

КОНТРОЛЬ ВОЛС методом бриллюэновской рефлектометрии: проблемы и возможные решения

А.Кривошеев, м.н.с. Пермского федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) / antokri@ya.ru,

Ф.Барков, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр. ПФИЦ УрО РАН / theodor1@mail.ru,

Ю.Константинов, к.т.н., заведующий лабораторией ПФИЦ УрО РАН / yuri.al.konstantinov@ro.ru

УДК 53.084, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.92.7-8.38.44

Рассмотрена актуальность проблемы контроля состояния волоконно-оптических линий в условиях температурно-деформационных воздействий. Смоделировано влияние погрешности калибровки сенсора ВОЛС и приборной погрешности на точность определения температуры и деформации. Продемонстрирован новый метод постобработки оптического спектра отраженного бриллюэновского излучения, позволяющий получать более точные значения температуры или деформации волокна. Результаты моделирования и эксперимента показали достоверность предлагаемых решений для одновременного контроля температуры и деформации оптического кабеля.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно актуален вопрос температурного и деформационного мониторинга волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Телекоммуникационные рефлектометры временной области (OTDR) позволяют контролировать проблемные участки ВОЛС, но не обеспечивают возможность предупреждения возможных обрывов оптического волокна.

Важная задача контроля состояния ВОЛС – именно обнаружение и предупреждение появления аварийных участков, например, с измененными температурой и натяжением оптического кабеля. Причин может быть множество, в частности, обледенение кабеля в холодное время года, несанкционированный доступ к ВОЛС и др.

Для контроля целостности различных технических систем хорошо зарекомендовали себя распределенные волоконно-оптические датчики. Особенно удобно, когда и контролируемый, и контролирующийся объекты – один и тот же оптический кабель. Разработчики активно ведут исследования по улучшению точности и быстродействия современных

систем распределенного мониторинга. Не остается без внимания и метод бриллюэновской рефлектометрии (BOTDA/BOTDR). Точность определения температуры и деформации напрямую зависит от точности получения бриллюэновского спектра (BGS – Brillouin Gain Spectrum), а также сдвига частоты бриллюэновского спектра (BFS – Brillouin Frequency Shift).

Проблематика описанной задачи охватывает две области работ: первая – раздельное измерение температуры и деформации в одних и тех же точках кабеля, вторая – повышение точности и достоверности сенсорного сигнала в целом.

Решение задачи одновременного и независимого измерения температуры и деформации в оптическом волокне для многих систем мониторинга до сих пор остается достаточно нетривиальным. Современные методы получения информации о температурных и деформационных воздействиях могут включать использование двух различных волокон с записанными в них брэгговскими решетками [1, 2], внесение в конструкцию волоконного световода двух бессердцевинных

волоконных тейперов разного диаметра [3], поляризационно-бриллюэновскую рефлектометрию [4, 5], фазочувствительную рефлектометрию [6], применение волокна с двумя сердцевинами [7], получение рефлектограмм для двух поляризационных мод в волокне, сохраняющем состояние поляризации вводимого излучения, с последующим корреляционным анализом рэлеевского спектра [8]. Характерными являются точностные характеристики в пределах нескольких градусов температуры ($^{\circ}\text{C}$) и нескольких микроstrain ($\mu\epsilon$) деформации.

Помимо упомянутых методов, успешно применяется поляризационная бриллюэновская рефлектометрия. Например, в работах [4, 5] описывается метод анализа динамической акустической решетки в волокне, сохраняющем состояние поляризации, которая генерируется во время вынужденного бриллюэновского рассеяния. Метод сложен с точки зрения аппаратной части сенсора, но обеспечивает высокую точность определения температуры и деформации порядка $0,08^{\circ}\text{C}$ и $3 \mu\epsilon$ соответственно.

Резюмируя представленные методы, необходимо отметить, что для раздельного измерения двух величин нужны два независимых канала с разными откликами на воздействия – это могут быть как два различных телекоммуникационных волокна, так и один световод, поддерживающий две поляризационные моды (например, типа PANDA). Описанные ниже подходы проецируются на оба случая.

