

УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА И ЭРБИЕВОГО УСИЛИТЕЛЯ С УДАЛЕННОЙ НАКАЧКОЙ ДО 120 КМ

✉ А. С. Дудин^{1,2}, Д. Р. Харасов¹, Э. А. Фомиряков^{1,2},
С. П. Никитин¹, О. Е. Наний^{1,2}, В. Н. Трещиков¹

¹Группа компаний Т8, Москва

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ dudin.as19@physics.msu.ru

φOTDR, регистрирующий рэлеевское обратное рассеяние в волокне, используется в распределенных акустических датчиках (DAS) для охраны и мониторинга протяженных объектов, а также в распределенных датчиках изменения натяжения и температуры. Дальность работы таких датчиков ограничена затуханием света в волокне и составляет порядка 50 км. Увеличение дальности за счет увеличения мощности зондирующего импульса ограничено из-за негативного воздействия нелинейных эффектов [1, 2]. Для увеличения дальности работы можно использовать распределенные рамановские усилители на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) [3], однако их применение затруднено тем, что используемые в них лазеры 1450–1460 нм не являются массовым продуктом. Более распространены лазеры на длине волны ~1480 нм, которые применяются в эрбиевых волоконных усилителях. В данной работе нами исследована возможность увеличения дальности работы DAS «Дунай» компании «Т8 Сенсор» за счет использования эрбиевого волоконного усилителя с удаленной накачкой (далее ROPA).

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. φOTDR был подключен к линии из трех катушек стандартного одномодового волокна общей длиной 119,1 км. Коэффициент затухания на длине волны 1550 нм ~0,18 дБ/км. После 69 км в линию было сварено 2 м эрбиевого волокна. Для накачки эрбиевого волокна использовался лазер на длине волны 1480 нм с выходной мощностью ~500 мВт. Пиковая мощность зондирующего импульса на входе в линию составляла 200 мВт при выключенной накачке ROPA и 30 мВт при включенной.

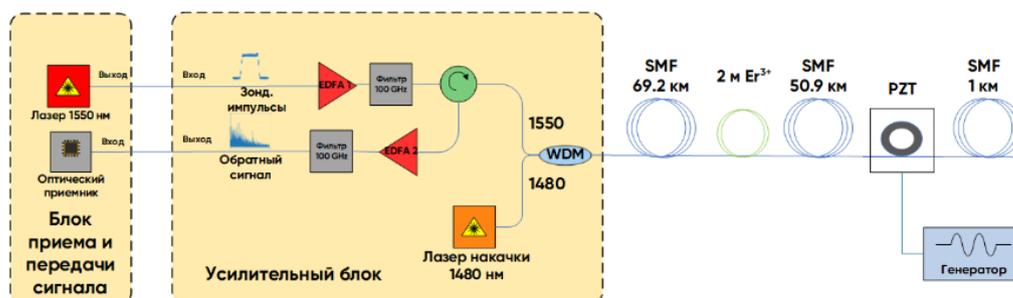


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Длительность импульса составляла ~ 200 нс, а частота повторений — 2 кГц, что обеспечивает разрешающую способность ~ 20 м. Обратнорассеянное рэлеевское излучение регистрировалось в приемной части рефлектометра и анализировалось на компьютере.

Для оценки увеличения дальности работы фОТDR в работе измерялись продольные зависимости отношения сигнал-шум фототока SNR_I [4]:

$$SNR_I(z) = 10 \log_{10} \frac{S(z)}{N(z)},$$

где под мощностями сигнала $S(z)$ и шума $N(z)$ подразумеваются квадрат среднего значения $S = \langle I(z)^2 \rangle$ и дисперсия $N = \langle \sigma_I^2 \rangle$ фототока в точке волокна z , $\langle \rangle$ — усреднение вдоль расстояния волокна, а $\overline{}$ — усреднение по времени/номеру импульса. В данной работе SNR_I вычислялось по 100 последовательно измеренным рефлектограммам и усреднялось в скользящем окне $\sim 0,5$ км. Сравнение SNR_I показано на рис. 2. Из-за падения уровня сигнала на дальних километрах уровень SNR_I также уменьшается. На практике без ROPA в обычном волокне дальность работы DAS «Дунай» составляет ~ 70 – 75 км, которому соответствует уровень $SNR_I \sim 10$ дБ. При таком уровне можно регистрировать такие слабые воздействия, как шаги человека на закопанный оптический кабель на глубине 0,5–1 м. Более сильные воздействия (например, проезд поезда) можно обнаружить и при более низком SNR_I . При использовании ROPA уровень SNR_I опускается до порогового значения только на ~ 120 км.

