- 11. Neganov V.A., Osipov O.V. *Otrazhajushhie, volnovedushhie i izluchajushhie struktury s kiral'nymi jelementami* [The reflecting, waveguiding and radiating structures with chiral elements]. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 2006. 280 p.
- Osipov O.V., Panferova T.A. Approximate boundary conditions for thin chiral layers with curvilinear surfaces. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2010, vol. 55, no. 5, pp. 532-534. doi: 10.1134/S1064226910050086.

Received 02.06.2017

## ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.39

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Глаголев С.Ф.<sup>1</sup>, Дашков М.В.<sup>2</sup>, Дюбов А.С.<sup>1</sup>, Хричков В.А.<sup>1</sup> <sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича <sup>2</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики E-mail: glagolevsf@yandex.ru

В работе рассматривается возможность развития метода оптической рефлектометрии путем использования зондирующих сигналов спектра видимого диапазона. Предлагаемое усовершенствование оказывается полезным при создании приборов, ориентированных на измерения коротких участков оптических линий. Сформулированы требования к параметрам специализированных рефлектометров, использующих для измерения длину волны 650 нм. Разработана структурная схема прибора и сформулированы требования к аппаратной части рефлектометра. При этом в качестве фотоприемников предполагается использовать высокоэффективные кремниевые лавинные фотодиоды, которые отличаются высокой чувствительностью, линейностью и малым уровнем шумов. Проведено математическое моделирование процесса формирования и распространения сигнала обратного рассеяния. Результаты моделирования доказывают возможность применения оптического рефлектометра, работающего в видимой области спектра, для измерения параметров оптического тракта абонентских сетей доступа.

*Ключевые слова:* оптическое волокно, оптическая рефлектометрия, сигнал обратного рассеяния, зондирующий сигнал видимого диапазона

#### Введение

Использование кварцевых одномодовых ОВ в телекоммуникациях до настоящего времени ограничивалось «прозвонкой» волокон и поиском дефектов монтажа ОВ в оптических кроссах. Их использование считалось неперспективным из-за большого коэффициента затухания в видимой области спектра. Отметим, что наряду с волоконнооптическими сетями (ВОС) большой протяженности существуют сети или участки сетей малой протяженности, для которых относительно большой коэффициент затухания не является критичным. К ним относятся абонентские участки сетей широкополосного доступа, большая часть локальных сетей, включая сенсорные и технологические сети, в том числе бортовые системы связи и передачи данных. Видимое излучение может найти применение во внутренних сетях центров обработки данных (ЦОД) и дата-центрах.

Остановимся на одном из перспективных применений видимого излучения при рефлектометрическом контроле параметров пассивных оптических сетей (PON) с технологиями GPON и EPON [1]. При строительстве и эксплуатации PON для тестирования магистральных участков оптических линейных трактов (ОЛТ) от оконечного линейного терминала (OLT) до сплиттера используют универсальные оптические рефлектометры (OP), подключаемые в OLT. Магистральные участки PON содержат сравнительно малое (одно на 32 ... 64 абонента) количество оптических волокон (OB), отличаются высокой надежностью, редко выходят из строя. Гораздо сложнее из OLT контролировать состояние многочисленных абонентских участков (АУ). Это обусловлено не только большим затуханием в сплиттерах, но и тем, что сигналы обратного рассеяния (СОР) от всех АУ складываются и выделить СОР от конкретного абонента практически невозможно [1].

Большая часть неисправностей в сетях PON возникает именно на АУ, которые имеют низкие показатели надежности, подвержены несанкционированному доступу и вандализму. Для локализации неисправностей на АУ также необходимо использовать ОР, который можно подключать непосредственно у абонента или в месте расположения сплиттера. Работы по инсталляции сети PON у абонента и проведение ремонтных и профилактических работ выполняют работники средней квалификации: монтажники, ремонтники и инсталляторы. Предоставлять им для этого дорогие универсальные и сложные в использовании ОР нецелесообразно. Возникает потребность в специализированном простом, компактном и дешевом ОР монтажника и ремонтника.