Что касается второй задачи (повышение достоверности сигнала сенсора), то точность системы в случае бриллюэновской рефлектометрии напрямую зависит от качества определения BFS. Исследованиям источников шумов, методов шумоподавления и получения более точных данных о BGS и BFS посвящены многочисленные работы [9–20]. Условно можно выделить два основных подхода к получению реального значения BFS.

Первый подход опирается на использование аппаратных мер, как с применением цифровых фильтров, так и обособленно, позволяющих определить максимум BGS при обработанном сигнале. Работы авторов [13, 14, 15 из MDPI] посвящены применению низкочастотной фильтрации сигнала, модуляции интенсивности излучения накачки и зондирующей волны, а также модуляции длины волны зондирующего сигнала. В работах [16, 17] описано успешное применение вейвлет-фильтрации. Эти достаточно эффективные для поставленных задач методы, в то же время слишком сложные для рядового

использования распределенных датчиков в ряде приложений.

Второй подход – реконструкция спектра бриллюэновского рассеяния. В работе [18] представлен вариант на основе аппроксимации спектра при помощи известных аналитических функций. В работе [19] авторы описали использование лоренцевой функции для восстановления BGS, что позволило удвоить точность определения BFS по сравнению с традиционными методами. Тем не менее этот подход ограничен формой спектра рассеяния, поскольку возможные шумы, сбои оцифровки сигнала, фотон-фононные взаимодействия излучения в конкретных волокнах могут приводить к существенным искажениям формы BGS [20, 21].

Настоящая работа посвящена исследованию погрешностей, возникающих при анализе данных, получаемых при помощи рефлектометрических систем, на примере бриллюэновского анализатора, а также новому методу, направленному на борьбу с такими погрешностями.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Как уже отмечалось, направлению одновременного измерения температуры и деформации при помощи оптического волокна посвящено достаточное количество работ. Среди рассматриваемых подходов выделяется общая идея использования двух систем с различными чувствительностями к температуре и деформации.

С этой точки зрения интерес представляет волокно, сохраняющее поляризацию. Такое волокно способно выступать каналом одновременно для двух оптических волн, состояния поляризации которых повернуты относительно друг друга на 90° . При этом волны не будут взаимодействовать друг с другом. Конструкция таких волокон позволяет предположить, что две волны будут отличаться по чувствительности к внешним воздействиям.

Основы бриллюэновской рефлектометрии без использования поляризационной чувствительности изложены в [22].

В общем виде зависимость сдвига бриллюэновского спектра от температуры и деформации можно записать следующим образом:

$$\Delta f = a_1 \Delta T + a_2 \Delta \epsilon, \quad (1)$$

где Δf – величина сдвига бриллюэновского спектра по частоте; $\Delta \epsilon$ – величина изменения деформации волокна; ΔT – величина изменения температуры волокна; a_1 , a_2 – параметры, характеризующие

чувствительность оптического волокна к воздействию температуры и деформации соответственно.

В случае поляризационной бриллюэновской рефлектометрии в распределенном анализе участвуют две спектральные компоненты излучения, соответствующие двум поляризационным осям волокна. При этом у каждой поляризационной оси оптического волокна своя чувствительность к воздействию температуры и деформации. В таком случае выражение (1) можно преобразовать следующим образом:

$$\begin{vmatrix} \Delta f_x \\ \Delta f_y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta T \\ \Delta \epsilon \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где Δf_x и Δf_y – величины сдвига бриллюэновского спектра для каждой поляризационной оси.

Для нахождения коэффициентов чувствительности a_{ij} необходимо провести калибровочный эксперимент для конкретного оптического волокна, поскольку для различных волокон коэффициенты могут отличаться, что приведет к некорректным данным о состоянии оптического кабеля.

В оптическом волокне, сохраняющем состояние поляризации, как уже было сказано, возможно независимое распространение двух оптических волн, состояния поляризации которых повернуты относительно друг друга на 90° . Сохранение стабильности поляризации вводимого излучения поддерживается благодаря наведенному в волокне двулучепреломлению, которое фактически представляет собой разницу показателей преломления двух ортогональных осей в оптическом волокне. Эта разница обеспечивается конструкцией волоконного световода. Типичный порядок величины двулучепреломления для волокон, сохраняющих состояние поляризации, типа PANDA составляет 10^{-4} .

