

References

1. 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. *Reflektometria opticheskikh 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-opticheskikh 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. *Izmereniya na VOLPvetodom obratnogo rassejaniya* [Optical reflectometry measurements on fiber optical lines]. Samara, SRTTC PSUTI, 2011. 121 p.
5. 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. *Volokonnoy optika. Komponenty, sistemy peredachi, izmereniya* [Fiber optic. Components, telecommunication systems, measurements]. Moscow, SYRUS SYSTEMS Publ., 1999. 671 p.
8. Gauer J. *Opticheskie sistemy 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 svyazi* [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-оптиче-

ских линий связи [1]. Основная задача строительства волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) – это обеспечение надежной и безаварийной

эксплуатации нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. За счет внедрения волоконно-оптических линий передачи обеспечивается повышение надежности функционирования магистральных нефтепроводов в целом, создание технической основы для модернизации систем технологического управления и контроля за работой всех объектов нефтепроводного транспорта и использования современных информационных систем при решении производственных и управленческих задач.

К наиболее масштабным с точки зрения объемов строительства и применения новых технологий следует отнести проекты «Магистральный нефтепровод «Куюмба – Тайшет». Сети связи», «ВОЛС магистрального нефтепровода (МНП) Заполярье – Пурпе» [2-5]. Данные проекты реализуются в суровых условиях Западной и Восточной Сибири. Эти регионы имеют свои климатические особенности, с которыми раньше не приходилось сталкиваться. Это высокие перепады температур, сильнейшие ветры, тундра, болота, вечная мерзлота. Труднодоступность площадок строительства, заболоченность местности, предельно низкие температуры накладывают существенные условия к технологиям, методам строительства. Все это потребовало разработки и применения новых технологий.

В данной статье представлен анализ особенностей строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий для нефтепроводной структуры в таких экстремальных условиях, на основе которого сформулированы основные проблемы и намечены способы их решения.

С суровыми климатическими условиями пришлось столкнуться при реализации проекта «Магистральный нефтепровод «Куюмба – Тайшет». Сети связи», расположенного в Красноярском крае и Иркутской области, общая протяженность которого составляет 742 км, в том числе: Красноярский край – 551 км; Иркутская область – 191 км.

Среднегодовая температура воздуха в районе прохождения проектируемой трассы ВОЛС изменяется с юга на север от $-0,7^{\circ}\text{C}$ до $-6,1^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температура самого холодного месяца, января, изменяется соответственно от $-19,5^{\circ}\text{C}$ до $-29,8^{\circ}\text{C}$, самого теплого, июля, от $18,3^{\circ}\text{C}$ до $17,2^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает 36°C , абсолютный минимум – 61°C .

Основная часть территории районов водонасыщена (проектируемая трасса волоконно-оптической линии связи пересекает 92 водных объек-

та). Основной сток воды (60% годового объема) приходится на весеннее половодье, которое начинается в первой половине мая и длится около двух месяцев. Почвенный покров весьма разнообразен и насыщен мерзлотно-торфяными болотами, скальными и карстовыми породами.

С не менее сложными климатическими условиями столкнулись при строительстве магистрального нефтепровода по маршруту Заполярье – пос. Пурпе – Саянск для транспортировки нефти из районов Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) и северного района Красноярского края [5]. Строительство нефтепровода по плану осуществлялось в два этапа. Первый этап был завершен в 2011 г. строительством нефтепровода на участке Пурпе – Саянск протяженностью 429 км. Второй этап был завершен в 2016 г. строительством нефтепровода Заполярье – Пурпе.

В процессе строительства осваивались недоступные ранее районы Заполярья и севера Красноярского края. Эти районы имеют свои климатические и геологические особенности, с которыми раньше не приходилось сталкиваться. Абсолютный перепад температур составляет от -56°C зимой до $+34^{\circ}\text{C}$ летом. Сильные ветры со скоростью свыше 40 м/с, тундра с карликовой растительностью, болота, значительные территории с вечной мерзлотой. Протяженность строящегося магистрального нефтепровода «Заполярье – НПС «Пурпе» составляет 487 км диаметрами 1020 мм (336 км) и 820 мм (151 км). Трасса нефтепровода проходит в условиях сильно обводненной, болотистой местности и линзовой вечной мерзлоты по территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов Тюменской области. Помимо арктического климата район строительства характеризуется уникальными геологическими и гидрологическими условиями. Пересекает 180 водных преград (рек, проток, стариц, озер, ручьев), из них две судоходные реки: Таз (ширина 480 м, глубина 13 м) и Пур (ширина 650 м, глубина 3,4 м).