Для такого ОР можно использовать источники видимого излучения. При этом большое затухание в видимой области спектра, обусловленное рэлеевским рассеянием, может быть полезным в оптической рефлектометрии кварцевых ОВ относительно небольшой протяженности, так как СОР сильно возрастает. Кроме того, такой ОР позволяет не только регистрировать рефлектограммы, но и визуализировать изгибы, трещины и некачественные стыки в ОВ.

#### Выбор параметров ОР для сети РОМ

Разрабатываемый ОР предназначен для работы на абонентских участках сети PON, которые соединяют абонента со сплиттером. Такие участки для PON в многоквартирных домах имеют длину 10 ... 100 м, а протяженность абонентских участков в коттеджных поселках не превышает 500 м. Поэтому выбираем максимальное расстояние L = 512 м. Разрешающую способность (интервал между отсчетами) желательно иметь менее  $\Delta L = 1$  м. Ее можно обеспечить при длительности тактового интервала между отсчетами до 10 нс. Примем  $\Delta t = 2,5$  нс, а длительность зондирующего импульса  $t_{\mu}$  =5 нс. В качестве излучателя для ОР предлагается использовать лазерный диод (ЛД) с длиной волны  $\lambda = 650$  нм (красное излучение). Это позволяет увеличить СОР в 32 раза (динамический диапазон при этом возрастает на 7,5 дБ) по сравнению с ОР, работающим на длине 1550 нм. Переход в видимую область спектра позволяет в качестве фотоприемников использовать высокоэффективные кремниевые лавинные фотодиоды (ЛФД), которые отличаются высокой чувствительностью, линейностью и малым уровнем шумов.

#### Структурная схема специализированного ОР

Практически все схемы современных ОР используют быстродействующие аналого-цифровые преобразователи с большим количеством разрядов и параллельное накопление СОР во многих точках [2-4]. Такое техническое решение обеспечивает высокую точность регистрации СОР, высокое разрешение по расстоянию и по шкале затухания. Однако это техническое решение требует использования дорогостоящей высокочастотной элементной базы, которая имеет значительное энергопотребление.

В данной работе предлагается структурная схема (см. рис. 1) специализированного недорогого ОР с малым энергопотреблением и последовательным накоплением СОР. Для уменьшения энергопотребления ОР работает в двух режимах: регистрации рефлектограммы и ее отображения. Рассмотрим режим регистрации рефлектограммы.

Схема ОР содержит генератор тактовых импульсов (ГТИ), который в режиме регистрации имеет частоту  $f_1 = 400$  МГц. При этом длительность такта  $\Delta t = 2,5$  нс ( $\Delta l = 0,25$  м). С помощью двоичного счетчика СЧ1 с емкостью равной  $C_1 =$ 2048 на шине адреса ША1 формируется код адреса ячейки памяти, в которой накапливается СОР от одной точки. Зондирующий импульс длительностью  $t_u = 5$  нс формируется на выходе СЧ1 с помощью формирователя зондирующих импульсов (ФЗИ) и поступает на источник излучения – лазерный диод (ЛД).

Период следования зондирующих импульсов составляет  $T_u = \Delta t C_1 = 5.12$  мкс, а максимальное расстояние по рефлектограмме –  $L_{max} = 512$  м. Зондирующий импульс от ЛД через направленный ответвитель (НО) или оптический циркулятор поступает в исследуемый волоконно-оптический тракт (ВТ). Двоичный счетчик СЧ2 определяет количество накоплений сигнала N в одной точке рефлектограммы. Например, его можно установить с помощью устройства управления (УУ) равным  $C_2 = N = 256$ .

