов обратного рассеяния / *Смирнов А.С., Барков Ф.Л., Константинов Ю.А., Кривошеев А.И.* // Оптическая рефлектометрия – 2016: сб. тез. докл. Отв. за вып. *А.Г. Вотнинова, Ю.А. Константинов.* – Пермь, 2016. С. 58–59.
6. *Gorshkov V.G., Taranov M.A.* Simultaneous optical fibre strain and temperature measurements in a hybrid distributed sensor based on Rayleigh and Raman scattering *Yjdjvj, Quantum Electron, 2018, 48 (2), 184–187*
7. *Lefevre H.*, The Fiber-Optic Gyroscope, Artech House, 1993.
8. *Константинов Ю.А., Крюков И.И., Первадчук В.П., Торошин А.Ю.*, «Поляризационная рефлектометрия анизотропных волоконных световодов» // Квантовая электроника, 39:11 (2009), 1068–1070 [Quantum Electron., 39:11 (2009), 1068–1070]
9. *Schenato L.A* Review of Distributed Fibre Optic Sensors for Geo-Hydrological Applications. Applied Sciences. 7. 1. 10.3390/app7090896.
10. *Venu Gopal Madhav Annamdas.* Review on Developments in Fiber Optical Sensors and Applications / International // Journal of Materials Engineering 2011; 1(1): 1-16 DOI: 10.5923/j.ijme.20110101.01.
11. *Bao X., Chen L.* Review Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors // Sensors 2012, 12, 8601-8639; doi:10.3390/s120708601.

*НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ, ШКОЛЫ, СЕМИНАРЫ*  
**THE RESULTS OF THE 2-ND ALL-RUSSIA CONFERENCE**  
**«OPTICAL REFLECTOMETRY 2018»**

Yu.A. Konstantinov, E.Yu. Filippova, R.I. Petrova

*Perm Federal Research Centre UB RAS*

The results of the conference held on May 29-31, 2018 in Perm on the initiative of the Photonics Laboratory of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences are presented. The key aspects of the past event are described including the leading scientific schools, themes of sectional meetings and basic statistic information of the conference. The presentation of optical reflectometry as a scientific direction adapted for non-technical specialists is given. This allows the reader to get acquainted with the results of the previous conference, as well as with the received primary idea about the described scientific direction. The authors draw conclusions about the problems and prospects of optical reflectometry in Russia.

*Keywords: optical reflectometry, photonics, all-Russian conference.*

**Сведения об авторах**

*Константинов Юрий Александрович*, кандидат технических наук, научный сотрудник Лаборатории фотоники, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН (ПФИЦ УрО РАН), 614900, г. Пермь, ул. Ленина, 13А; e-mail: yuri.al.konstantinov@ro.ru

*Петрова Регина Игоревна*, начальник научно-организационного отдела, ПФИЦ УрО РАН; e-mail: scienceorg@permisc.ru

*Филиппова Евгения Юрьевна*, специалист научно-организационного отдела ПФИЦ УрО РАН; e-mail: eugenia\_philippova@mail.ru

*Материал поступил в редакцию 14.06.2018 г.*