

АНАЛИЗ МЕТОДОВ поиска трассы и локализации мест повреждений полностью диэлектрического оптического кабеля

В.Гуреев, аспирант ПГУТИ,
Б.Попов, к.т.н., профессор ПГУТИ,
В.Попов, к.т.н., профессор ПГУТИ / inkat@inbox.ru,
К.Яблочкин, к.т.н., доцент ПГУТИ

УДК 621.315.23, DOI: 10.22184/2070-8963.2021.100.8.26.31

В статье представлен анализ методов поиска трассы линии связи и локализации мест повреждений полностью диэлектрического оптического кабеля. Показано, что для этих целей наиболее перспективно совместное применение электронного маркирования и систем акустического мониторинга с использованием оптических волокон кабеля в качестве распределенного акустического сенсора.

ВВЕДЕНИЕ

Техническая эксплуатация линейно-кабельных сооружений (ЛКС) волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) производится в целях обеспечения надежной и безотказной работы информационной инфраструктуры с требуемым коэффициентом готовности. Она включает в себя охранно-предупредительную работу, оперативный контроль технического состояния, планово-профилактические работы (ППР), ремонтно-восстановительные и аварийно-восстановительные работы (АВР).

В процессе строительства и технической эксплуатации кабельных линий связи возникает необходимость определения точного местоположения ЛКС. Трассопоисковые работы особенно важную роль играют для подземных коммуникаций.

В настоящее время наиболее широкое применение на кабельных линиях связи нашли

индукционные методы. На рынке представлен большой выбор средств для реализации данных методов. Однако индукционные методы неприменимы на трассах полностью диэлектрических кабелей.

Вместе с тем, возможность создания полностью диэлектрических конструкций является одним из существенных преимуществ оптических кабелей (ОК). Такие конструкции ОК подвешиваются на линиях высокого напряжения (ЛВН), контактной сети электрифицированных железных дорог (эл.ж.д.). При прокладке в грунт полностью диэлектрические кабели не требуют дополнительной защиты на участках сближения с ЛВН и эл.ж.д., оборудования заземлений и контрольно-измерительных пунктов (КИП) и других дополнительных мер по обеспечению электробезопасности. Однако, как уже было отмечено выше,

для их технического обслуживания все же необходимы методы и средства поиска трассы прокладки полностью диэлектрического кабеля и локализации его мест повреждения.

Отдельно следует сказать о применении трассопоисковых методов на ЛКС получающей все большее распространение транспортной многоканальной коммуникации (ТМК) волоконно-оптических линий связи. В общем случае ТМК предполагает прокладку в пластиковых каналах кабелей с металлическими проводниками, которые могут использоваться для выполнения трассопоисковых работ индукционными методами. Однако в этом случае тоже требуется применение дополнительных мер по электробезопасности, включая оборудование заземлений, КИП и т.п., что зачастую нежелательно, а в случае прокладки пакетов микротрубок в минитраншеи вдоль автомобильных дорог и не всегда возможно. Как следствие, задачи строительства и технической эксплуатации ВОЛС с полностью диэлектрическим оптическим кабелем на участках ЛКС ТМК без металлических проводников требуют разработки методов и средств определения местоположения коммуникаций.

В соответствии с изложенным выше, актуальными являются проведение анализа трассопоисковых методов и выбор на его основе способов поиска трассы и локализации мест повреждений полностью диэлектрического оптического кабеля.

Анализ трассопоисковых методов и средств

Как отмечено выше, наибольшее распространение на кабельных линиях связи получил индукционный метод уточнения местоположения кабеля на местности [1, 2]. В основе метода лежит подключение тем или иным способом генератора к однопроводной цепи кабеля, измерение распределения над кабелем магнитного поля, создаваемого протекающим в этой однопроводной цепи током, и определение местоположения кабеля по результатам анализа этого распределения. Естественно, что при отсутствии металлических проводников на ЛКС этот метод неприменим.

Вместе с тем, коллективом авторов из ПГУТИ был предложен способ применения индукционного метода для уточнения местоположения подземной ТМК [3]. Данный способ заключается в прокладке на время проведения трассопоисковых работ изолированного проводника в свободном канале ТМК между смотровыми

устройствами на обследуемом участке трассы и определении местоположения проводника и глыбины прокладки традиционными индукционными методами.

