

- Annual Symposium on High-Performance Interconnect*. Mountain View, 2014, pp. 71–78. DOI: 10.1109/HOTI.2014.23
4. Interdonato R. et al. Multilayer network simplification: approaches, models and methods. *Computer Science Review*, 2020, no. 36. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.cosrev.2020.100246> (accessed: 10.06.2024).
 5. Ageev D.V. Designing the modern telecommunication systems using multilayer graphs. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*, 2010, vol. 4, no. 2 (46), pp. 75–77. (In Russ.)
 6. Ageev D.V. Structural synthesis of WDM network with optical converters using a model represented as a multilayer graph. *Problemi telekomunikacij*, 2012, no. 2 (7), pp. 3–17. (In Russ.)
 7. Min X. et al. Study of subjective and objective quality assessment of audio-visual signals. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2020, vol. 29, pp. 6054–6068. DOI: 10.1109/TIP.2020.2988148
 8. Cheng S. et al. Screen content video quality assessment: subjective and objective study. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2020, vol. 29, pp. 8636–8651. DOI: 10.1109/TIP.2020.3018256
 9. Recommendations ITU-R BT.500-14. (10/2019). Methodologies for the Subjective Assessment of the Quality of Television Images. Geneva: MSE, 2020, 104 p. (In Russ.)
 10. Madhusudana P.C. et al. Subjective and objective quality assessment of high frame rate videos. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 108069–108082.
 11. Bakurov I. et al. Structural similarity index (SSIM) revisited: a data-driven approach. *Expert Systems with Applications*, 2022, vol. 189. URL: https://www.researchgate.net/publication/355499235_Structural_Similarity_Index_SSIM_Revisited_a_Data-Driven_Approach (accessed: 10.06.2024).
 12. Zhang L. et al. Overview of full-reference video quality metrics and their performance evaluations for videoconferencing application. *Journal of Electronic Imaging*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 023001–023007.
 13. Moldovan A.-N., Ghergulescu I., Muntean C.H. VQAMap: A novel mechanism for mapping objective video quality metrics to subjective MOS scale. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2016, vol. 62, no. 3, pp. 610–627. DOI: 10.1109/TBC.2016.2570002
 14. Klink J., Uhl T. Video quality assessment: some remarks on selected objective metrics. *International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. Split, 2020. DOI: 10.23919/SoftCOM50211.2020.9238303. URL: https://www.researchgate.net/publication/345806819_Video_Quality_Assessment_Some_Remarks_on_Selected_Objective_Metrics (accessed: 15.06.2024).
 15. Akramullah S. *Digital Video Concepts, Method and Metrics. Quality, Compression, Performance and Power-off Analysis*. New York City: Apress, 2014, 368 p.
 16. Shahid M., Abebe M.A., Hardeberg J.Y. Assessing the quality of videoconferencing: from quality of service to quality of communication. *Electronic Imaging*, 2018, pp. 235-1–235-7. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2018.12.IQSP-235

Received 05.07.2024

ЛИНИИ СВЯЗИ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 681.586.54

ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПОИСКА ТРАССЫ ПРОКЛАДКИ ПОЛНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Дашков М.В., Гуреев В.О., Гаврюшин С.А., Нижгородов А.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: m.dashkov@psuti.ru, v.gureev@psuti.ru, s.gavrushin@psuti.ru, anton.socol2017@yandex.ru

В статье представлен метод поиска трассы для прокладки подземных диэлектрических оптических кабелей, основанный на регистрации и анализе откликов фазочувствительного оптического рефлектометра на вибро-акустические воздействия в предполагаемой области прокладки. Особенность метода заключается в использовании импульсного ударного воздействия для примерного определения зоны прокладки кабеля и применения источника акустического воздействия для определения направления и уточнения местоположения трассы прокладки. В работе изложен алгоритм выполнения трассопоисковых работ и рекомендации по выбору параметров акустического воздействия. В соответствии с разработанным методом были проведены полевые испытания на участке волоконно-оптической линии связи, реализованном с использованием оптического кабеля полностью диэлектрической конструкции. В результате экспериментальной апробации была продемонстрирована возможность определения местоположения трассы кабеля в условиях электромагнитных и акустических помех с погрешностью не более $\pm 0,2$ м.

Ключевые слова: поиск трассы прокладки, диэлектрический оптический кабель, акустический сигнал, фазочувствительный оптический рефлектометр, система вибро-акустического мониторинга

Введение

Поиск трассы прокладки кабеля является неотъемлемой частью процесса технической эксплуатации подземных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Однако традиционные методы поиска, основанные на принципе электромагнитной индукции, неприменимы для оптических кабелей (ОК) без металлических элементов. В то же время полностью диэлектрические ОК обладают значительными преимуществами, связанными с устойчивостью к внешним электромагнитным воздействиям, и широко используются в районах с высокой грозовой активностью, а также на участках сближения с высоковольтными линиями электропередач и электрическими железными дорогам [1]. Также легкие малогабаритные диэлектрические ОК применяются при строительстве методом задувки в защитные полиэтиленовые трубы и пакеты микротрубок транспортной многоканальной коммуникации.

Следовательно, в процессе эксплуатации подобных ВОЛС требуются эффективные методы и средства для поиска трассы прокладки ОК и локализации повреждений.

В настоящее время технология распределенных волоконно-оптических сенсоров акустических и вибрационных воздействий интенсивно развивается, что сопровождается повышением ее эффективности и расширением области применения [2–4].