Сигнал с СЧ2 поступает на двоичный счетчик СЧ3, аналогичный счетчику СЧ1. Процесс регистрации рефлектограммы заканчивается с появлением импульса «строб 2» на выходе СЧ3. Общее время регистрации рефлектограммы составляет



Рис. 1. Структурная схема специализированного ОР с последовательным накоплением

$$T_{reg} = C_1^2 C_2 / f = 2,68 \text{ c.}$$
(1)

СОР из ВТ через НО или циркулятор поступает на фотоприемное устройство (ФПУ), преобразуется в электрическое напряжение и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразующий напряжение СОР в цифровой код на шине данных ШД1 в момент прихода строб-импульса (строб 1, который формируется в цифровом компараторе в тот момент, когда код на шине адреса ША1 совпадет с кодом адреса на шине ША2).

Функции накопления СОР выполняет накопитель (НАК), который запускается оператором с клавиатуры устройства управления (УУ) командой «Пуск» и на который поступают коды с шины данных ШД1 и шины адреса ША1, а также строб-импульс. Окончание этого режима происходит при появлении импульса на выходе счетчика СЧЗ (строб 2).

В режиме регистрации НАК выполняет следующие операции.

1. Очистка памяти накопителя.

2. Подача на один вход сумматора кода АЦП с шины данных (ШД1).

3. Извлечение из памяти накопителя кода, записанного в ячейку с адресом, соответствующим коду на шине адреса ША1, и подача его на второй вход сумматора.

4. Суммирование кодов и помещение результата суммирования в ячейку памяти накопителя с тем же адресом. 5. Повторение действий п.п. 1-4 до появления импульса на выходе СЧЗ и переключение ОР в режим отображения.

Для экономии электроэнергии в режиме регистрации устройство управления (УУ) отключает дисплей (Дисп) и схему цифровой обработки сигналов (ЦОС).

В режиме отображения для экономии электроэнергии устройство управления отключает счетчики СЧ2 и СЧ3, источник излучения ЛД и схему ФЗИ, а также переключает частоту ГТИ на меньшее значение  $f_2 = 200$  кГц. Тогда частота смены кадров

$$f_k = f_2 / C_1 = 97,6$$
 Гц. (2)

После завершения накопления СОР схема цифровой обработки (ЦОС) выполняет операцию логарифмирования всех значений СОР из памяти НАК и помещает результаты в память дисплея, которая содержит информацию о ранее зарегистрированных рефлектограммах. Основными функциями ОР в режиме отображения являются: вывод рефлектограмм на дисплей, управление изображением и курсорами на экране с помощью клавиатуры, подключенной к УУ. Управление узлами ОР осуществляется по шине управления (ШУ).

### Математическая модель сигнала обратного рассеяния в неоднородной ВОС

Моделируемый ОР является цифровым измерительным прибором, который регистрирует рефлектограмму, то есть СОР, в последовательно расположенных точках ВТ. Каждая *i*-ая точка характеризуется мощностью  $P_i$  СОР и расстоянием  $l_i$  до нее. Максимальный интервал дискретизации определяется длительностью зондирующего импульса  $T_u$ . Выбираем количество точек с некоторой избыточностью

$$M_t = T_\mu k_{\rm iz} / t_\mu \,. \tag{3}$$

Принимая  $k_{iz} = 2$  и учитывая, что в схеме ОР удобно использовать двоичные счетчики импульсов, принимаем  $M_t = C_1 = 2048$  точек. Введение избыточности позволяет уменьшить погрешность регистрации за счет цифровой обработки СОР.

При моделировании СОР рефлектограмма от ОВ длиной  $l_m$ , содержащая одну отражающую неоднородность на расстоянии  $l_n$ , разбивалась на 6 участков. Рассмотрим выражения для фрагмента рефлектограммы, содержащего неоднородность с коэффициентом отражения r и вносимыми потерями  $a_c$ .