Для ввода этого проводника в канал ТМК наиболее предпочтителен метод пневмопрокладки. Поскольку расположение микротрубки с проводником в пакете микротрубок и конструкция пакета известны, то, определив местоположение проводника в ТМК, можно найти трассу всего пакета микротрубок ТМК, ОК и, при необходимости, уточнить место повреждения оптических волокон кабеля на трассе. По завершении трассопоисковых работ на участке проводник извлекается из канала ТМК.

Основной недостаток данного способа заключается в необходимости доступа в смотровое устройство. Учитывая, что в подавляющем большинстве случаев люки смотровых устройств ТМК находятся под слоем грунта, для доступа в смотровое устройство необходимо выполнить работы по поиску люка, разработке и последующему восстановлению покрытия над ним. Это, не считая работ по прокладке провода в канале ТМК и последующего его извлечения. Таким образом, реализация данного способа требует выполнения большого объема дополнительных работ.

Для идентификации и фиксации местоположения подземных коммуникаций и их элементов широкое применение находят системы электронного маркирования [4, 6]. Системы электронного маркирования позволяют определять местоположение объектов с точностью до нескольких сантиметров. Наибольшее распространение получили сосредоточенные электронные маркеры с самовыравнивающейся антенной, которая помещена в корпус, имеющий форму шара, частично заполненный незамерзающей жидкостью. Все остальные типы электронных маркеров требуют выравнивания их относительно поверхности грунта.

Как правило, применяются интеллектуальные маркеры, которые отличаются встроенной в низкочастотный резонансный контур микросхемой памяти, позволяющей записывать пользовательскую информацию [3, 6]. Благодаря функции чтения/записи пользовательских данных можно не только отыскать подобный маркер, но и с поверхности грунта считать с него информацию об объекте.

Для маркирования протяженных объектов, в частности кабеля или пакетов микротрубок, используют электронную маркерную ленту или электронный маркерный шнур [7, 8]. Маркерная

лента представляет собой полимерную ленту, на которой с интервалом около 2,0 м закреплены кластеры антенн электронных маркеров. Лента прокладывается над кабелем или пакетом микротрубок. Ее не требуется подключать к генератору для трассировки, не надо обустраивать для нее КИП.

Лента не подвержена воздействию электромагнитных наводок и не повреждается от коррозии. Повреждение ленты, вплоть до удаления какого-либо ее фрагмента, не влияет на качество трассировки с ее помощью. При этом сращивать части ленты не требуется. Вместе с тем, обеспечить ее выравнивание и закрепление в заданном положении на практике достаточно сложно. Если грунт размывается, смещается и т.п., положение ленты изменяется, что влияет на качество трассировки. Этот недостаток присущ и всем электронным маркерам без самовыравнивания.

Коллективом авторов из ПГУТИ вместо шнура предложено использовать электронный маркерный пруток, представляющий собой обладающий необходимой жесткостью полимерный стержень (или трубку) с внешним диаметром 6–12 мм, на котором с шагом 2–2,5 м закреплены антенны электронных маркеров [9]. При этом, в отличие от электронной маркерной ленты или шнура, за счет увеличения жесткости он обладает свойством самовыравнивания и может быть введен в канал ТМК методом пневмопрокладки.

Применение системы электронного маркирования требует дооборудования ЛКС. Для отдельно проложенного ОК это может быть выполнено только при строительстве ВОЛС. На линиях ТМК ВОЛС это может быть осуществлено и после ввода объекта в эксплуатацию за счет прокладки электронного маркерного прутка в свободном канале ТМК. Однако основным недостатком электронных маркеров является их ограниченный радиус действия, который для глубины прокладки 0,3–1,2 м составляет всего 0,2–0,6 м. Это требует привязки местоположения маркера на местности.