В ряде публикаций [5–7] рассматривались различные подходы по применению данной технологии для решения задач поиска и локализации кабельных линий.

В работах [8; 9] были предложены методы поиска трассы прокладки диэлектрического ОК, основанные на регистрации и анализе откликов волоконно-оптической системы вибро-акустического мониторинга (СВАМ), реализованной на базе фазочувствительного оптического рефлектометра, на вибрационное и акустическое воздействие в области локализации.

Настоящая работа посвящена усовершенствованию данных методов и их экспериментальной апробации в полевых условиях.

Метод поиска трассы прокладки

Предлагаемый метод поиска трассы прокладки оптического кабеля полностью диэлектрической конструкции представляет собой развитие и адаптацию метода, предложенного в работах [9; 10], к полевым условиям. Суть метода заключается в следующем: СВАМ размещается на оконечном пункте ВОЛС и подключается к свободному оптическому волокну (ОВ) из кабеля, трассу прокладки которого необходимо определить; в месте локализации оказывается вибрационное и/или акустическое воздействие заданного вида для набора точек на поверхности грунта; отклики СВАМ анализируются, и определяется местоположение трассы.

При этом вводятся следующие предположения: примерная область прокладки ОК известна с точностью R ; чувствительность ОВ в ОК не зависит от направления воздействия; характеристики распространения вибро-акустических воздействий в грунте однородны.

Метод реализуется в два этапа: на первом этапе производится примерное определение зоны прокладки кабеля на местности с применением импульсного ударного воздействия; на втором этапе производится определение направления трассы и уточнение местоположения кабеля.

Алгоритм реализации метода:

1) в заданном месте поиска трассы прокладки ОК строится прямоугольная система координат, которую для определенности можно привязать к сторонам света;

2) на заданном расстоянии R от центра системы координат отмечаются точки в соответствии с направлением (Север – 1, Восток – 2, Юг – 3, Запад – 4);

3) в отмеченных точках производятся ударные воздействия заданной кратности путем организации свободного падения груза массой 5 кг с

высоты 1 м на поверхность грунта, с фиксацией откликов СВАМ;

4) определяется точка максимальной интенсивности отклика, в которую переносится центр координат, и задаются новые точки воздействия на расстоянии R ;

5) при необходимости выполняется несколько итераций до тех пор, пока воздействию в центре системы координат не будет соответствовать наиболее интенсивный отклик;

6) производится анализ спектральных характеристик, мешающих вибро-акустических воздействий в зоне поиска трассы кабеля по результатам анализа характеристик СВАМ без какого-либо рода внешнего воздействия;

7) производится анализ спектральных характеристик откликов при размещении источника акустического сигнала в центре системы координат и воздействии с помощью сигнала с линейной частотной модуляцией;

8) определяется частота, соответствующая максимальной чувствительности и отношению сигнал/шум;

9) в отмеченных точках производится воздействие гармоническим акустическим сигналом на определенной ранее частоте, и фиксируются отклики СВАМ;

10) составляется карта распределения интенсивностей отклика по оси ОК для выбранных точек воздействия;

11) взаимное расположение максимумов откликов для различных точек воздействия по длине ОВ определяет примерное направление трассы прокладки ОК;

12) определяется азимут направления трассы прокладки ОК в соответствии с формулами:

$$\theta = \arccos\left(\frac{Q_p}{2R}\right), \quad \theta = \arcsin\left(\frac{Q_{\perp}}{2R}\right), \quad (1)$$

где Q_p – расстояние между максимумами откликов для диаметральных точек воздействия по направлению оси отсчета азимута; $Q_{\perp}$ – расстояние между максимумами откликов для диаметральных точек воздействия вдоль перпендикулярного направления, относительно оси отсчета азимута; R – расстояние от центра системы координат до точки воздействия;

13) полученные результаты для пар точек «Север-Юг» и «Запад-Восток» сопоставляются, и выносится заключение о корректности расчетов с учетом влияния погрешности локализации;

14) из центра системы координат перпендикулярно предполагаемому направлению трассы прокладки ОК проводится линия;

15) вдоль полученной линии с заданным шагом перемещается источник акустического воздействия, и регистрируются отклики СВАМ;

16) местоположение трассы уточняется по результатам анализа откликов СВАМ.

На рисунке 1 приведен пример варианта взаимного расположения кабельной трассы и географической системы координат.

Взаимное расположение точек N, E, S и W, соответствующих пространственным координатам максимумов откликов на характеристиках СВАМ, при воздействии вибрационным или акустическим методом в точках 1–4 будет определять ориентировочное направление трассы кабеля с