Традиционно нефтепроводы прокладываются подземно. Особенность же данного проекта заключается в том, что 310 км линейной части магистрального нефтепровода (64% от общей протяженности трубопровода) будут проложены способом надземной прокладки на специальных опорах и 36% протяженности, или 178 км, подземно. Также надземная прокладка будет осуществлена на переходах нефтепровода через 118 малых водных преград (шириной в межень по зеркалу воды от 10 до 25 м и глубиной менее 1,5 м

или шириной менее 10 м независимо от глубины).

Применение новых технических решений во многом обусловлено необходимостью сохранения экологии в районе прокладки нефтепроводов. Природа тундры очень уязвима, требует особенно внимательного отношения к себе. Поэтому, чтобы не потревожить местную биосферу, почти все работы ведутся зимой. В другое время года запрещен даже проезд, чтобы не повредить мох ягель.

Перечисленные выше условия и специфика строительства трубопроводной системы не могли не отразиться на реализации строительства технологических волоконно-оптических кабельных линий. Здесь следует отметить, что прокладку кабеля первоначально предполагалось организовать преимущественно вдоль магистрального нефтепровода. Однако по результатам детального анализа инфраструктуры и особенностей региона было принято решение о замене технических решений и организации строительства волоконно-оптической линии связи путем подвеса на вдольтрассовые опоры высоковольтных линий электропередачи. При этом, как уже было отмечено ранее, самый удобный для строительства сезон – зима, когда многочисленные болота и водоемы Севера схвачены толстым слоем льда. Соответственно, работы по прокладке и монтажу оптического кабеля велись при экстремально низких отрицательных температурах. Суровые природные условия не только предъявляют специфические требования к используемой технике, кабелю и кабельной арматуре, но и требуют особых подходов в вопросах выполнения санитарных норм и обеспечения максимально возможного комфорта людей.

Сложнейшие геологические условия, отсутствие инфраструктуры, перепад температур ставит задачи внедрения новых технологий организации строительства волоконно-оптических линий связи для последующего достижения максимально возможного срока эксплуатации кабелей связи. Ресурсы кабельной продукции и специальной техники при низких отрицательных температурах ограничены. Это ставит коррективы в организации работы. Она осуществлялась в нескольких рабочих сменах.

Входной контроль кабельной продукции был организован в специально отведенных обогреваемых боксах. После проверки целостности изоляции транспортировка на площадки строительства производится исключительно после полной

просушки кабеля во избежание деформации и повреждения.

Подготовка к монтажу волоконно-оптического кабеля ведется с использованием специальной гусеничной техники, которая выполняет «наморозку» болотистых участков трассы в период предельно низких температур.

Специальные палатки и тепловые пушки помогают обеспечить обогрев кабельной продукции в процессе монтажа в грунт на предусмотренных проектом участках. Следует отметить, что в условиях вечной мерзлоты кабель укладывается в заранее подготовленную траншею после предварительно выполненного пропила, что ставит определенные задачи перед монтажными бригадами в части достижения постоянного процесса и последовательности выполнения операций.

Очевидно, что 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, которые должны не только эксплуатироваться, но и допускать монтаж при низких температурах;
- ужесточаются допуски на выполнение технологических операций, особенно по прокладке и монтажу кабеля.
- существенно возрастает роль человеческого фактора, значительно увеличивается цена ошибки.

Отсюда следует особая роль контроля качества выполнения работ. Предусмотренные регламентом измерения на разных стадиях строительства линии включают измерения при входном контроле барабанов с оптическим кабелем, измерения после прокладки кабеля, измерения в процессе монтажа строительных длин кабеля, контрольные измерения на смонтированном кабельном участке [6]. Основным средством измерений является стандартный импульсный оптический рефлектометр (Optical Time Domain Reflectometer – OTDR). При этом измерения фактически сводятся к определению потерь в оптических волокнах кабеля. К сожалению, приходится констатировать, что предусмотренные регламентом измерения не позволяют оценивать состояние оптического кабеля, а лишь определяют соответствие отдельных параметров оптических волокон кабеля принятым нормам [7-9].