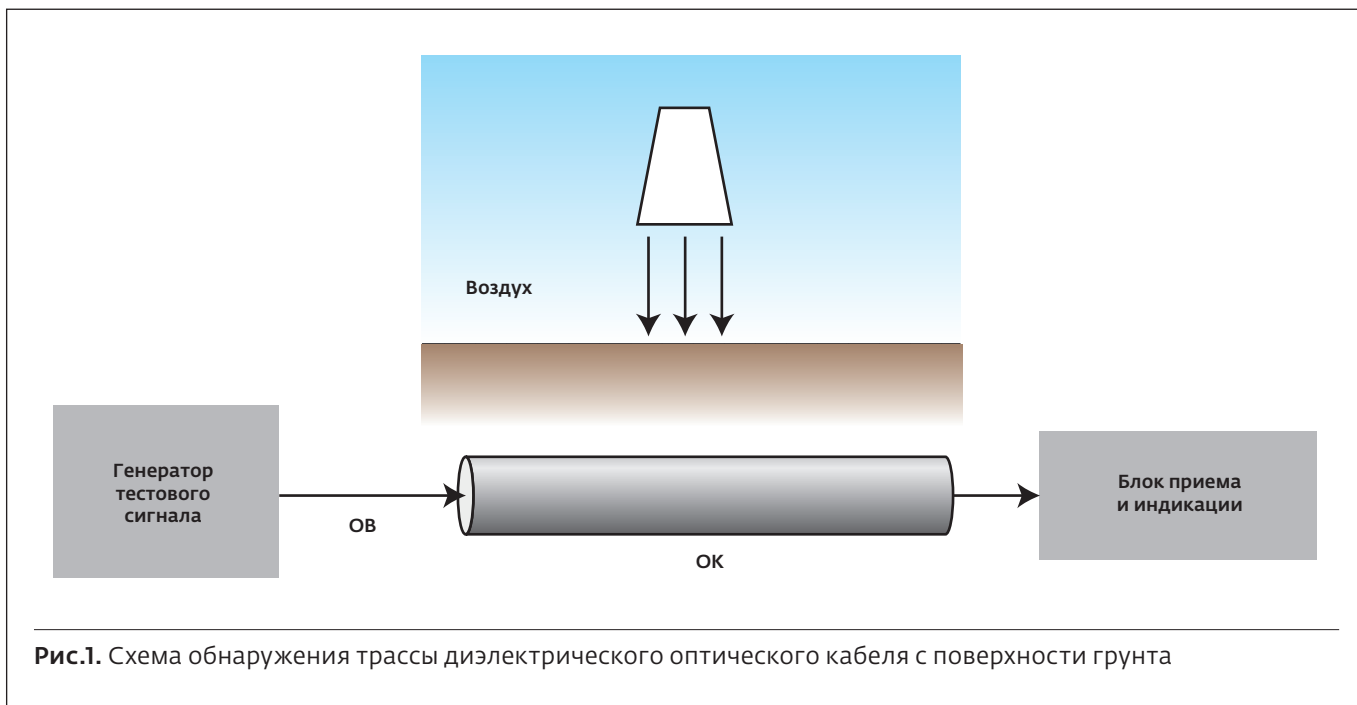
Привязки с помощью систем GPS/ГЛОНАСС, предусмотренные системами электронного маркирования, к сожалению, как показал опыт их эксплуатации на трубопроводах, не решают проблемы. Даже на открытой местности погрешности при определении координат с использованием спутниковых навигационных приемников упомянутых систем составляют для различных приемников 20–60 м [5]. Следует также отметить, что системы электронного маркирования не позволяют осуществлять локализацию места повреждения кабеля на трассе.

В целом, применение системы электронного маркирования на трассах полностью диэлектрического кабеля и на ЛКС ТМК ВОЛС весьма перспективно для уточнения местоположения и глубины прокладки кабеля, элементов ТМК при совместном использовании с методами и средствами, обеспечивающими ограничение области поиска маркера и возможность локализации места повреждения кабеля. Учитывая, что сегодня системы электронного маркирования представлены на рынке России в основном продукцией зарубежных производителей, целесообразно разработать отечественную систему электронного маркирования протяженных объектов с патентной защитой заложенных в ней решений.

Для поиска подземных коммуникаций, обнаружения их повреждений при производстве земляных работ в процессе строительства различных объектов хорошо зарекомендовали себя широко используемые в геофизике радиолокационные методы [5]. Метод георадиолокации основан на зондировании подповерхностного пространства импульсами электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов зондируемой среды. Отражения имеют место на границах раздела сред с разным волновым сопротивлением. Приборы, реализующие принципы георадиолокации, называют георадарами. Георадары способны обнаруживать инженерные коммуникации из любых, в том числе полностью диэлектрических материалов, выявляя объекты, отличающиеся по плотности от окружающего их грунта. Очевидно, что георадары могут быть использованы и для определения местоположения полностью диэлектрических ОК, а также пакетов микротрубок.