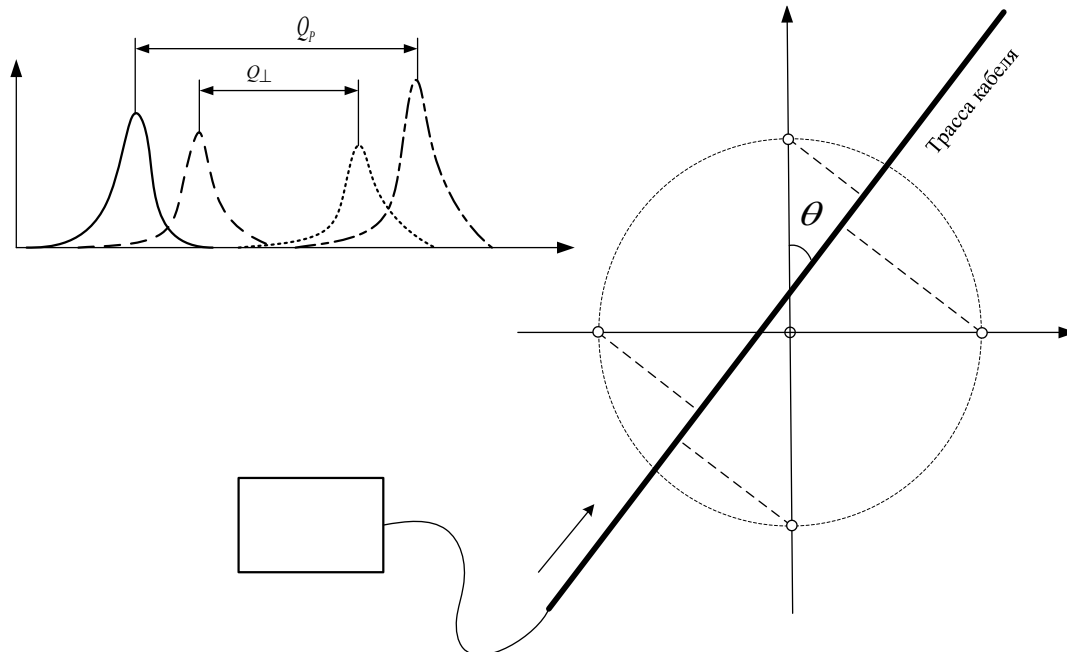


Рисунок 1. Пример расположения кабельной трассы и географической системы координат

учетом расположения СВАМ. В результате определения ориентировочного направления трассы будет выбираться направление, относительного которого целесообразно откладывать азимут.

В общем случае возможны 12 вариантов взаимного расположения точек, включая частные случаи при расположении трассы кабеля под углами 0° , 45° , 90° и 135° относительно одной из осей выбранной системы координат.

Основными факторами, влияющими на точность локализации, являются: разная чувствительность ОВ по длине ОК; неоднородность грунта; избыточность длины ОВ в ОК; расположение ОК в трубке; шаг дискретизации по расстоянию СВАМ (параметр, определяющий пространственную разрешающую способность).

Погрешность определения азимута трассы прокладки в зависимости от погрешности локализации максимума воздействия по откликам СВАМ можно выразить в виде:

$$\partial\theta = (4R^2 - Q^2)^{-0.5} \cdot \partial Q,$$

где ∂Q – погрешность локализации максимума воздействия по откликам СВАМ.

В отсутствии дополнительной обработки данных СВАМ в качестве основной составляющей погрешности локализации максимума воздействия будем считать погрешность, связанную с дискретизацией характеристики СВАМ по расстоянию.

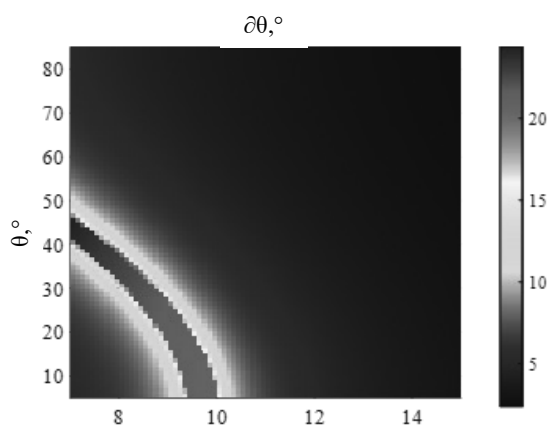


Рисунок 2. Зависимость погрешности определения азимута от величины истинного значения азимута и расстояния от центра координат до точек воздействия

На рисунке 2 приведены результаты расчета погрешности определения азимута трассы прокладки ОК в соответствии с разработанным методом при пространственном разрешении СВАМ 1,25 м.

Таким образом, целесообразно выбирать значения не менее 10 м и определять азимут по ре-

зультатам анализа отклика для двух ортогональных осей согласно формулам (1).

Результаты экспериментальной апробации в полевых условиях

Экспериментальная апробация метода проводилась на участке действующей ВОЛС, построенной с использованием ОК полностью диэлектрической конструкции. На участке сближения с высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП) 110–220 кВ оптический кабель с броней из стеклопластиковых прутков прокладывался на глубине 0,9–1,2 м.

Присутствие высоковольтных ЛЭП в непосредственной близости от места проведения испытаний оказывает дестабилизирующее электромагнитное и акустическое влияние.

При обследовании выставлялись следующие параметры измерения СВАМ: длина волны 1550 нм; шаг дискретизации по расстоянию 1,25 м; измерительная (калибровочная) длина 5 м; частота опроса 2000 Гц; показатель преломления 1,4682; длина участка анализа от 2500 до 4500 м.

В результате проведенных мероприятий в соответствии с пунктами 1)–5) после второй итерации была выстроена прямоугольная географическая система координат, ориентированная по сторонам света, а опорные точки были выставлены на расстоянии 10 м от центра.

Для определения возможностей локализации при импульсном вибрационном воздействии в каждой опорной точке осуществлялось по три последовательных воздействия в виде свободного падения на грунт массы в 5 кг с высоты 1 метр с интервалом 1–3 секунды.