Известно, что срок службы оптического волокна в кабеле определяется исходной прочностью оптического волокна и приложенными к нему механическими нагрузками [10-11]. Соответственно, методики оценивания состояния оптических волокон в кабеле и прогноза срока его службы базируются на измерениях распределений механических напряжений на оптических волокнах вдоль длины кабеля [7; 12-14]. Для выполнения этих измерений рекомендован импульсный оптический рефлектометр рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer – BOTDR) [7-8; 12-17]. К сожалению, высокая стоимость данного средства измерений ограничила его широкое распространение, и в частности применение в качестве полевого прибора при строительстве волоконно-оптических линий передачи. Кроме того, следует отметить низкую чувствительность BOTDR к радиальным нагрузкам, в частности напряжениям на изгибах волокна [15-17], что может потребовать использования дополнительных средств измерений [13].

В качестве альтернативы BOTDR могут быть рассмотрены средства для измерений распределений избыточной длины волокна вдоль длины кабеля. Избыточная длина волокна в кабеле достаточно давно и успешно используется производителями кабельной продукции для оценки качества кабельных изделий [18-23]. Этот параметр связан с кривизной, радиусами изгиба волокна и, соответственно, с напряжениями на изгибах волокна [14; 18-24]. Можно полагать, что при отсутствии внешних нагрузок на кабель напряжения в оптических волокнах кабеля практически полностью определяются изгибами. То есть их избыточной длиной. Это позволяет использовать распределения избыточной длины волокон в кабеле в качестве оценки состояния кабеля. При этом критерием являются не только значения оценок избыточной длины волокна, но и степень равномерности распределения их по длине кабеля.

В процессе изготовления оптического кабеля за счет комплекса мер, включая применение систем автоматизированного контроля при производстве модулей оптического кабеля [25-27], обеспечивают равномерное распределение кривизны оптических волокон вдоль кабеля. Соответственно, степень нарушения этой равномерности характеризует соблюдение технологии прокладки кабеля. При этом следует учитывать, что избыточная длина волокна увеличивается с понижением температуры [19-20; 28], что упро-

щает ее контроль в нашем случае. Вышесказанное позволяет рекомендовать измерения распределений избыточной длины волокна вдоль длины кабеля для контроля качества выполнения работ по прокладке и монтажу оптического кабеля при низких отрицательных температурах.

Известны рефлектометрические методы измерений распределения избыточной длины волокна по длине кабеля, базирующиеся на определении потерь на изгибах оптического волокна [24; 29-33]. Вместе с тем необходимо учесть, что производители оптического кабеля стремятся минимизировать потери за счет изгибов волокон в кабеле [19-20]. Это ограничивает возможности применения данных методов и требует дополнительных мер, например использования специальных рефлектометров, разработанных для измерений потерь на изгибах [34]. Однако внедрение на сетях оптических волокон с малыми потерями на изгибах, соответствующих рекомендациям G.657 [35], делает такой подход малоперспективным.

Предпочтение, на наш взгляд, следует отдать предложенному в работе [30] способу измерений распределений избыточной длины волокна по длине кабеля, базирующемуся на измерениях поляризационных характеристик обратного рассеяния оптических волокон. Данные измерения реализуются с помощью поляризационного импульсного оптического рефлектометра (Polarization Optical Time Domain Reflectometer – POTDR) [36-37]. Двулучепреломление оптического волокна изменяется на изгибах под действием радиальных и растягивающих нагрузок [36-37]. Это отображается поляризационными характеристиками обратного рассеяния. В отличие от методов, базирующихся на измерениях потерь на изгибах, данный метод применим и для волокон, соответствующих рекомендациям G.657. Он с одинаковым успехом может быть использован для одномодовых волокон, соответствующих рекомендациям G.652-G.655 и G.657. При этом метод на основе POTDR более универсален по сравнению BOTDR, поскольку поляризационные характеристики чувствительны как к радиальным, так и продольным нагрузкам. Реализация метода требует разработки эффективных методик измерения поляризационных характеристик обратного рассеяния, оптимальных алгоритмов обработки этих характеристик и собственно разработки специализированного POTDR, предназначенного для измерений распределений механических напряжений в оптическом волокне вдоль длины кабеля.

Таким образом, на сегодняшний день одной из основных проблем при реализации строительства ВОЛС в экстремальных условиях Севера является отсутствие относительно недорогих полевых средств измерений для оценивания состояния оптического кабеля. Это не позволяет эффективно контролировать качество выполнения работ по прокладке и монтажу оптического кабеля в условиях, когда вероятность ошибки велика. Подобные средства измерений могут быть реализованы на основе или BOTDR, или POTDR. И в том, и в другом случае требуется разработка недорогого полевого прибора. При этом POTDR потенциально позволяет создать более универсальный прибор.