Исходя из вышеуказанного, можно сделать вывод, что весомый вклад в измерение температуры и деформации вносит точность измерительной системы. Точность измерения бриллюэновских сдвигов f_x и f_y определяется рядом факторов [10, 12, 23]. При частотном сканировании спектр подвергается дискретизации, что заведомо вносит ошибку в определение бриллюэновского сдвига частоты. Помимо этого, даже при бесконечно малом шаге сканирования неточность определения максимума бриллюэновского спектра может быть вызвана зашумленностью сигнала. Для увеличения отношения сигнал/шум (SNR) используются различные приемы, например

фильтрация низких частот, модуляция интенсивности волны накачки и зондирующей волны, модуляция длины волны зондирующего сигнала [14, 15, 24].

Наряду с инструментальными погрешностями известен еще один источник ошибок – различие между действительным и расчетным значениями чувствительности оптического волокна к внешним воздействиям. В таком случае даже идеальное определение величины бриллюэновских сдвигов f_x и f_y не даст достоверного результата об истинных температуре и деформации в оптическом волокне.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ КАЛИБРОВОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ

Для оценки влияния ошибок, обусловленных погрешностями, в расчетах был поставлен калибровочный эксперимент с целью нахождения коэффициентов чувствительности a_{ij} . Процедура калибровочного измерения предусматривала два этапа. На первом этапе волокно в свободной намотке прошло термоциклирование с одночасовой выдержкой на температурах 25, 30, 40, 50 и 60°C для двух состояний поляризации. При этом для всей длины волокна снимались показания бриллюэновского сдвига при пространственном разрешении 0,1 м и шаге частотного сканирования в 5 МГц.

На втором этапе часть свободно намотанного волокна была помещена в стенд, обеспечивающий заданные продольные натяжения. На участке волокна 1 м при постоянной температуре окружающей среды 25°C было осуществлено продольное растяжение

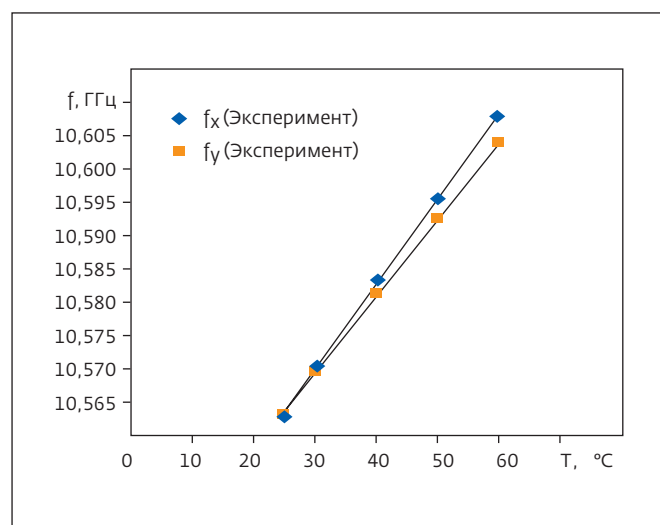


Рис.1. Зависимость бриллюэновских сдвигов от температуры, полученная во время калибровочного эксперимента

с усилиями до 5 Н. На указанном участке волокна также фиксировались бриллюэновские сдвиги f_x и f_y .

На рис.1 представлена зависимость значений бриллюэновских сдвигов f_x и f_y от температуры. Зависимость для опыта с растяжением волокон имеет аналогичный характер, но иной наклон по отношению к оси абсцисс.

По тангенсам угла наклона кривых были получены значения коэффициентов матрицы:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,271 \frac{\text{МГц}}{\text{С}} & 0,043 \frac{\text{МГц}}{\mu\text{Е}} \\ 1,159 \frac{\text{МГц}}{\text{С}} & 0,044 \frac{\text{МГц}}{\mu\text{Е}} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Эксперимент дал понимание того, что матрица (2) невырожденная, а значит, раздельное измерение температуры и деформации ВОЛС таким способом возможно. Предполагается, что при наличии двух разных волокон различие между соответствующими элементами матриц будет еще больше.

Затем было промоделировано влияние возможных погрешностей в определении коэффициентов a_{ij} на ошибку, возникающую при пересчете температуры и деформации. На рис.2 представлена зависимость ошибки в определении температуры от ошибки расчета коэффициентов чувствительности a_{ij} .