На рисунках 3 и 4 приведены диаграммы распределения энергии откликов СВАМ, рассчитанные для диапазона частот от 0 до 40 Гц.

Было отмечено, что отклик на импульсное воздействие в основном сосредоточен в диапазоне частот от 10 до 40 Гц и на диаграммах можно однозначно выделить трехкратное воздействие.

В результате анализа полученных диаграмм были сделаны следующие выводы: наибольшее воздействие наблюдается для точки «Юг»; наименьшее воздействие наблюдается для точки «Запад»; воздействие в точке «Север» сильнее, чем в точке «Восток».

Для определения точности локализации при импульсном вибрационном воздействии от точки «Юг» в направлении центра координат производилось перемещение по направлению к Центру координат с шагом 1 м, в каждой точке при этом осуществлялось по три импульсных вибрацион-

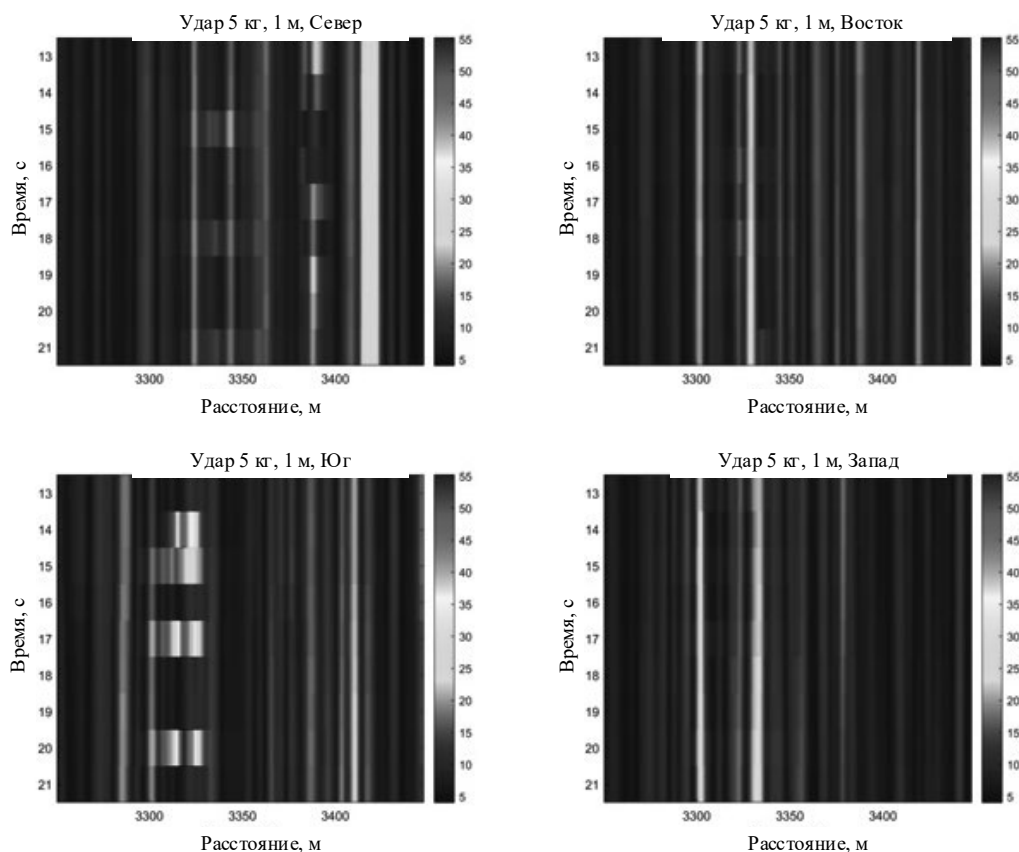


Рисунок 3. Диаграммы распределения энергии откликов СВМ на импульсное воздействие в опорных точках во временной области и вдоль оптического волокна в диапазоне частот 0–40 Гц