Мощность СОР в *i*-ой точке рефлектограммы без учета шумов ФПУ может быть рассчитана по следующим выражениям:

– на участке до стыка, расположенного на расстоянии  $l_n$  при  $\Delta l i/k_{iz} < l_n$ :

$$P_i = P_0 \,\alpha_s \, G \,\Delta l \cdot 10^{\frac{\alpha \cdot \Delta l \cdot i}{5 \cdot k_{iz}}}; \tag{4}$$

— на участке в пределах стыка, для которого  $l_n < \Delta l \ i/k_{iz} < l_n + \Delta l$  :

$$P_{i} = P_{0} \quad 10^{\frac{\alpha \cdot l_{n}}{5}} \left\{ \alpha_{s} \ G \ \Delta l \cdot 10^{\frac{-\alpha (\Delta l \cdot l/k_{iz} - l_{n})}{5}} \times \left[ 1 - \frac{\Delta l \ i/k_{iz} - l_{n}}{\Delta l} \left[ 1 - 10^{\frac{-a_{c}}{5}} \right] \right] + r \right\};$$

$$(5)$$

— на участке после стыка, для которого  $\Delta l \cdot i/k_{iz} > l_n + \Delta l$ :

$$P_i = P_0 \,\alpha_s \, G \,\Delta l \cdot 10^{\frac{a_c + \alpha \cdot \Delta l \cdot i/k_{iz}}{5}}.$$
 (6)

Уровень СОР определяется в дБм

$$Y_i = 5 \lg \left( P_i / 1 \operatorname{MBT} \right). \tag{7}$$

Полагаем, что ФПУ состоит из усилителя фототока (УФТ) и усилителя напряжения (УН) с коэффициентом усиления  $K_y$ . УФТ выполнен по трансимпедансной схеме на основе операционного усилителя (ОУ) с резистором *R* в цепи обратной связи. Шумами УН пренебрегаем, полагая, что шум ФПУ обусловлен дробовым током ЛФД с учетом лавины, тепловыми шумами резистора *R*, шумовым током ОУ [2-4]. Запишем выражение для дисперсии шумового тока ЛФД для *i*-ой точ-ки рефлектограммы

$$I_{n_{i}}^{2} = \left\{ 2e \left[ (I_{iy} + SP_{i})M^{2}F(M) + I_{iu} \right] + S_{Iy} + 4 k T_{a}/R \right\} \Delta F, \qquad (8)$$

где е = 1.6 10<sup>-19</sup> Кл – заряд электрона;  $T_a$  – абсолютная температура; k = 1,38 10<sup>-23</sup> Дж/К – постоянная Больцмана;  $I_{ty}$  – умножаемая часть темнового тока ЛФД без учета лавины;  $I_{tu}$  – неумножаемая часть темнового тока ЛФД без учета лавины; S – чувствительность ЛФД без учета лавины; M – коэффициент лавинного умножения, который для p-*i*-n ФД равен единице;  $S_{Iy}$  – спектральная плотность шумового тока УФТ, приведенная ко входу;  $\Delta F$  – полоса пропускания ФПУ как фильтра нижних частот. Функция, учитывающая избыточные шумы лавины [6] есть

$$F(M) = M \left[ 1 - \left(1 - k\right) \left(\frac{M - 1}{M}\right)^2 \right], \qquad (9)$$

где  $k = \alpha_p / \alpha_n$  — коэффициент, определяемый отношением коэффициентов ионизации дырок и электронов, который для кремниевого ЛФД лежит в пределах  $k = 0,05 \dots 0,1$ . Исходя из длительности зондирующего импульса  $t_u$ , определим R — максимально допустимое сопротивление резистора обратной связи в ОУ и  $\Delta$ F — полосу пропускания  $\Phi$ ПУ:

$$R = t_{u} / \pi C k_{iz}; \quad \Delta F = k_{iz} / 2t_{u}, \qquad (10)$$

где C – входная емкость ОУ. Принимая  $C = 1 \pi \Phi$ ,  $t_u = 5$  нс, получим R = 800 Ом и  $\Delta F = 200$  МГц. Среднеквадратическое отклонение (СКО) пороговой оптической мощности шума для  $\Phi \Pi Y$  с учетом накопления СОР

$$P_{n_{i}} = I_{n_{i}} / S M \sqrt{N} .$$
 (11)