Литература

1. Долгосрочная программа развития ПАО «Транснефть» 2016 – 2020 года // URL: http://www.transneft.ru/u/section_file/11882/29-12-2014-1.pdf (д.о. 24.04.2017).
2. Токарев Н.П. Публикация ПАО Транснефть в журнале-каталоге «Транспортная безопасность и технологии» ОАО «АК «Транснефть» // <http://www.transneft.ru/press/Re-leases/view/id/10232> (д.о. 24.04.2017).
3. Заявление Экспертного совета ОАО «АК «Транснефть» «Об инновационном подходе в реализации инфраструктурных проектов в Западной Сибири» // <http://www.transneft.ru/ekspertniisovet/zayavleniya-i-dokladi/?id=4892> (д.о. 25.04.2017).
4. Стенограмма XII заседания Экспертного совета ОАО «АК «Транснефть» «Долгосрочная стратегия развития ОАО «АК «Транснефть» до 2020 года» // <http://www.transneft.ru/ekspertniisovet/stenogrammi-zasedanii/?id=5482> (д.о. 25.04.2017).
5. Лисин Ю.В., Сапсай А.Н., Суриков В.И. и др. Создание и реализация инновационных технологий строительства в проектах развития нефтепроводной структуры Западной Сибири (проекты «Пурпе – Саянск», «Заполярье – Пурпе») // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. №4 (12), 2013.
6. ВСН 51-1.15-004-97 Инструкция по проектированию и строительству волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) газопроводов. РАО «Газпром», 22.05.1997.
7. Koga H., Kuwabara T., Mitsunaga Y. Future maintenance systems for optical fiber cables // ICC-91 Proceedings, 1991. – P.0323-0329.
8. Ситнов Н.Ю., Горлов Н.И. Анализ современного состояния техники ранней диагностики ВОЛП // Инфосфера. №46, 2010. – С.5-12.
9. Бурдин В.А., Воронков А.А., Шафигуллин Л.Н. Эффективность применения прогнозирующих стратегий технического обслуживания ОК // Вестник связи. №7, 2012. – С. 5-8.
10. Glaesemann G.S. Optical fiber failure probability predictions from long-length strength distributions // IWCS Proceedings, 1991. – P. 819- 825.
11. Semjonov S.L., Glaesemann G.S. High-speed tensile testing of optical fibers – new understanding for reliability prediction // Berlin: Springer, Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging. Vol. 1, 2007. – P. 595-626.
12. Kurashima T., Horiguchi T., Yoshizawa N., Tada H., Tated M. Measurement of distributed strain due to laying and recovery of submarine optical fiber cable // Applied Optics. Vol. 30, Iss. 3, 1991. – P. 334-337. doi: 10.1364/AO.30.000334.
13. Sankawa I., Koyamada Y., Furukawa S. I. e.a. Optical fiber line surveillance system for preventive maintenance based on fiber strain and loss monitoring // IEICE Transactions on Communications. E76-B(4), 1993. – P. 402-409.
14. Kurashima T., Hogari K., Matsushashi S. e.a. Measurement of Distributed Strain in Frozen Cables and its Potential for Use in Predicting Cable Failure // Journal of Optical Communications. Vol. 18, Iss. 5, 1997. – P. 168-173. doi: 10.1515/JOC.1997.18.5.168.
15. Акопов С.Г. Контроль бриллюэновским рефлектометром технологии производства оптических кабелей // Вестник связи. №4, 2003. – С. 136-138.
16. Корн В.М., Длютров О.В., Авдеев Б.В., Барышников Е.Н. О применении метода мандельштам-бриллюэновского рассеяния для измерения характеристик оптических кабелей // Кабели и провода. № 5 (288), 2004. – С. 19-21.
17. Акопов С.Г., Васильев Н.А., Поляков М.И. Использование бриллюэновского рефлектометра при испытаниях оптического кабеля на растяжение // Lightwave RE. №1, 2006. – С. 23-25.
18. Natano S., Kokubun T., Hogari K., Katsuyama Y. Fiber excess length in a cable containing optical fiber ribbons // Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics). Vol. 70, Iss. 9, 1987. – P. 82-90. doi: 10.1002/ecjb.4420700909.
19. Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели // Corning Cable Systems, 2001. – 352 с.
20. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и