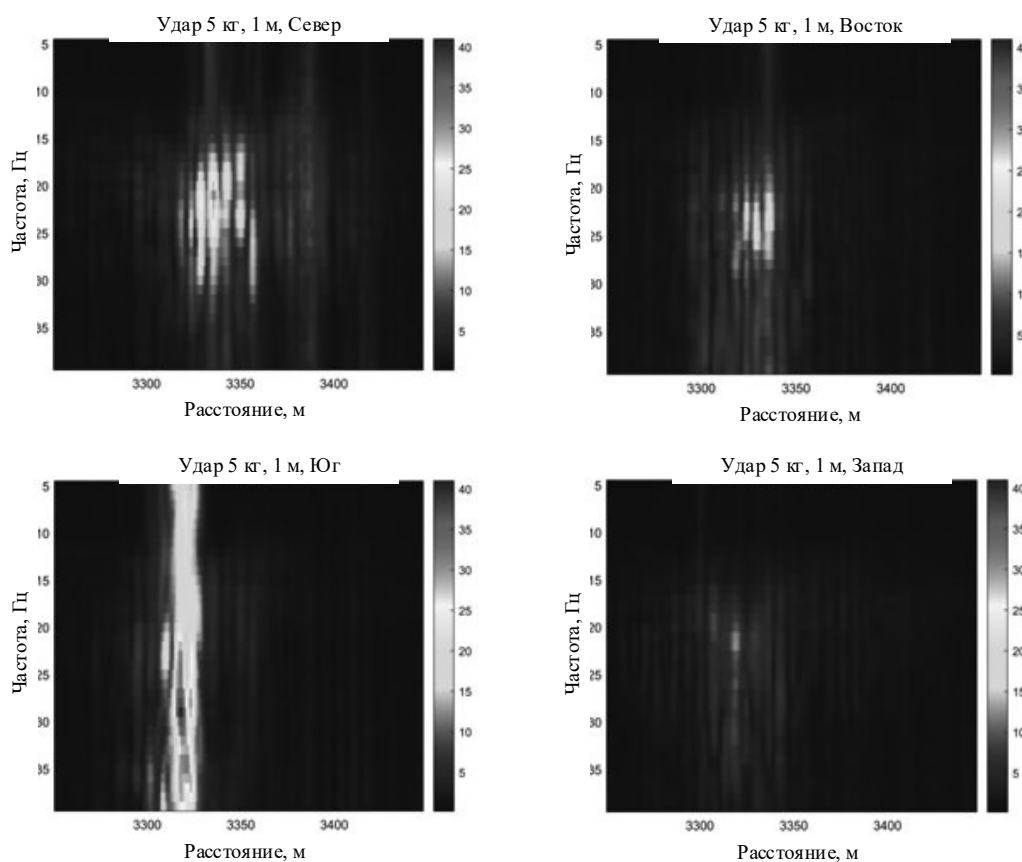


Рисунок 4. Диаграммы распределения энергии откликов СВМ на импульсное воздействие в опорных точках в частотной области и вдоль оптического волокна

ных воздействия (свободное падение на грунт массы в 5 кг с высоты 1 метр).

В итоге было проанализировано 11 точек, расположенных вдоль направления «Юг» – «Центр», при этом 1-я точка соответствует месту, отстоящему от опорной точки «Юг» на 5 метров южнее, а 11-я точка соответствует месту, отстоящему от опорной точки «Юг» на 5 метров севернее. Точка № 6 соответствует опорной точке «Юг».

На рисунке 5а представлена диаграмма энергий частотного диапазона при трехкратных импульсных вибрационных воздействиях вдоль направления «Юг» – «Центр» с шагом 1 метр, начиная от точки, отстоящей на 5 метров в южном направлении. На рисунке 5б приведена интегральная диаграмма энергий при трехкратных импульсных вибрационных воздействиях вдоль направления «Юг» – «Центр» с шагом 1 метр, начиная от точки, отстоящей на 5 метров в южном направлении (среднеквадратичное по интервалу расстояния воздействия и временного диапазона воздействия в каждой точке).

По полученным результатам сделано заключение о том, что предполагаемая область прохождения трассы соответствует интервалу от точки № 5 и точки № 7, что соответствует точности ± 1 м относительно точки № 6 – опорная точка «Юг». Смещение точек локальных максимумов по оптическому расстоянию на рисунке 5а свидетельствует о том, что для выбранной системы координат траектория трассы отклоняется от направления «Юг» – «Север» к «Востоку» (ориентировочно «Северо – Северо-Восток»).

По результатам шурфования был обнаружен ОК полностью диэлектрической конструкции. Глубина залегания кабеля составила 0,65 м. В результате расстояние от точки № 6 до ОК состави-

ло 0,2 м, а расстояние от точки № 5 до ОК составило 0,72 м.

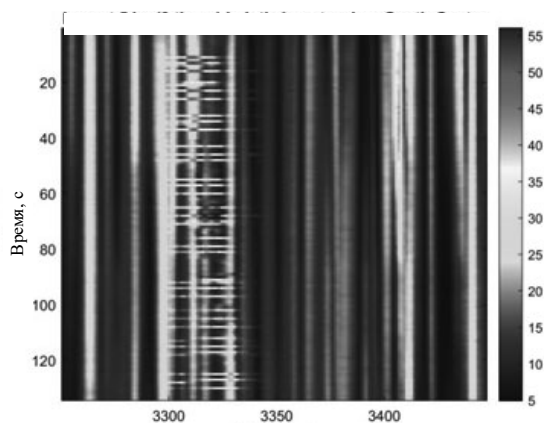
В соответствии с пунктами 6) и 7) предлагаемого метода были проведены измерения фонового шума без воздействия и с воздействием акустическим сигналом с линейной частотной модуляцией в диапазоне частот 140–200 Гц для временного интервала 180 с.

На рисунке 6 приведены частотно-временное распределение интенсивности отклика на акустический сигнал с линейной частотной модуляцией и итоговая спектральная характеристика. В результате анализа для дальнейших испытаний была выбрана частота акустического воздействия 180 Гц.

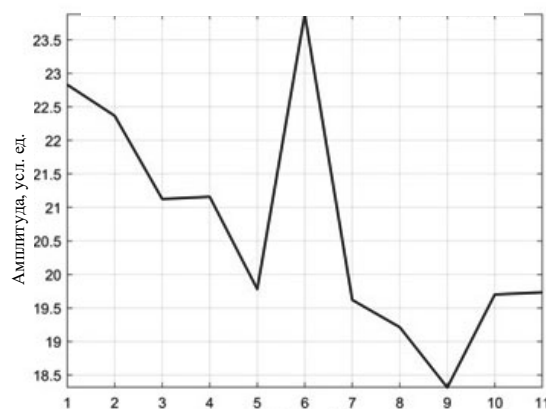
В соответствии с пунктом 9) источник акустического сигнала частотой 180 Гц и уровнем сигнала порядка 95 дБа перемещался по опорным точкам, и характеристики СВАМ сохранялись для дальнейшей обработки. По результатам обработки был определен ориентировочный диапазон значений угла в пределах 20–40 градусов вправо относительно направления «Юг» – «Север».