Зависимость погрешности определения деформации носит аналогичный характер.

В работе [25] авторы показали также вклад в погрешность измерения шага сканирования измерительного прибора и соотношение сигнал/шум получаемых спектров. По результатам моделирования, даже относительно небольшой шумовой вклад (SNR ~20dB) может приводить к значительным отклонениям показаний прибора. Эта часть погрешности закладывается уже на этапе присвоения калибровочных коэффициентов, а значит, ее вклада в погрешность в описываемом методе разделения температурных и деформационных воздействий не избежать. Второе весомое, но все же контролируемое, слагаемое общей погрешности – непосредственно погрешность измерения для разных методов определения бриллюэновских сдвигов – рассмотрим ниже.

Точность измерений и способ ее повышения

Предположим, что спектр, полученный в результате измерения, в виде дискретного набора выборок, состоящего из $2N+1$ пар $[f_0+i*\Delta f, P_i]$, где i – номер выборки в спектре, изменяющийся от 0 до $2N$; f_0 – минимальная частота спектра; Δf – шаг сканирования частоты, определяемый аппаратной дискретизацией; P_i – зарегистрированная плотность мощности

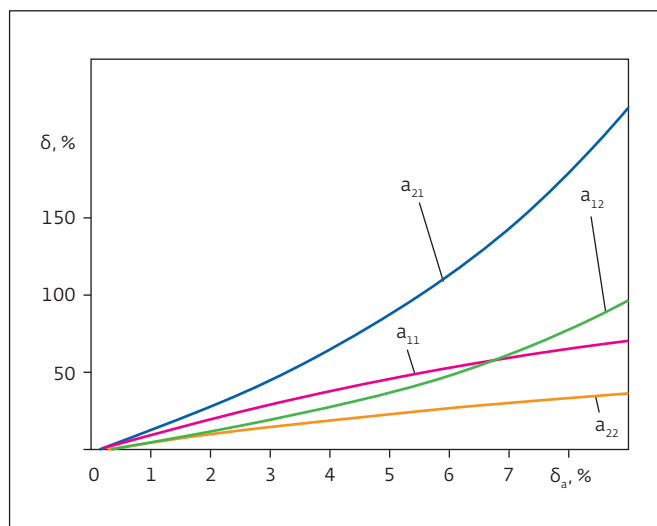


Рис.2. Зависимость погрешности расчетов от погрешности ввода коэффициентов чувствительности

обратного рассеяния на частоте $f_i = f_0 + i*\Delta f$ (рис.3). P_i состоит из двух частей – собственно полезного сигнала и шума: $P_i = P_i^s + P_i^n$. При отсутствии шумовой составляющей, например при $P_i^n = 0$, нахождение максимальной мощности спектра дало бы центральную частоту f_b с точностью до ошибки выборки, которая в среднем составляет $\Delta f / 4$. Однако в работе [25] показано, что наличие даже небольшого шума (SNR <20 дБ) приводит к тому, что погрешность в основном

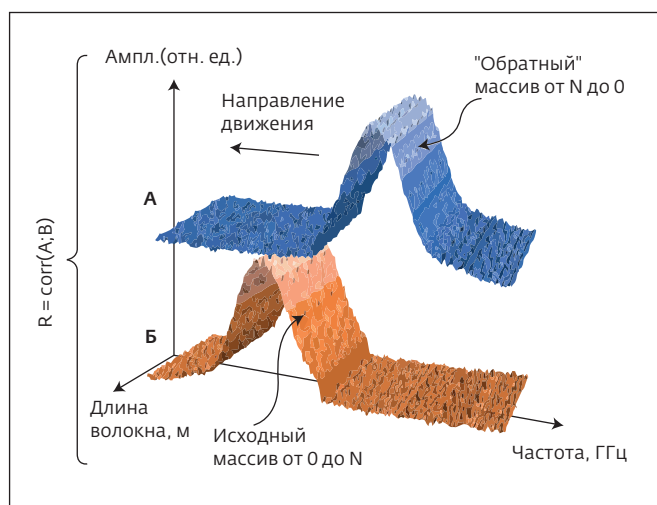


Рис.3. Принципиальная схема на основе реальных данных, описывающая принцип работы нового метода: А – обратный спектр со смещенной копией; Б – прямой спектр с бриллюэновским сдвигом, обнаруженным с помощью процедуры FindMax