Анализ возможностей применения георадара для поиска проложенных в земле оптических кабелей и микротрубок, проведенный в [10], показал следующее. Для обнаружения объекта длина волны зондирующего сигнала георадара должна быть менее поперечных размеров объекта. ОК, как правило, имеют диаметр менее 1–2 см. При такой длине волны вызывает сомнение надежный поиск георадаром оптических кабелей на принятой глубине прокладки кабелей связи в грунт 0,8–1,2 м. Особенно это касается плотных грунтов.

Высокая проводимость мелкозернистых осадочных пород, а также высокий уровень грунтовых вод приводят к сильному поглощению сигнала, а камни и другие включения в грунте – к его рассеиванию. Все это существенно ограничивает глубину поиска георадаром. Вместе с тем представленные данные позволяют полагать, что георадары



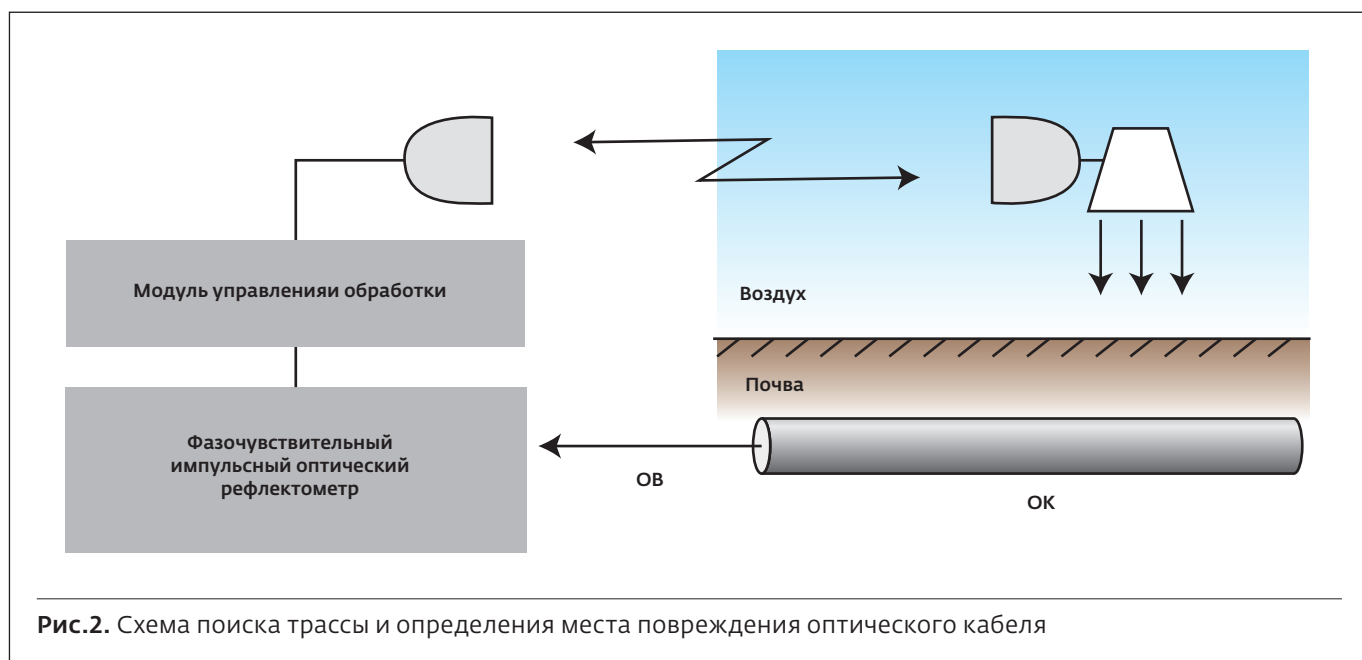
обеспечат уверенный поиск на этой глубине защитных трубопроводов диаметром более 32 мм, а также пакетов микротрубок в минитраншеях на глубине 0,3–0,5 м. При этом полимерные трубки с оптическими кабелями воспринимаются георадаром как один объект, не различая кабели в трубках. Определенные трудности применения георадаров связаны с интерпретацией радиолокационных снимков, что требует привлечения опытных специалистов высокой квалификации. Также, необходимо учитывать, что радиолокационные способы не могут быть использованы для локализации мест повреждения кабеля.