В соответствии с пунктами 14) и 15) из центра системы координат проводится линия, перпендикулярная предполагаемому направлению прокладки трассы ВОЛС, и источник акустического воздействия перемещается вдоль проведенной перпендикулярной линии с шагом 30 см с сохранением откликов СВАМ.

В результате обработки полученных данных построена диаграмма, отображающая зависимость интенсивности отклика на акустическое воздействие на частоте 180 Гц от точки воздействия и координаты по оптическому расстоянию. (рисунк 7а). На рисунке 7б приведена зависимость интенсивности отклика на акустическое воздействие на частоте 180 Гц от точки воздей-



а)



б)

Рисунок 5. Локализация трассы прокладки кабеля при импульсных воздействиях: а) распределения откликов СВАМ на импульсное воздействие; б) распределение амплитуды откликов по точкам импульсного воздействия

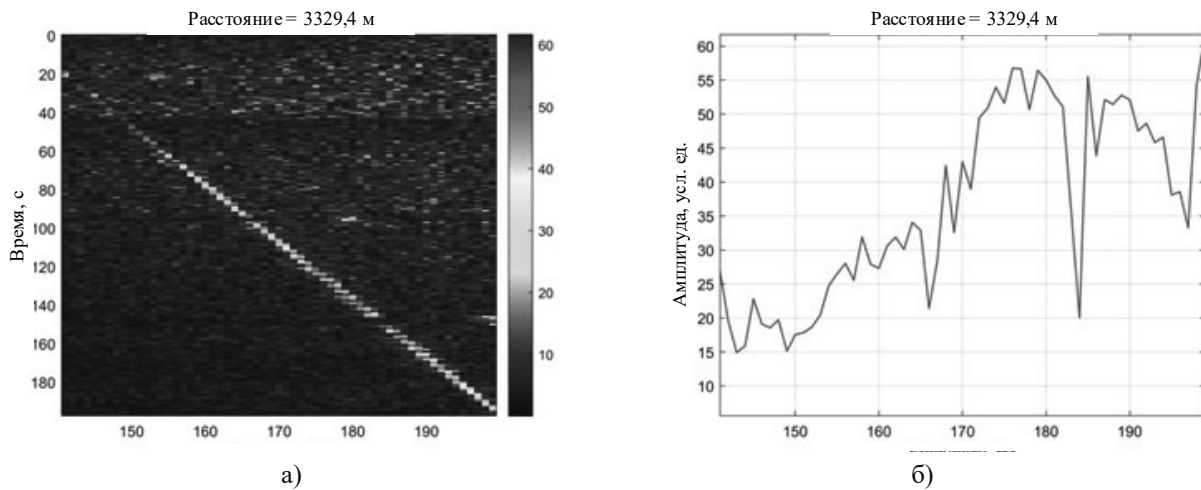


Рисунок 6. Отклик СВАМ на акустический сигнал с линейной частотной модуляцией: а) частотно-временное распределение отклика; б) спектральная характеристика

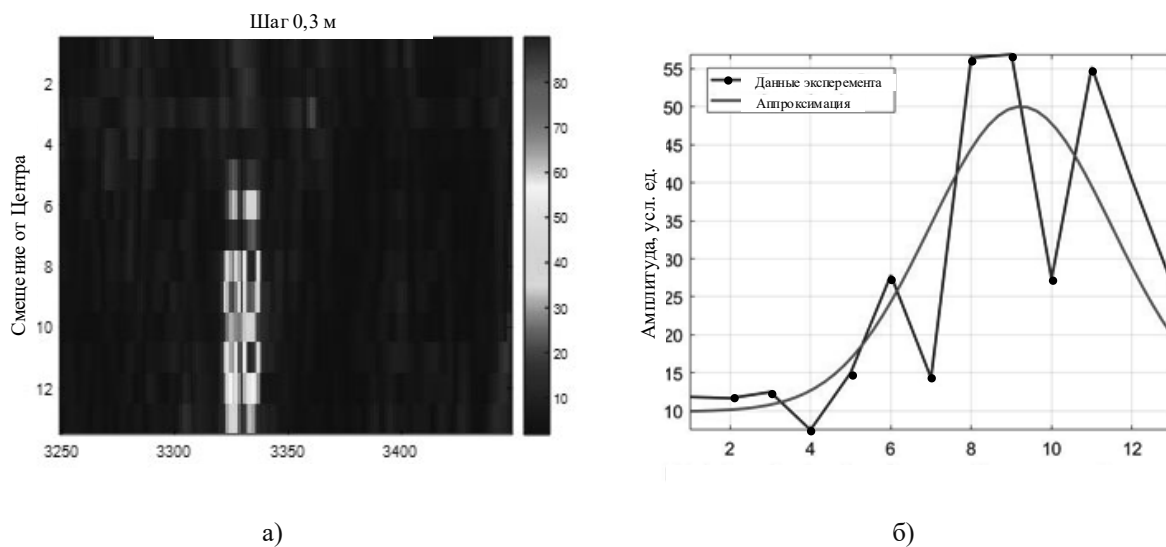


Рисунок 7. Отклик СВАМ на акустический сигнал: а) распределение отклика по длине оптического волокна и точкам воздействия; б) зависимость амплитуды отклика от точки акустического воздействия

ствия и результат аппроксимации, полученные в результате обработки данных в специализированной программе.