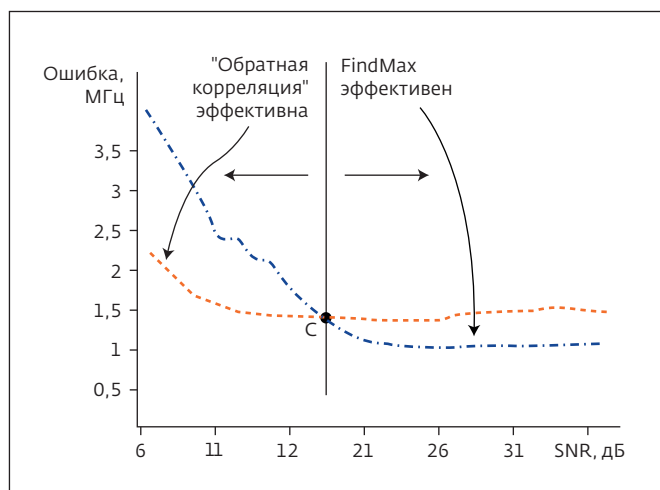


Рис.4. Сравнение двух методов нахождения максимума BGS для шага частотного сканирования 4 МГц: абсолютная погрешность нахождения частоты (МГц) в сравнении с отношением сигнал/шум исходного спектра, дБ

определяется шумом в спектре и слабо уменьшается по мере снижения Δf .

Для оценки эффективности метода была проведена серия численных экспериментов в диапазоне сканирования от 10400 до 10800 МГц. Для данного шага сканирования и соотношения SNR был смоделирован спектр в соответствии с выражением (3). При этом величина R задавалась случайным образом, имитируя шумовую составляющую при получении спектров бриллюэновских сдвигов.

$$P_i = \frac{1}{\pi} \left(\frac{w}{(f_i - f_b)^2 + w^2} \right) + P_i^n, \quad (3)$$

где w – ширина бриллюэновского спектра (при моделировании принимается за постоянную величину 40 МГц); P_i^n – амплитуда шумовой составляющей. P_i^n был выбран случайным образом равномерно в диапазоне R :

$$R \in \left[-\frac{1}{\pi w \cdot \text{SNR}}; \frac{1}{\pi w \cdot \text{SNR}} \right]. \quad (4)$$

Для моделируемого спектра максимум был найден простым методом (по максимуму – FindMax), а также описанным способом (по методу "обратной корреляции"). Разница между фактическим значением BFS и найденными значениями была единичной погрешностью измерения для каждого метода. Затем была выбрана новая центральная частота для каждого спектра, и процесс повторился. Было сгенерировано более 10 тыс. спектров. Результаты

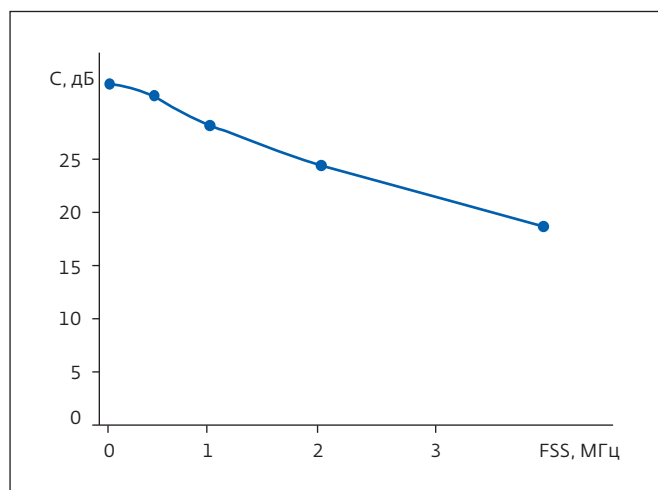


Рис.5. Критический SNR C, dB от шага сканирования, МГц (получено в результате моделирования)

для шага частотного сканирования 4 МГц приведены на рис.4.

Из полученной зависимости видно, что сделанное предположение верно – в целом при низких SNR корреляционный метод дает меньшую погрешность в определении значения сдвига бриллюэновской частоты. Точку пересечения C двух кривых на рис.4 (18 дБ) уместно называть "критическим SNR".