- стойкость к ионизирующему излучению. М.: Престиж, 2006. – 304 с.
21. Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И. Об избыточной длине оптического волокна в оптическом кабеле // Информэлектро. №6, 2001. – С. 20-24.
 22. Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И. Оптический модуль - основа волоконно-оптического кабеля // Кабели и провода. №1(272), 2002. – С. 22-25.
 23. Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И. Изменение избыточной длины в процессе изготовления ВОК // Кабели и провода. №3(274), 2002. – С. 32-34.
 24. Chen H., Chen X., Yao X.S. Distributed fiber bend and stress measurement for determining optical fiber reliability by multi-wavelength optical reflectometry // Pat. US 0362367, 2014.
 25. Blew D.J. Apparatus for controlling excess fiber length in a loose tube optical fiber buffer tube // Pat. US 4921413, 1990.
 26. Xiaohong Chen e.a. Optical fiber secondary coating excess length tester // Pat. CN 101105559, 2008.
 27. Casals L.S. e.a. Method and apparatus for manufacturing an optical cable and cable so manufactured // Pat. US 2012/0189255, 2012.
 28. Stueflotten S. Low temperature excess loss of loose tube fiber cables // Applied Optic. № 21(23), 1982. – P. 4300-4307. doi: 10.1364/AO.21.004300.
 29. Burdin V.A., Vazhdaev M.A. Method of excess fiber length estimating based on low subzero temperature climatic test // SPIE Proceedings. 2014 – 9156. – P. 91560P-1 – 91560P-12. doi: 10.1117/12.2054283.
 30. Бурдин В.А. Способ измерения избыточной длины оптического волокна в оптическом модуле оптического кабеля в процессе климатических испытаний // Пат. RU 2562141, 2015.
 31. Бурдин В.А., Важдяев М.А. Метод оценивания распределений избыточной длины волокон в оптическом кабеле по результатам рефлектометрических измерений коэффициентов затухания при низких отрицательных температурах // ИКТ. Т.12, №3, 2014. – С. 22-28.
 32. Бурдин В.А., Важдяев М.А., Нижегородов А.О. Прогноз срока службы оптического волокна в кабеле по результатам анализа данных рефлектометрических измерений оптических волокон // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т.18, №3, Ч.2, 2015. – С. 87-91.
 33. Burdin, V.A. Methods of optical fiber curvature measurement on loose-tube optical cable delivery length // SPIE Proceedings 9807, 2016. – P. 98071A-1 – 98071A-7. doi: 10.1117/12.2234631.
 34. Okamoto K., Nakamura A., Koshikiya Y. e.a. Highly Sensitive Monitoring of Progressive Microbending Loss Using 1-mm-band Mode-detection OTDR // IWCS Proceedings 65, 2016. – P. 228-233.
 35. Diaz V. One fibre everywhere? // Fibre Systems 4, 2014. – P. 12-13.
 36. Galtarossa A., Menyuk C.R. Polarization mode dispersion. Springer, 2005. – 296 p.
 37. Galtarossa A., Palmieri L., Schiano M., Tambosso T. Single-end polarization mode dispersion measurement using backreflected spectra through a linear polarizer // Journal of Lightwave Technol. Vol. 17, №10, 1999. – P. 1835-1842. doi: 10.1109/50.793762.
 38. Kumar A., Ghatak A. Polarization of light with applications in optical fiber // SPIE Press, Washington, 2011. – 230 с.
 39. Котов О.И., Ликумович Л.Б., Марков С.И. и др. Модуляция разности фаз поляризационных мод в одномодовых волоконных световодах // Журнал технической физики. Т.74, №1, 2004. – С. 72-76.

Получено 01.06. 2017

Бурдин Владимир Александрович, д.т.н., проф., профессор Кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (846) 332-21-61; E-mail: burdin@psati.ru

Нижегородов Антон Олегович, соискатель Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (846) 228-00-66; E-mail: NizhgorodovAO@mail.ru

CONSTRUCTION AND OPERATION SPECIFICS OF FIBER-OPTIC LINKS FOR OIL PIPELINES OF WESTERN SIBERIA

Burdin V.A., Nizhgorodov A.O.