В результате было сделано заключение о том, что наиболее вероятное местоположение кабеля окажется в районе точки № 9.

По результатам шурфования в обозначенной области был обнаружен ОК полностью диэлектрической конструкции. Глубина залегания кабеля составила 0,74 м. Итоговое отклонение от точки максимального акустического воздействия (точка № 9), определенной по результатам обработки данных СВАМ и рекомендованной в качестве исходной для шурфования, составило 0,17 м.

Заключение

В результате экспериментальной апробации в полевых условиях была продемонстрирована

эффективность предложенного метода и возможность локализации трассы прокладки с погрешностью не более $\pm 0,2$ м.

В ходе исследования был сделан вывод о необходимости дальнейшего развития метода с использованием сложных акустических сигналов для повышения эффективности работы в условиях сильного акустического шума от сторонних источников, таких как трубопроводы, шоссе, линии электропередач и иные инженерные сооружения.

Литература

1. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов: в 2 т. Т.1. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В.А. Андреев [и др.]; под ред. В.А. Андреева. М.: Горячая Линия-Телеком, 2010. 424 с.

2. Scientific applications of distributed acoustic sensing: state-of-the-art review and perspective / B.G. Gorshkov [et al.] // *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 3. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1033> (дата обращения: 15.07.2024).
3. Distributed acoustic sensing over 146 km using phase-sensitive optical time-domain reflectometer assisted by bidirectional distributed Raman amplifier / D.R. Kharasov [et al.] // 2022 International Conference Laser Optics (ICLO): IEEE Proceedings, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9840022/references#references> (дата обращения: 15.07.2024).
4. Marcon L., Galtarossa A., Palmieri L. High-frequency high-resolution distributed acoustic sensing by optical frequency domain reflectometry // *Optics Express*. 2019. Vol. 27, no. 10. P. 13923–13933. DOI: 10.1364/OE.27.013923
5. Dakin J.P., Russell S.J. Distributed optical fiber sensing methods for localisation of disturbances and the position of optical fibre cables in the ground // 17th International Conference on Optical Fibre Sensors: Proceedings SPIE. 2005. Vol. 5855. P. 162–167. DOI:10.1117/12.623641
6. New methods for non-destructive underground fiber localization using distributed fiber optic sensing technology / H. Liu [et al.] // 25th Opto-Electronics and Communications Conference (OECC): IEEE Proceedings. 2020. P. 1–3. DOI: 10.1109/OECC48412.2020.9273672
7. Localization of fiber cable with distributed acoustic sensing / Y. Wang [et al.] // 10th International Conference on Information, Communication and Networks (ICIN): IEEE Proceedings. 2022. P. 473–478. DOI: 10.1109/ICIN56848.2022.10006527
8. Localization method for all-dielectric fiber-optic cable / O.Yu. Gubareva [et al.] // *Optical Technologies for Telecommunications 2021: Proceedings SPIE*. 2022. Vol. 12295. P. 1229510–1–1229510–8. DOI: 10.1117/12.2631780
9. Gureev V.O., Dashkov M.V., Shaban O.V. All-dielectric fiber-optic cable route search method // *Optical Technologies for Telecommunications 2022: Proceedings SPIE*. 2023. Vol. 12743. P. 1274313–1–1274313–7. DOI: 10.1117/12.2680877
10. Дашков М.В., Гуреев В.О. Метод поиска трассы диэлектрического оптического кабеля с использованием фазочувствительного рефлектометра // *Фотон-экспресс*. 2023. № 6 (190). С. 477–478. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-477-478

Получено 26.07.2024

Дашков Михаил Викторович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: m.dashkov@psuti.ru

Гуреев Владимир Олегович, аспирант кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: v.gureev@psuti.ru

Гаврюшин Сергей Александрович, заведующий лабораториями кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: s.gavrushin@psuti.ru

Нижегородов Антон Олегович, аспирант кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

FIELD TESTING OF THE ROUTE TRACING METHOD FOR FULLY DIELECTRIC OPTICAL CABLE

Dashkov M.V., Gureev V.O., Gavryushin S.A., Nizhgorodov A.O.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

*E-mail: m.dashkov@psuti.ru, v.gureev@psuti.ru, s.gavrushin@psuti.ru,
anton.socol2017@yandex.ru*

The article presents a method of underground dielectric optical cable route tracing using a distributed acoustic sensing based on recording and analyzing of the phase-sensitive optical reflectometer response to vibration-acoustic effects in the proposed tracing area. The peculiarity of the method is the use of pulsed impact for approximate determination of the cable laying area and the use of an acous-

tic source to determine the direction and clarify the location of the tracing route. The study outlines tracing algorithm and recommendations for choosing acoustic impact parameters. In accordance with the method elaborated, field tests were carried out on the section of a fiber-optic communication line made using a fully-dielectric optical cable. In result of the experimental testing, the possibility to determine a cable route tracing location under conditions of electromagnetic and acoustic interference with an error of not more ± 0.2 m was demonstrated.