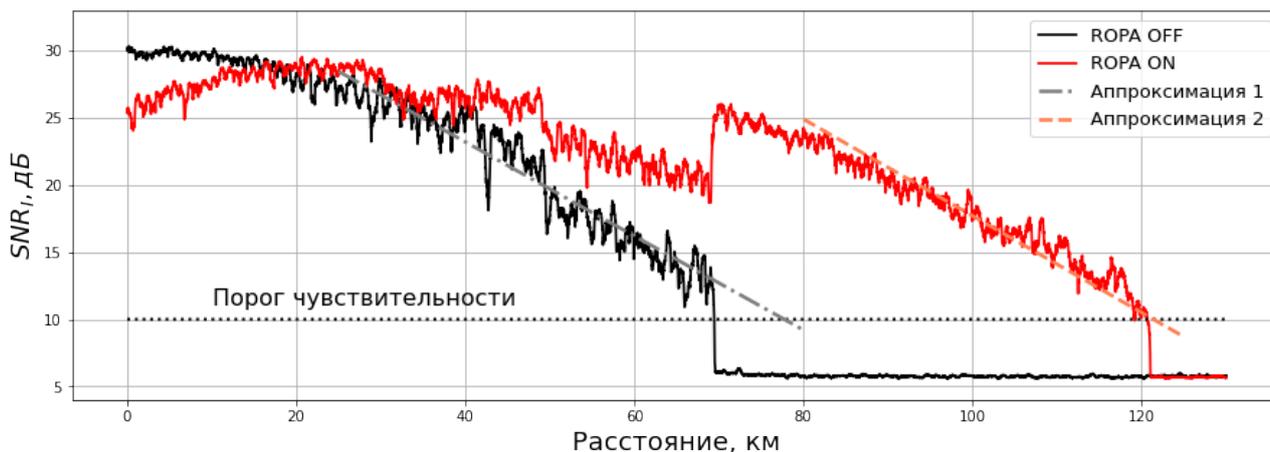


Рис. 2. SNR_I -линии при различных мощностях накачки в логарифмическом(дБ) масштабе

В ходе работы продемонстрировано увеличение дальности работы DAS «Дунай» на 45 км за счет использования ROPA при мощности накачки 500 мВт. Общая дальность работы составила не менее 120 км, а перекрываемое затухание в одну сторону — не менее 19,4 дБ.

Список литературы

1. Nikitin S. P., Ulanovskiy P. I., Kuzmenkov A. I. et al. Influence of modulation instability on the operation of phase-sensitive optical time domain reflectometers // Laser Physics. 2016. Vol. 26 (10). P. 105106.

2. Alekseev A.E., Vdovenko V.S., Gorshkov B.G. et al. Contrast enhancement in an optical time-domain reflectometer via self-phase modulation compensation by chirped probe pulses // *Laser Physics*. 2016. Vol. 26 (3). P. 035101.

3. Martins H.F., Martín-López S., Corredera P. et al. Phase-sensitive optical time domain reflectometer assisted by first-order Raman amplification for distributed vibration sensing over > 100 km // *Journal of Lightwave Technology*. 2014. Vol. 32 (8). P. 1510–1518.

4. Kharasov D.R., Naniy O.E., Nikitin S.P., Treschikov V.N. Operating range limitations of the Phase-Sensitive Optical Time-Domain Reflectometer assisted by Raman amplifiers // *International Conference Laser Optics (ICLO)*. 2018. P. 285–285.