Для моделирования на ЭВМ мгновенных значений гауссовского шума использовалась сумма из K = 18 псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения (функция RND). Для мгновенных значений шума и смеси сигнала с шумом с учетом N накоплений использовалось следующее выражение

$$P_{N_{i}} = \frac{\sum_{j=1}^{2K} [RND(j)] - K}{3\sqrt{N}} P_{n_{i}}.$$
 (12)

«Infokommunikacionnye tehnologii» 2017, Vol. 15, No. 3, pp. 226-233

Из (4)-(9) и (12) можно получить выражение для мгновенных значений отсчетов мощности и уровней мощности сигнала и шума на рефлектограмме

$$P_{1_{i}} = P_{i} + P_{N_{i}};$$
  

$$Y_{1_{i}} = 5 \lg(P_{1_{i}}/1 \text{ MBT}); \quad Y_{1_{N_{i}}} = 5 \lg(P_{N_{i}}/1 \text{ MBT}).$$
(13)

С целью увеличения отношения СОР к шуму помимо накопления используют также фильтрацию сигнала в ФПУ при помощи фильтра нижних частот (ФНЧ). Для учета влияния ФНЧ в работе проведено моделирование СОР, прошедшего через цифровой фильтр [5], разностное уравнение которого имеет вид:

$$P_{2_{i}} = b_0 P_{1_{i}} + b_0 P_{1_{i-1}} - a_1 P_{2_{i-1}}, \qquad (14)$$

где  $a_1 = (\Delta t - 2\tau)/(\Delta t + 2\tau);$   $b_0 = \Delta t/(\Delta t + 2\tau);$  $\Delta t = t_u / k_{iz}$  – интервал времени между двумя последовательными отсчетами СОР;  $\tau = t_u$  – постоянная времени аналогового фильтра-прототипа. Из (14) можно получить выражения для мощностей сигнала и шума  $P_{2\_s\_i}$  и  $P_{2\_N\_i}$ , и, по аналогии с (13), для уровней сигнала и шума  $Y_{2\_s\_i}$  и  $Y_{2\_N\_i}$ после накопления и фильтрации.

На рис. 2а представлены результаты моделирования рефлектограммы АУ длиной 500 м, построенного на ОВ с коэффициентом затухания  $\alpha = 6,47$  дБ/км. АУ содержит на расстоянии 400 м отражающую неоднородность с коэффициентом отражения  $r = 10^{-6}$  и вносимым затуханием  $a_c =$ 0,05 дБ. Такой выбор параметров фрагмента рефлектограммы позволяет оценить способность ОР регистрировать сигнал рэлеевского рассеяния, а также определять параметры небольших неоднородностей. На рис. 26 показан фрагмент той же рефлектограммы, содержащий неоднородность. При моделировании рефлектограмм по выражениям (4)-(7) и расчета СКО шумового тока и пороговой мощности по выражениям (8)-(14) использовались следующие исходные данные:

– для ФПУ: S = 0.5 А/Вт,  $I_{ty} = 10^{-9}$ А,  $I_{tH} = 0$  А, M = 40,  $C = 10^{-12}$ Ф, R=800 Ом,  $T_a = 300$  К, N = 256,  $\tau = t_u / 2$  и $S_I = 3.2 \ 10^{-26}$ А<sup>2</sup>/Гц[3];



Рис. 2. Рефлектограмма абонентского участка ВТ (a) и фрагмент этой рефлектограммы (б)



Рис. 3. Зависимость отношения СОР к шуму от расстояния (*a*) и зависимость СКО погрешности определения вносимого затухания между двумя близкими точками от отношения СОР к шуму при значениях вносимого затухания 0, 1 и 2 дБ (б)

230

– для зондирующего сигнала: длина волны  $\lambda = 650$  нм, мощность в ОВ  $P_0 = 25$  мВт, длительность зондирующего импульса  $t_u = 5$  нс.