Для обнаружения полимерных труб достаточно широко применяются методы акустической локализации [11]. Эти методы не подходят для поиска диэлектрического оптического кабеля, но могут быть использованы для нахождения микротрубок. Данные методы основаны на возбуждении акустических волн вдоль трубы за счет воздействия на нее источника локального вибрационного воздействия, измерении распределения уровней звукового сигнала над трубой с помощью сосредоточенных акустических сенсоров и определении местоположения трубы по результатам обработки этих распределений. С точки зрения трассопоисковых работ на ТМК основным недостатком данных методов является необходимость прямого доступа к микротрубкам и, соответственно, в смотровые

устройства. Связанные с этим проблемы были рассмотрены выше.

Давно уже установлено, что оптическое волокно является хорошим акустическим сенсором [12]. Естественно, что этот факт можно использовать для поиска оптических кабелей. Известен способ обнаружения трассы диэлектрического ОК с поверхности грунта [13], базирующийся на использовании оптического волокна в качестве амплитудного распределенного акустического сенсора (см. рис.1).

Этот способ заключается в том, что по волокну кабеля передают модулированный оптический испытательный сигнал, который принимают на дальнем конце с помощью фотоприемника, а на поверхность над кабелем оказывают механическое воздействие от источника низкочастотных механических колебаний. В результате действия механических колебаний на кабель оптическое волокно изгибается в зоне механического воздействия. Из-за переменного во времени локального изгиба этого волокна в нем возрастают потери и передаваемый сигнал ослабляется. При продольно-поперечном перемещении локального источника низкочастотных механических колебаний относительно предполагаемой трассы кабельной линии по поверхности над кабелем величина потерь изменяется. Местоположение ОК определяют в месте расположения локального источника низкочастотных механических колебаний, в котором ослабление



принимаемого фотоприемником модулированного оптического сигнала наибольшее.

Определенные неудобства для реализации данного способа создает необходимость подключения к кабелю с двух сторон участка. Но основной его недостаток заключается в том, что для формирования изгиба оптического волокна в проложенном в земле кабеле, приводящего к изменению потерь оптического излучения в волокне, источник низкочастотных механических колебаний должен иметь очень большую мощность и, как следствие, большое потребление энергии, а также значительные массогабаритные характеристики. Все это существенно ограничивает возможности практической реализации данного способа в полевых условиях.

Более предпочтительно для трассопоисковых методов применение оптического волокна кабеля в качестве фазового распределенного акустического сенсора. Системы, включающие фазочувствительные оптические рефлектометры, подключаемые к ОК, используемым в качестве распределенных акустических сенсоров, в настоящее время достаточно широко применяются для контроля нефтяных скважин, в системах охраны протяженных объектов, в технологиях "умная дорога" и т.п. [14]. Очевидно, что подобное оборудование может быть применено и для трассопоисковых работ. Коллективом авторов ПГУТИ был разработан и запатентован способ поиска трассы и определения места повреждения оптического кабеля на основе использования оптического волокна кабеля в качестве фазового распределенного акустического сенсора (рис.2) [15].

Данный способ заключается в том, что над кабелем перемещают источник акустического сигнала и при помощи фазочувствительного оптического рефлектометра с подключенным к нему в качестве распределенного акустического датчика оптического волокна кабеля измеряют уровни принимаемых сигналов в зависимости от местоположения источника акустического сигнала и на основании анализа этих зависимостей определяют местоположение кабеля. А по результатам сравнения данных зависимостей с характеристиками обратного рассеяния поврежденных волокон, измеренных обычным импульсным оптическим рефлектометром обратного рэлеевского рассеяния, уточняют место повреждения ОК на местности.

Естественно, что реализация данного способа на практике требует разработки методик и средств измерения, полевых трассопоисковых комплектов и соответствующего ПО. Вместе с тем, потенциальные возможности систем волоконного акустического мониторинга с оптическими волокнами в качестве распределенных акустических сенсоров (Distributed Acoustic Sensors – DAS) и предварительно полученные экспериментальные данные позволяют говорить о перспективности данного способа для трассопоисковых работ на ЛЭС полностью диэлектрического оптического кабеля. Наиболее целесообразным представляется применение трассопоисковых методов на основе DAS совместно с системой электронного маркирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа возможных вариантов решения проблемы поиска трассы прокладки и локализации мест повреждения для полностью диэлектрических оптических кабелей и ТМК ВОЛС наиболее перспективным подходом видится совместное применение методов на основе систем акустического мониторинга с использованием оптического волокна кабеля в качестве распределенного акустического сенсора и системы электронного маркирования.