Зависимость "критического SNR" от шага частотного сканирования показана на рис.5. Когда SNR находится ниже критической линии, метод "обратной корреляции" обеспечивает более высокую точность. Из рис.5 следует, что чем меньше шаг сканирования, тем больше диапазон SNR, где корреляционный метод дает лучшие результаты.

В работе [26] представленный способ также сравнивался с методом восстановления спектра по лоренцевой функции и предварительно показал схожую точность регистрации физических величин.

Выводы

В работе рассмотрены и оценены различного рода погрешности, как измерительные, так и инструментальные, которые вносят вклад в точность получения информации о температуре и деформации. Раздельное измерение температуры и деформации с использованием двух измерительных каналов теоретически и практически реализуемо, но при этом большое внимание необходимо уделять калибровочному эксперименту, а именно нахождению калибровочных коэффициентов. Если нет возможности получения этих величин более точным способом, авторы предлагают прибегнуть к более длительному временному или пространственному накоплению.

Первое возможно в условиях соблюдения стабильности всех внешних факторов, второе – в случае оптической однородности сенсора, контролирующего ВОЛС. Второе условие выглядит вполне реализуемым ввиду применения в ВОЛС довольно хорошо известных равномерных волокон, производимых способами OVD/VAD.

Разработанный авторами метод "обратной корреляции", предназначенный для получения точных значений сдвига бриллюэновского спектра с использованием рефлектометров и анализаторов, продемонстрировал свои преимущества перед простейшим способом расчета максимума спектра – как по моделируемым спектрам, так и по данным, полученным в эксперименте. Более того, метод также сравнивался с алгоритмом восстановления спектра по лоренцевой функции и предварительно показал схожую точность регистрации физических величин. Тот факт, что метод эффективен на реальных данных с достаточно высоким уровнем шума, использует типовой алгоритм свертки, скорее всего, указывает на его основную роль в потенциальном удешевлении рефлектометров и бриллюэновских анализаторов, поскольку становится возможным применение менее дорогостоящих фотоприемников и менее производительной вычислительной мощности (ввиду простоты реализации).