Результаты моделирования показывают, что принятые технические решения обеспечивают поставленную задачу контроля АУ PON. Коэффициент затухания ОВ и параметры неоднородностей могут быть измерены.

Определим требования к АЦП для предлагаемого ОР. Запишем выражение для i -го отсчета напряжения на выходе ФПУ:

$$U_{\Phi_{i}} = SMP_{2i}RK_{v}.$$
 (15)

Полагаем, что максимальное напряжение АЦП  $U_0 = 1$  В; максимальное напряжение СОР, обусловленное рэлеевским рассеянием, примем равным 0,5 В. Расчеты показывают, что величины  $SMRK_y = 1,5\cdot10^7$  1/А и  $MK_y = 4\cdot10^4$ . Примем M = 40 и  $K_y = 100$ , тогда фототок ЛФД при максимальном СОР в ближней зоне рефлектограммы составит  $I_{\phi} = 0,64$  мкА.

Затухание в ВТ протяженностью L = 512 м составит  $a = \alpha L = 3,25$  дБ, а минимальный СОР будет соответствовать напряжению 0,112 В. Из рис. Зб видно, что отношение сигнала к шуму для обеспечения разрешающей способности 0,01 дБ должно быть не меньше 12,5 дБ. Тогда количество уровней АЦП должно быть не менее 2800, то есть АЦП должен иметь не менее 12 двоичных разрядов (4096 уровней). Из проведенных расчетов видно, что в случае необходимости можно улучшить параметры ОР, например увеличить длину ВТ. При этом появляется возможность использовать предлагаемый ОР для большинства локальных сетей. Оценим потенциальные возможности ОР, работающего в видимой области спектра. Для этого воспользуемся выражением, связывающим СКО погрешности определения вносимого затухания а12 между двумя близко расположенными точками (первой и второй) с отношением СОР к шуму (дБ) [3]

$$\sigma(a_{12}) = 5 \lg \left(1 + 10^{-SN_i/5} \sqrt{1 + 10^{|a_{12}|/2.5}}\right).$$
(16)

Запишем выражение для отношения СОР к шуму, дБ, после накопления и фильтрации:

$$SN_i = Y_{2\_s\_i} - Y_{2\_N\_i}.$$
 (17)

На рис. За показана зависимость отношения СОР к шуму SN от расстояния (17); на рис. 36 - 3ависимость СКО погрешности измерения вносимого затухания (16) для коэффициента лавинного умножения M = 100 (обычно это максимальное рекомендуемое значение для кремниевых ЛФД). На графике для SN показана прямая аппроксимирующая зависимость SN(L). Видно, что при расстоянии 1,5 км погрешность определения вносимого затухания не превышает 0,1 дБ. Это позволяет использовать такой ОР в локальных сетях с максимальными расстояниями 2 ... 3 км. Кроме того, остаются возможности улучшения параметров за счет увеличения длительности и мощности зондирующего импульса, числа накоплений.

#### Выводы

Результаты моделирования доказывают возможность определять длину АУ PON, расстояние до небольших отражающих и неотражающих неоднородностей и их параметры: коэффициент отражения, вносимые и возвратные потери, а также оценивать коэффициент затухания ОВ на длине волны  $\lambda = 650$  нм. Для существенного улучшения параметров специализированного ОР в дальнейшем необходимо рассмотреть переход от схемы последовательного накопления к схеме параллельно-последовательного накопления без существенного увеличения стоимости.

Внедрение специализированного OP, работающего в видимом свете, позволит повысить эффективность и упростить процедуру тестирования, контроля и измерения параметров абонентских участков PON.