Keywords: cable route tracing, fully dielectric optical cable, acoustic signal, phase-sensitive optical time-domain reflectometer, distributed acoustic sensing

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.05

Dashkov Michael Viktorovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: m.dashkov@psuti.ru

Gureev Vladimir Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; PhD Student of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: v.gureev@psuti.ru

Gavryushin Sergey Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of Laboratory of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: s.gavrushin@psuti.ru

Nizhgorodov Anton Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; PhD Student of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

References

1. Andreev V.A. et al. *Telecommunications Cabling Systems: Textbook for Universities: in 2 Vols. Vol. 2. Design, Installation and Maintenance*. Ed by V.A. Andreev. Moscow: Goryachaya liniya-Telecom, 2010, 424 p. (In Russ.)
2. Gorshkov B.G. et al. Scientific applications of distributed acoustic sensing: state-of-the-art review and perspective. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 3. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1033> (accessed: 15.07.2024).
3. Kharasov D.R. et al. Distributed acoustic sensing over 146 km using phase-sensitive optical time-domain reflectometer assisted by bidirectional distributed Raman amplifier. *2022 International Conference Laser Optics (ICLO): IEEE Proceedings*, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9840022/references#references> (accessed: 15.07.2024).
4. Marcon L., Galtarossa A., Palmieri L. High-frequency high-resolution distributed acoustic sensing by optical frequency domain reflectometry. *Optics Express*, 2019, vol. 27, no. 10, pp. 13923–13933. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.27.013923>
5. Dakin J.P., Russell S.J. Distributed optical fiber sensing methods for localisation of disturbances and the position of optical fibre cables in the ground. *17th International Conference on Optical Fibre Sensors: Proceedings SPIE*, 2005, vol. 5855, pp. 162–167. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.623641>
6. Liu H. et al. New methods for non-destructive underground fiber localization using distributed fiber optic sensing technology. *25th Opto-Electronics and Communications Conference (OECC): IEEE Proceedings*, 2020, pp. 1–3. DOI: 10.1109/OECC48412.2020.9273672

7. Wang Y. et al. Localization of fiber cable with distributed acoustic sensing. *10th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN): IEEE Proceedings*, 2022, pp. 473–478. DOI: 10.1109/ICICN56848.2022.10006527
8. Gubareva O.Yu. et al. Localization method for all-dielectric fiber-optic cable. *Optical Technologies for Telecommunications 2021: Proceedings SPIE*, 2022, vol. 12295, pp. 1229510-1–1229510-8. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2631780>
9. Gureev V.O., Dashkov M.V., Shaban O.V. All-dielectric fiber-optic cable route search method. *Optical Technologies for Telecommunications 2022: Proceedings SPIE*, 2023, vol. 12743, pp. 1274313-1–1274313-7. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2680877>
10. Dashkov M.V., Gureev V.O. Method for searching the route of a dielectric optical cable using a phase-sensitive reflectometer. *Foton-ekspress*, 2023, no 6 (190), pp. 477–478. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-477-478 (In Russ.)

Received 26.07.2024

УДК 621.315.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНО-БЛОКИРОВОЧНЫХ КАБЕЛЕЙ

Попов Б.В., Попов В.Б.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: inkat@inbox.ru

С ростом объемов перевозок на железных дорогах страны возрастают требования к обеспечению их безопасности и надежности. Одной из технических составляющих обеспечения безопасности и надежности железнодорожного транспорта является кабельная инфраструктура железных дорог, в которой особая роль отводится сигнально-блокировочным кабелям. Качественные сигнально-блокировочные кабели должны иметь характеристики, строго соответствующие требованиям ГОСТ. В статье проводятся результаты экспериментальных исследований и анализ электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей с однопроволочными и многопроволочными токопроводящими жилами. Показано, что производство изолированных проводников сигнально-блокировочных кабелей, так же, как и любых других симметричных кабелей связи, осуществляется на технологических автоматических линиях, оборудованных системами автоматического регулирования, что обеспечивает высокую стабильность их электрических характеристик. Даны практические рекомендации по применению сигнально-блокировочных кабелей не только на железнодорожном транспорте, но и в других ведомствах, где используются симметричные кабели связи.

Ключевые слова: *сигнально-блокировочные кабели, технология производства, нормативные документы, низкочастотные характеристики, высокочастотные характеристики*

Общие положения

Совершенствование кабельной инфраструктуры железных дорог является неотъемлемой частью развития технологических сетей сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) железных дорог.

Сигнально-блокировочные кабели обеспечивают функционирование железнодорожной автоматики и телемеханики. По их цепям передаются сигналы управления и электрическое питание систем сигнализации, централизации и блокировки [1].

В настоящее время сигнально-блокировочные кабели изготавливаются в соответствии с техническими условиями (ТУ). Например, по ТУ 16.К71-297-2000, разработанным Всероссийским научно-исследовательским институтом кабельной промышленности (ВНИИКП) [2]. Сравнительно недавно был выпущен новый стандарт

ГОСТ 34679-2020, в котором стали нормироваться важные для практического использования кабелей высокочастотные характеристики [3].

На технологических сетях СЦБ находят применение сигнально-блокировочные кабели с однопроволочными и многопроволочными токопроводящими жилами. Сейчас в научно-технических источниках информации отсутствуют систематизированные данные результатов исследований электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей. В этой связи исследование электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей становится достаточно актуальным. В статье исследуются электрические характеристики сигнально-блокировочных кабелей производства АО «Самарская кабельная компания».