Проведенное исследование профинансировано в рамках выполнения государственного задания АААА-А19-П19042590085-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Shishkin V., Terentyev V., Kharenko D., Dostovalov A., Wolf A., Simonov V., Fedotov M., Shienok A., Shelemba I., Babin S.** Experimental Method of Temperature and Strain Discrimination in Polymer Composite Material by Embedded Fiber-Optic Sensors Based on Femtosecond-Inscribed FBGs // *Journal of Sensors*. 2016.
2. **Sivanesan P., Sirkis J., Murata Y., and Buckley S.** Optimal wavelength pair selection and accuracy analysis of dual fiber grating sensors for simultaneously measuring strain and temperature // *Optical Engineering*. 1 October 2002. 41(10).
3. **Andre R.M., Biazoli C.R., Silva S.O., Marques M.B., Cordeiro C.M.B., and Frazao O.** Strain-Temperature Discrimination Using Multimode Interference in Tapered Fiber // *IEEE Photonics Technology Letters*. 15 January 2013. V. 25. No. 2. P. 155-158.
4. **Zou W., He Z., Hotate K.** Complete discrimination of strain and temperature using Brillouin frequency shift and birefringence in a polarization-maintaining fiber // *Optics Express*. 2009. V. 17. P. 1248-1255.
5. **Hotate K., Zou W., Yamashita R. et al.** Distributed discrimination of strain and temperature based on Brillouin dynamic grating in an optical fiber // *Photonic Sens.* 2013. V. 3. P. 332-344.
6. **Froggatt M., Gifford D., Kreger S., Wolfe M., and Soller B.** Distributed Strain and Temperature Discrimination in Unaltered Polarization Maintaining Fiber // *Optical Fiber Sensors*. 23-27 October 2006.
7. **Zaghloul M.A.S., Wang M., Milione G., Li M., Li S., Huang Y., Wang T., Chen K.P.** Discrimination of Temperature and Strain in Brillouin Optical Time Domain Analysis Using a Multicore Optical Fiber // *Sensors*. 2018. V. 18. P. 1176.
8. **Lu X., Soto M., Thévenaz L.** Temperature-strain discrimination in distributed optical fiber sensing using phase-sensitive optical time-domain reflectometry // *Optics Express*. 2017. V. 25. P. 16059.
9. **Urricelqui J., Soto M., Thévenaz L.** Sources of noise in Brillouin optical time-domain analyzers // *Proceedings of the 24th International Conference on Optical Fibre, Sensors, Curitiba, Brazil*. 28 September 2015.
10. **Zheng H., Fang Z., Wang Z., Lu B., Cao Y., Ye Q., Qu R., Cai H.** Brillouin frequency shift of fiber distributed sensors extracted from noisy signals by quadratic fitting // *Sensors*. 2018. V. 18. P. 409.
11. **Zaslowski S., Yang Z., Soto M., Thévenaz L.** Impact of Fitting and Digital Filtering on Signal-to-Noise Ratio and Brillouin Frequency Shift Uncertainty of BOTDA Measurements. *Optical Society of America: Washington, DC, USA*, 2018.
12. **Soto M., Thévenaz L.** Modeling and evaluating the performance of Brillouin distributed optical fiber sensors // *Optics Express*. 2013. V. 21. P. 31347-31366.
13. **Feng C., Preussler S., Kadum J., Schneider T.** Measurement accuracy enhancement via radio frequency filtering in distributed Brillouin sensing // *Sensors*. 2019. V. 19. P. 2878.
14. **Gyger F., Yang Z., Soto M., Yang F., Tow K., Thévenaz L.** High Signal-to-Noise Ratio Stimulated Brillouin Scattering Gain Spectrum Measurement. – *Optical Society of America: Washington, DC, USA*. ThE69, 2018.
15. **Urricelqui J., Sagues M., Loayssa A.** Synthesis of Brillouin frequency shift profiles to compensate non-local effects and Brillouin induced noise in BOTDA sensors // *Opt. Express*. 2014. V. 22.
16. **Feng Z., Gan J., Lv H., Cui L.** Application of wavelet analysis in distributed optical fiber Brillouin temperature strain monitoring system // *IOP conference series. Earth Environ. Sci.* 2018. V. 189.
17. **Zhang Z., Hu W., Yan J., Zhang P.** The research of optical fiber Brillouin spectrum denoising based on

- wavelet transform and neural network // Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2013.
18. **Minardo A., Caccavale M., Coscetta A., Esposito G., Matano F., Sacchi M., Somma R., Zeni G., Zeni L.** Monitoring test of crack opening in volcanic tuff (Coroglio Cliff, Italy) using distributed optical fiber sensor. Geophysics: Principles, Applications and Emerging Technologies. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 2016.
 19. **Feng C., Lu X., Preussler S., Schneider T.** Gain spectrum engineering in distributed Brillouin fiber sensors // Journal of Lightwave Technology. 2019. V. 37. P. 5231–5237.
 20. **Jia X., Rao Y., Wang Z., Zhang W., Ran Z., Deng K., Yang Z.** Non-local effect in Brillouin optical time-domain analyzer based on Raman amplification // Qiangjiguang Yu Lizishu. High power laser and particle Beams. 2012. V. 24. P. 1667–1671.
 21. **Dragic P., Kucera C., Furtick J., Guerrier J., Hawkins T., Ballato J.** Brillouin spectroscopy of a novel barium-doped silica glass optical fiber // Opt. Express. 2013. 21. P. 10924–10941.
 22. **Листвин А.В., Листвин В.Н.** Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРПарт, 2005.
 23. **Zaslowski S., Yang Z., Soto M.A., and Thévenaz L.** Impact of Fitting and Digital Filtering on Signal-to-Noise Ratio and Brillouin Frequency Shift Uncertainty of BOTDA Measurements // Proc. 26th International Conference on Optical Fiber Sensors. 24–28 September 2018.
 24. **Feng C., Preussler S., Emad Kadum J., Schneider T.** Measurement Accuracy Enhancement via Radio Frequency Filtering in Distributed Brillouin Sensing // Sensors. 2019. V. 19. P. 2878.
 25. **Barkov F.L., Yu A., Konstantinov V., Burdin V., Krivosheev A.I.** Theoretical and experimental estimation of the accuracy in simultaneous distributed measurements of temperatures and strains in anisotropic optical fibers using polarization-Brillouin reflectometry // Instrum. Exp. Tech. 2020. V. 20.
 26. **Barkov F.L., Konstantinov Y.A., Krivosheev A.I.** A Novel Method of Spectra Processing for Brillouin Optical Time Domain Reflectometry // Fibers. 2020. V. 8. P. 60.