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

E-mail: burdin@psati.ru

This paper investigates the main specifics and problems associated with establishing and operating of fiber optic cable links for oil pipelines of Western Siberia. Complex geological and climatic conditions, as well as the technicalities of pipeline system construction process, could not but affect the implementation of the installation procedure of technological fiber optic cable lines. Harsh natural conditions not only impose special requirements on the technology, cables and fittings used, but also necessitate special attention while carrying out safety standards to ensure the well-being of the workers. Complex terrain, lack of infrastructure, and low temperature demand the introduction of new technologies for organizing the installment of fiber optic communication lines which would allow to extend the maximum lifetime of the cables used. The necessity to perform operations under extreme conditions, such as low temperature, high wind speed, and the highness of supporting constructions, leads to stricter requirements for all components of the technological process. Specific requirements are imposed on machinery and equipment, cables and fittings, and technological operations tolerances. The role of human factor and the cost of error are significantly greater. All these aspects increase the importance of quality control. The paper shows that one of the main problems of fiber-optic links deployment in the extreme conditions of the North is the lack of relatively inexpensive field devices for estimating the state of the optical cable. This leads to the drop in quality control efficiency. Suitable measuring instruments can be created with BOTDR or POTDR. Both require the designing of an inexpensive field device, but POTDR provides greater potential versatility.

Keywords: optical cable, fiber optic transmission line, low temperature, climatic conditions, geological conditions, installation, operation, quality control, BOTDR, POTDR

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.04

Burdin Vladimir Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +78463322161. E-mail: burdin@psati.ru

Nizhgorodov Anton Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; PhD student of the Department of Communication Lines. Tel.: +78462280066. E-mail: NizhgorodovAO@mail.ru

References

1. Long-term development program of PJSC «AK «Transneft» in 2016-2020. Available at: http://www.transneft.ru/u/section_file/11882/29-12-2014-1.pdf (accessed 24.04.2017). (In Russian)
2. Tokarev N.P. *Transport Safety and Technologies*, 2009. Available at: <http://www.transneft.ru/pressReleases/view/id/10232> (accessed 24.04.2017). (In Russian).
3. Innovative Approach in the Implementation of Infrastructure Projects in Western Siberia. Available at: <http://www.transneft.ru/ekspertniisovet/zayavleniya-i-dokladi/?id=4892> (accessed 25.04.2017). (In Russian).
4. Long-term development strategy of PJSC «AK «Transneft» until 2020. Available at: <http://www.transneft.ru/ekspertniisovet/stenogrammi-zasedanii/?id=5482> (accessed 25.04.2017). (In Russian).
5. Lisin Yu.V., Sapsaj A.N., Surikov V.I., Pavlov V.V., Soshchenko A.E., Bondarenko V.V. Sozдание i realizaciya innovacionnyh tekhnologij stroitel'stva v proektah razvitiya nefteprovodnoj struktury Zapadnoj Sibiri (proekty «Purpe – Samotlor», «Zapolyar'e – Purpe») [Creation and implementation of innovative construction technologies in the projects of oil pipeline networks in Western Siberia («Purpe - Samotlor», «Polar - Purpe» projects)]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov*, 2013, vol. 4, no. 12.
6. VSN 51-1.15-004-97 Instruction on the design and construction of fiber-optic communication lines (FOCL) of gas pipelines. Gazprom, 22.05.1997. (In Russian, unpublished)