Предлагаемый ОР может также использоваться для контроля параметров волоконно-оптических локальных сетей и сетей доступа. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-50088.

#### Литература

- Рудницкий В.Б., Сумкин В.Р., Салтыков А.Р. Тестирование абонентского участка PON // Фотон-Экспресс. №5, 2013. – С. 25-26.
- Листвин А.В., Листвин В. Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2005. – 208 с.
- Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кочановский Л.Н., Пискунов В.В. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов. СПб.: Изд. СПбГУТ, 2002. – 80 с.
- Андреев В.А., Бурдин В.А., Баскаков В.С., Косова А.Л. Измерения на ВОЛП методом обратного рассеяния. Самара: Изд. СРТТЦ ПГУТИ, 2013. – 121 с.
- Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.
- Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Т. 2. Пер. с англ. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2012. – 784 с.

- 7. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.: SYRUS SYSTEMS, 1999. – 671 с.
- Гауэр Дж. Оптические системы передачи. Пер с англ. М.: Радио и связь, 1989. – 501 с.
- 9. Anderson D.R, Johnson L.M., Bell F.G. Troubleshooting Optical Fiber Networks:

Understanding and Using Optical Time. Elsevier Academic Press, 2004. – 437 p.

10.Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. М.: Эко-Трендз. 2001. – 264 с.

Получено 23.04.2017

Глаголев Сергей Федорович, к.т.н., заведующий Кафедрой фотоники и линий связи (ФиЛС) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ). Тел. (8-812) 305-12-69. E-mail: glagolevSF@yandex.ru

Дашков Михаил Викторович, к.т.н., доцент Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: mvd.srttc@gmail.com

Дюбов Андрей Сергеевич, к.т.н., доцент Кафедры ФиЛС СПбГУТ. Тел. (8-812) 305-12-69. E-mail: blip@mail.ru

Хричков Валентин Александрович, преподаватель Кафедры ФиЛС СПбГУТ. Тел. (8-812) 305-12-69. E-mail: hrichkovv@gmail.com

# ON THE POTENTIAL OF OPTICAL REFLECTOMETRY IN VISIBLE REGION OF SPECTRUM

Glagolev S.F.<sup>1</sup>, Dashkov M.V.<sup>2</sup>, Diubov A.S.<sup>1</sup>, Hrichkov V.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruevich St.Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russian Federation <sup>2</sup>Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation *E-mail: glagolevsf@yandex.ru* 

The paper deals with the development of optical reflectometry technique that makes use of a probing signal of the visible spectrum. Stronger backscattered signal in this case allows easing the requirements for device components. The proposed improvement is useful when designing a device for measuring short optical line sections. Other considerations, such as power consumption, performance and cost of the components are also taken into account. In the paper a structural diagram of the device is presented. The requirements for its functional units are formulated. A mathematical modelling of backscatter signal propagation is conducted for the visible spectrum. The conclusion contains an example of fiber trace and recommendations for further research.

Keywords: optical fiber, optical time domain reflectometry, backscattered light, visible probing signal

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.03

**Glagolev Sergey Fedorovich**, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22 Prospekt Bolshevikov, St. Petersburg 193232; the Head of Department of Photonic and Telecommunication Lines; PhD in Technical Science, Associate Professor. Tel.: +78123051269. E-mail: GlagolevSF@yandex.ru

**Dashkov Michael Victorovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Science, Associated Professor. Tel.: +78462280066. E-mail: mvd.srttc@gmail.com

**Diubov Andrei Sergeevich**, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22 Prospekt Bolshevikov, St. Petersburg 193232; Associate Professor of the Department of Photonic and Telecommunication Lines; PhD in Technical Science. Tel.: +78123051269. E-mail: blip@mail.ru

Hrichkov Valentin Alexandrovich, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22 Prospekt Bolshevikov, St. Petersburg 193232; Lecturer of the Department Photonic and Telecommunication Lines. Tel.: +78123051269. E-mail: hrichkovv@gmail.com