GSMA признала Tele2 самым быстрорастущим зрелым оператором

"Tele2 Россия" подтвердила свое мировое лидерство по темпам роста: по итогам 2019 года компания показала лучший органический прирост выручки относительно рынка. Заключение сделано на основе банка данных ассоциации GSMA: в исследовании рассматривались 417 операторов по всему миру. В 2015–2019 годах Tele2 демонстрировала среднегодовые темпы роста сервисной выручки в номинальном выражении относительно рынка в 11,4%, что

ставит компанию на первое место по динамике среди мировых операторов.

Среди зрелых операторов Tele2 показывает самую высокую динамику относительно рынка в мире: с 2015 года Tele2 демонстрировала двузначные темпы роста в номинальном выражении. При этом доля оператора на рынке увеличилась в 2015–2019 годах с 11 до 16%. Компания заняла первое место по среднегодовым темпам роста выручки с результатом 11,4%, опередив

на 3,9 п. п. французского оператора Free Mobile и на 4 п. п. – американскую компанию T-Mobile.

Исследование проводилось на основе банка данных GSMA. Эксперты оценивали органический рост в номинальном выражении зрелых операторов: рассматривалось 417 компаний с выручкой более 1 млрд долл. с долей рынка в 2015 году от 10%.

По информации Tele2

В России развернута опытная сеть 5G SA

Ericsson впервые в России развернула e2e-сеть сотовой связи пятого поколения с автономной архитектурой (SA). Сеть развернута на территории центра 5G инноваций, расположенного в штаб-квартире компании в Москве в БЦ Метрополис. Она построена на оборудовании радиодоступа семейства Ericsson Radio System и контейнеризованном ядре и поддерживает частотные диапазоны 2100, 1800, 3500 МГц, в будущем также появится поддержка миллиметрового диапазона. Сеть готова к тестированиям сценариев использования 5G в различных сферах. В качестве абонентского оборудования используется тестовый терминал на базе Qualcomm Snapdragon X55 5G Modem-RF System.

Этот шаг важен для российского рынка с учетом того, что телеком-индустрия уже начинает постепенный переход с NSA на SA-архитектуру 5G.

Сети 5G SA открывают дорогу абсолютно новым сервисам и сценариям применения. Обеспечение одновременного подключения большого количества устройств IoT и низких задержек делает возможным массовый запуск промышленных 5G-сетей, удаленное управление дронами, проведение удаленных операций в медицине и другие инновационные сценарии использования 5G", – отметил директор по развитию бизнеса компании Qualcomm Europe Inc. Сергей Коробов.

Автономная архитектура сетей 5G – это архитектура, в рамках которой реализовано непосредственное подключение базовых станций NR к ядру сети нового поколения (NG Core). По сравнению с Non-Standalone (NSA), 5G Standalone (SA) демонстрирует преимущества в пропускной способности канала от пользователя к сети, сквозной задержке (e2e latency) и граничных вычислениях (edge computing).

По информации компаний Ericsson и Qualcomm

По информации компаний Ericsson и Qualcomm

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

Министерство промышленности,
связи, цифрового и
научно-технического развития
Омской области

Администрация города Омска

Межрегиональная ассоциация
«Сибирское соглашение»

Омская ТПП

НП «Сибирское машиностроение»

Союз машиностроителей России

3 - 4 марта 2021 ОМСК



СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО- ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ПРОМТЕХЭКСПО

В ЭКСПОЗИЦИИ ФОРУМА:

АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРЕНИЯ

СВЯЗЬ

IT-ТЕХНОЛОГИИ

ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

МЕТАЛООБРАБОТКА

СВАРКА

ЭНЕРГОСИБ, СИБМАШТЭК

ИНЭКСПО

МВЦ «ИНТЕРСИБ», ВК «ОМСК_ЭКСПО»

Тел./факс: +7 (3812) 22-04-59; 23-23-30; 22-01-59

E-mail: expo@intersib.ru

www.intersib.ru