7. Koga H., Kuwabara T., Mitsunaga Y. Future maintenance systems for optical fiber cables. *ICC-91 Proceedings*, 1991, pp. 0323-0329.
8. Sitnov N.YU., Gorlov N.I. Analiz sovremennogo sostoyaniya tekhniki rannej diagnostiki VOLP [Analysis of the current state of technology for early diagnosis of FOL]. *Infosfera*, 2010, no. 46, pp. 5-12.
9. Burdin V.A., Voronkov A.A., Shafigullin L.N. Effektivnost' primeneniya prognoziruyushchih strategij tekhnicheskogo obsluzhivaniya OK [Efficiency of applying predictive maintenance strategies OK]. *Vestnik svyazi*, 2012, no.7, pp. 5-8.
10. Glaesemann G.S. Optical fiber failure probability predictions from long-length strength distributions. *IWCS Proceedings*, 1991, pp. 819- 825.
11. Semjonov S.L., Glaesemann G.S. High-speed tensile testing of optical fibers – new understanding for reliability prediction. *Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging*, 2007, vol. 1, pp. 595-626.
12. Kurashima T., Horiguchi T., Yoshizawa N., Tada H., Tated M. Measurement of distributed strain due to laying and recovery of submarine optical fiber cable. *Applied Optics*, 1991, vol. 30, Issue 3, pp. 334-337. doi: 10.1364/AO.30.000334.
13. Sankawa, I., Koyamada, Y., Furukawa, S. I., Horiguchi, T., Tomita, N., Wakui, Y. Optical fiber line surveillance system for preventive maintenance based on fiber strain and loss monitoring. *IEICE Transactions on Communications*, 1993, vol. E76-B, no. 4, pp.402-409.
14. Kurashima T., Hogari K., Matsushashi S., Horiguchi T., Koyamada Y., Wakui Y., Hirano H., Measurement of Distributed Strain in Frozen Cables and its Potential for Use in Predicting Cable Failure. *Journal of Optical Communications*, 1997, vol. 18, no. 5, pp.168–173. doi: 10.1515/JOC.1997.18.5.168.
15. Akopov S.G. Kontrol' brill'yuehnovskim reflektometrom tekhnologii proizvodstva opticheskikh kabelej [Control of the technology of production of optical cables by the Brillouin reflectometer]. *Vestnik svyazi*, 2003, no.4, pp.136-138.
16. Korn V.M., Dlyutrov O.V., Avdeev B.V., Baryshnikov E.N. O primenenii metoda Mandel'shtam-Brillyuehnovskogo rasseyaniya dlya izmereniya harakteristik opticheskikh kabelej [On the application of the Mandelstam-Brillouin scattering method for measuring the characteristics of optical cables]. *Kabeli i provoda*, 2004, vol. 5, no.288, pp. 19-21.
17. Akopov S.G., Vasil'ev N.A., Polyakov M.I. Ispol'zovanie brill'yuehnovskogo reflektometra pri ispytaniyah opticheskogo kabelya na rastyazhenie [Use of a Brillouin reflectometer when testing an optical cable for tension]. *Lightwave RE*, 2006, no.1, pp. 23-25.
18. Hatano, S., Kokubun, T., Hogari, K. and Katsuyama, Y. Fiber excess length in a cable containing optical fiber ribbons. *Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics)*, 1987, vol. 70, Issue 9, pp. 82–90. doi: 10.1002/ecjb.4420700909.
19. Malke G., Gessing P. Fiber Optic Cables. Corning Cable Systems, 2001, 352 p.
20. Larin Yu.T. *Opticheskie kabeli: metody rascheta konstrukcij. Materialy. Nadezhnost' i stojkost' k ioniziruyushchemu izluchenyu* [Optical cables: methods for calculating structures. Materials. Reliability and resistance to ionizing radiation]. Moscow, Prestizh Publ., 2006. 304 p.
21. Avdeev B.V., Baryshnikov E.N., Dlyutrov O.V., Starodubcev I.I. Ob izbytochnoj dline opticheskogo volokna v opticheskom kabele [On the excess length of optical fiber in an optical cable]. *Informehlektro*, 2001, no. 6.
22. Avdeev B.V., Baryshnikov E.N., Dlyutrov O.V., Starodubcev I.I. Opticheskij modul' - osnova volokonno-opticheskogo kabelya [Optical module - the basis of the fiber optic cable]. *Kabeli i provoda*, 2002, no. 1, pp.22-25.
23. Avdeev B.V., Baryshnikov E.N., Dlyutrov O.V., Starodubcev I.I. Izmenenie izbytochnoj dliny v processe izgotovleniya VOK [The change in excess length in the process of manufacturing the FOC]. *Kabeli i provoda*, 2002, no. 3, pp. 32-34.
24. Chen H., Chen X. and Yao X.S. Distributed fiber bend and stress measurement for determining optical fiber reliability by multi-wavelength optical reflectometry. Patent US, no. 0362367, 2014.
25. Blew D.J. Apparatus for controlling excess fiber length in a loose tube optical fiber buffer tube. Patent US, no. 4921413, 1990.
26. Xiaohong Chen et al. Optical fiber secondary coating excess length tester. Patent CN, no. 101105559, 2008.
27. Casals L.S. et al. Method and apparatus for manufacturing an optical cable and cable so manufactured. Patent US, no. 0189255, 2012.