#### References

- Rudnicki V.B., Sumkin M.K., Saltykov A.R Testirovanie abonentskogo uchastka PON [Testing subscriber area PON]. *Photon Express*, 2013. no. 5., pp. 25-26.
- 2. Listvin A.V., Listvin A.N. *Reflektomeria opticheskih volokon* [Optical fibers reflectometry]. Moscow, LESARart Publ., 2005. 208 p.
- 3. Bylina M.S., Verb S.F., Kochanowski L.N., Piskunov V.V. *Izmereniya parametrov volokonno-opticheskih linejnih traktov* [Measurement of the fiber-optic linear circuits]. Saint Petersburg, SUT Publ, 2002. 80 p.
- 4. Andreev A.V., Burdin A.V. Baskakov V.S., Kosova A.L. *Izmerenija na VOLP vetodom obratnogo rassejaniha* [Optical reflectometry measurements on fiber optical lines]. Samara, SRTTC PSUTI, 2011. 121 p.
- Solonina A.I. Osnovi cifrovoi obrabotki signalov [Basics of digital signal processing]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2005. 768 p.
- 6. Saleh B., Teich M.C. *Optika i fotonika. Principi i primeneniya. Tom 2* [Optics and photonics. Principals and application. Vol. 2], Dolgoprudniy, Intellect Publ., 2012. 784 p.
- 7. Ivanov A.B. *Volokonnaja optika. Kompinenti, sistemi peredachi, izmerenija* [Fiber optic. Components, telecommunication systems, measurements]. Moscow, SYRUS SYSTEMS PUbl., 1999. 671 p.
- Gauer J. Opticheskie sistemi peredachi [Optical telecommunication systems]. Moscow, Radio i svjaz Publ., 1989. 501 p.
- 9. Anderson D.R, Johnson L.M., Bell F.G. *Troubleshooting Optical Fiber Networks: Understanding and Using Optical Time*. Elsevier Academic Press, 2004. 437 p.
- 10. Baklanov I.G. *Testirovanie i diagnostika system svjazi* [Testing and diagnose in telecommunication systems]. Moscow, Eco-trendz Publ., 2001. 264 p.

Received 23.04.2017

УДК 621.315

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Бурдин В.А., Нижгородов А.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ E-mail: burdin@psati.ru

В работе рассматриваются основные особенности и проблемы строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий нефтепроводной структуры Западной Сибири. Необходимость выполнения работ в экстремальных условиях (низкая отрицательная температура, высокая скорость ветра и при этом работы на высоте на опорах) приводит к ужесточению требований ко всем составляющим технологического процесса: специфические требования предъявляются к технике и оборудованию, повышаются требования к кабельной продукции и кабельной арматуре, ужесточаются допуски на выполнение технологических операций, существенно возрастает роль человеческого фактора, значительно увеличивается цена ошибки. Все это определило особую роль контроля качества выполнения работ. В статье показано, что одной из основных проблем при реализации строительства волоконно-оптических линий передачи в экстремальных условиях Севера является отсутствие относительно недорогих полевых средств измерений для оценивания состояния оптического кабеля. Подобные средства измерений могут быть реализованы на основе BOTDR или POTDR. И в том, и в другом случае требуется разработка недорогого полевого прибора, при этом POTDR потенциально позволяет создать наиболее универсальный прибор.

*Ключевые слова:* оптический кабель, волоконно-оптическая линия передачи, низкая отрицательная температура, климатические условия, геологические условия, строительство, техническая эксплуатация, контроль качества, бриллюэновский импульсный оптический рефлектометр, поляризационный импульсный оптический рефлектометр

Долгосрочной программой развития ПАО «Транснефть» 2016-20 гг. предусмотрено строительство более 12,5 тыс. км волоконно-оптических линий связи [1]. Основная задача строительства волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) – это обеспечение надежной и безаварийной