Внедрение системы электронного маркирования требует дооборудования ЛКС ВОЛС электронными маркерами. Для массового их применения на сетях связи России целесообразна разработка отечественного аналога данных систем с усовершенствованными антенными системами электронных маркеров, обеспечивающих эффект "самовыравнивания", и патентованием заложенных в них решений.

Для практического применения трассопоискового способа с использованием оптического волокна в качестве акустического распределенного датчика необходима разработка методик и средств измерения, соответствующего программного обеспечения и полевых трассопоисковых комплектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. МДС 11-21.2009. Методика определения точного местоположения и глубины залегания, а также разрывов подземных коммуникаций (силовых, сигнальных кабелей, трубопроводов газо-, водоснабжения и др.), предотвращающих их повреждения при проведении земляных работ. М.: ОАО «ЦПП», 2010. 41 с.
2. **Zhu K.** Analysis of response of the electromagnetic induction for detection of buried objects // Proceeding of International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium. 1996. Vol. 4. PP. 2041–2043.
3. Заявка на патент 2020139022 RU. Способ поиска трассы прокладки и определения глубины прокладки пакета микротрубок без металлических элементов на волоконно-оптической линии связи / В.А. Бурдин; ФГБУВО ПГУТИ; 27.11.2020.
4. Рекомендации по маркированию кабельных линий связи с применением электронных маркеров ЗМ EMS. М.: ЗМ, 2013. 8 с.
5. **Блинов И.Г., Старочкин А.В., Валюшок А.В.** Проблемы позиционирования на местности при проведении комплексного обследования

- магистральных трубопроводов // Коррозия Территории Нефтегаз. 2017. № 2(37). С. 24–26.
6. RD7100 Universal precision electromagnetic and RF marker locator. Userguide. 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.radiodetection.com/sites/default/files/product-downloads/rd7100_rf_marker_locator_userguide.pdf?buster=JMH_umPy (дата обращения 16.05.2021).
 7. 3M Electronic Marking System (EMS) Caution Tape 7600 Series. Installation Instructions. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://multimedia.3m.com/mws/media/10341670/3m-electronic-marking-system-ems-caution-tape-7600-series.pdf> (дата обращения 16.05.2021).
 8. 3M Electronic Marking System (EMS) Rope 7700 Series Locatable Rope for Horizontal Directional Drilling and Direct Bury. Application Instructions. – 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://equipmentcontrols.com/wp-content/uploads/2020/05/78-8141-8030-9-rev-B.pdf> (дата обращения 16.05.2021).
 9. Заявка на патент 2021114637 RU Способ электронного маркирования трассы оптоволоконного кабеля / В.А.Бурдин, Д.С.Клюев, О.В.Осипов; ФГБОУ ВО ПГУТИ; 24.05.2021.
 10. **Vajčeta V.** Analysis of the capabilities of the detection of underground optical lines using ground penetrating radar scanning technology // Researches Review DGTH. 2017. Vol. 46-2. PP. 123–127.
 11. Патент 2482515C1 RU Способ определения расположения трубопровода / А.Е.Кондратьев, А.Р.Загретдинов, С.О.Гапоненко; ФГБОУ ВПО КГЭУ. № 2011151380/28, заявл. 15.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14. 6 с.
 12. **Harmer A.L.** Principles of Optical Fibre Sensors and Instrumentation // Measurement and Control. 1982. Vol. 15(4). PP. 143–151.
 13. Патент 1818600 SU Способ обнаружения трассы диэлектрического оптического кабеля с поверхности грунта и устройство для его осуществления / Э.Г.Жариков, Т.В.Макаров, В.Г.Николаев, В.К.Сидоркин; Одесский ЭИС им. А.С.Попова. № 4865602/21, заявл. 10.09.1990; опубл. 30.05.1993, Бюл. № 20. 3 с.
 14. Волоконно-оптические технологии для морских нефтегазовых месторождений // Neftegaz. RU. 2017. № 8(68). С. 72–78.
 15. Патент 2656295 RU Способ поиска трассы и определения места повреждения оптического кабеля / В.А.Бурдин; ФГБОУ ВО ПГУТИ. № 2017111420, заявл. 04.04.2017; опубл. 04.06.2018. Бюл. № 16. 10 с.