28. Stueflotten, S. Low temperature excess loss of loose tube fiber cables. *Applied Optic*, 1982, vol. 21, no. 23, pp. 4300-4307. doi: 10.1364/AO.21.004300.
29. Burdin V.A., Vazhdaev M.A. Method of excess fiber length estimating based on low subzero temperature climatic test. *SPIE Proceedings*, 2014, vol. 9156, p. 91560P. doi: 10.1117/12.2054283.
30. Burdin V.A. Sposob izmereniya izbytochnoj dliny opticheskogo volokna v opticheskom module opticheskogo kabelya v processe klimaticheskikh ispytaniy [Method for measuring the excess length of an optical fiber in an optical module of an optical cable during a climatic test]. Patent RF, no. 2562141, 2015.
31. Burdin V.A., Vazhdaev M.A. Metod ocenivaniya raspredelenij izbytochnoj dliny volokna v opticheskom kabele po rezul'tatam reflektometricheskikh izmerenij koehfficientov zatushaniya pri nizkikh otricatel'nyh temperaturah [A method for estimating the distributions of excess fiber length in an optical cable based on the results of reflectometric measurements of attenuation coefficients at low negative temperatures]. *Infokommunikacionnye tekhnologii*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 22-28.
32. Burdin V.A., Vazhdaev M.A., Nizhgorodov A.O. Prognoz sroka sluzhby opticheskogo volokna v kabele po rezul'tatam analiza dannyh reflektometricheskikh izmerenij opticheskikh volokon [Forecast of optical fiber service life in a cable based on the analysis of the OTDR data]. *Fizika volnovykh processov i radio-tekhnicheskie sistemy*, 2015, vol. 18, no. 3, pp. 87-91.
33. Burdin, V.A. Methods of optical fiber curvature measurement on loose-tube optical cable delivery length. *SPIE Proceedings*, 2016, vol. 9807, p. 98071A-1 – 98071A-7. doi: 10.1117/12.2234631.
34. Okamoto K., Nakamura A., Koshikiya Y., Watanabe H., Manabe T. Highly Sensitive Monitoring of Progressive Microbending Loss Using 1-mm-band Mode-detection OTDR. *IWCS Proceedings* 65, 2016, pp. 228-233.
35. Diaz V. One fibre everywhere? *Fibre Systems* 4, 2014, pp. 12-13.
36. Galtarossa A., Menyuk C.R. *Polarization mode dispersion*. Springer, 2005, 296 p.
37. Galtarossa A., Palmieri L., Schiano M., Tambosso T. Single-end polarization mode dispersion measurement using backreflected spectra through a linear polarizer. *J. of Lightwave Technol*, 1999, vol. 17, no. 10, pp. 1835-1842. doi: 10.1109/50.793762.
38. Kumar, A., Ghatak, A. *Polarization of light with applications in optical fiber*. SPIE Press, Washington, 2011, 230 p.
39. Kotov O.I., Liokumovich L.B., Markov S.I., Medvedev A.V., Hlybov A.V. Modulyaciya raznosti faz polarizacionnyh mod v odnomodovyh volokonnyh svetovodah [Modulation of the phase difference of polarization modes in single-mode optical fibers]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2004, vol. 74, no. 1, pp. 72-76.

Received 01.06. 2017

УДК 621.391

ОБЗОР ПРОЕКТОВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Росляков А.В., Витевский В.Д.

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

В последние годы в информационных технологиях торжествует концепция виртуализации – подход, позволяющий гибко управлять вычислительным оборудованием, превращая физические серверы и системы хранения данных в универсальный и эффективно используемый вычислительный ресурс. По очень похожему сценарию сейчас идет развитие телекоммуникационных сетей по направлению к будущим сетям Future Networks. Сетевые устройства (коммутаторы, маршрутизаторы, базовые станции и др.) и обеспечиваемая ими среда передачи данных рассматриваются как пул физических ресурсов определенной емкости. Основным ресурсом телекоммуникационных сетей является ее пропускная способность, поэтому реализация требуемых сетевых приложений и услуг обеспечивается перераспределением необходимой пропускной способности поверх существующей физической сетевой инфраструктуры. Сетевая виртуализация является инновацией, которая позволит реализовать истинное многообразие приложений и услуг, предоставление которых затруднено или невозможно в рамках действующих сетей следующего поколения (Next Generation Networks). В статье представлен обзор зарубежных проектов сетевой виртуализации с последующим обсуждением основных проблем в данной области.

Ключевые слова: будущие сети, сетевая виртуализация, провайдер физической инфраструктуры, сервис-провайдер