

ОСОБЕННОСТИ ПРОКЛАДКИ САМОНЕСУЩИХ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Попов Б.В., Попов В.Б.

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

В районах Крайнего Севера и Сибири с большими сезонными перепадами температур традиционно одним из самых приоритетных и распространенных способов прокладки оптических кабелей является подвеска на опорах воздушных линий высокого напряжения. При низких отрицательных температурах жесткость оптических кабелей значительно увеличивается, а допустимые радиусы их изгиба, напротив, уменьшаются. При прокладке оптические кабели подвергаются значительной растягивающей нагрузке, и допустимые радиусы изгиба кабелей могут нарушаться. В этой связи в настоящей статье приводится исследование изменений максимально допустимой растягивающей нагрузки и прочности самонесущих оптических кабелей при низких отрицательных температурах. Также в статье приводятся результаты экспериментальных исследований скорости изменения температуры самонесущих оптических кабелей при изменении температуры среды и даются практические рекомендации по снижению нагрузок при прокладке самонесущих оптических кабелей при низких отрицательных температурах.

Ключевые слова: самонесущие оптические кабели, низкие отрицательные температуры, арамидные нити, жесткость кабеля, радиусы изгиба, растягивающие нагрузки

Общие положения

Развитие инфраструктуры северных регионов является крайне важным для экономического развития России в целом. На большей части территории нашей страны происходят значительные сезонные перепады температур. В северных регионах страны в теплое время года местность труднопроходима и это ограничивает возможности строительства волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Во многих северных регионах строительство ВОЛС становится возможным только зимой, когда болота промерзают и по ним можно передвигаться. Там очень распространена подвеска оптических кабелей (ОК) на опорах воздушных линий высокого напряжения (ВЛ) [1].

При отрицательных температурах свойства кабеля изменяются. Кабель становится жестче, и увеличиваются допустимые радиусы его изгиба [2; 3]. При прокладке к жесткому кабелю нужно прикладывать большее тяговое усилие, появляется опасность нарушения допустимого радиуса изгиба. Весь выпускаемый ОК должен соответствовать требованиям технических условий (ТУ) предприятия производителя, в том числе относительно свойств кабеля при воздействии внешних факторов, одним из которых являются перепады температур. Для контроля этого про-

водятся испытания ОК в климатической камере. Контролируются все параметры стойкости ОК к внешним воздействиям, кроме его жесткости. Этот параметр не указывается в ТУ на ОК. А ведь именно от жесткости ОК значительно зависит радиус его изгиба и нагрузка, воздействующая при прокладке [4; 5]. Очень актуальными являются рекомендации по прокладке ОК при низких отрицательных температурах. При соблюдении рекомендаций не будут превышать допустимые нагрузки и уменьшаться допустимые радиусы изгиба ОК. Также важно определение максимально допустимой растягивающей нагрузки (МДРН) ОК при низких отрицательных температурах.

Максимально допустимая растягивающая нагрузка самонесущих оптических кабелей при низких отрицательных температурах

Повышение прочности самонесущих ОК (ОКСН) достигается путем использования в их конструкции повивов арамидных нитей. Таким образом прочность ОКСН, в основном, определяется прочностью арамидных нитей.

Прочность арамидных нитей подробно исследована [6–8].

Изменение прочности арамидных нитей выражается следующими формулами [8]:

$$E / E_0 = 1 - \beta_E \cdot \ln \left(\frac{T + 273}{T_0 + 273} \right),$$

$$\varepsilon_m / \varepsilon_{m0} = 1 - \beta_\varepsilon \cdot \ln \left(\frac{T + 273}{T_0 + 273} \right),$$

где E_0 и ε_{m0} – модуль упругости и деформация разрушения пучков арамидного волокна при исходной температуре;

E и ε_m – модуль упругости и деформация разрушения пучков арамидного волокна при текущей температуре.

Коэффициенты β_E и β_ε арамидных нитей приведены в таблице 1.

В таблице 2 и на рисунке 1 приведены температурные зависимости отношения модулей упругости и отношения деформации разрушения пучков арамидного волокна. Эти зависимости характеризуют изменение прочности арамидных нитей.

Анализ приведенных данных показывает, что при снижении температуры с 20°C до -30°C ОКСН становится на 5% менее прочным.

Таблица 1. Коэффициенты β_E и β_ε арамидных нитей

Скорость деформации, 1/с	β_E	β_ε
300	0,252	0,176
1100	0,240	0,169

Таблица 2. Изменение прочности арамидных нитей

Скорость деформации	Температура	E / E_0	$\varepsilon_m / \varepsilon_m^0$	Скорость деформации	E / E_0	$\varepsilon_m / \varepsilon_m^0$
300	20	1	1	1100	1	1
	10	1,009	1,006		1,008	1,006
	0	1,018	1,012		1,017	1,012
	-5	1,022	1,016		1,021	1,015
	-10	1,027	1,019		1,026	1,018
	-15	1,032	1,022		1,031	1,021
	-20	1,037	1,026		1,035	1,025
	-25	1,042	1,029		1,040	1,028
	-30	1,047	1,033		1,045	1,032

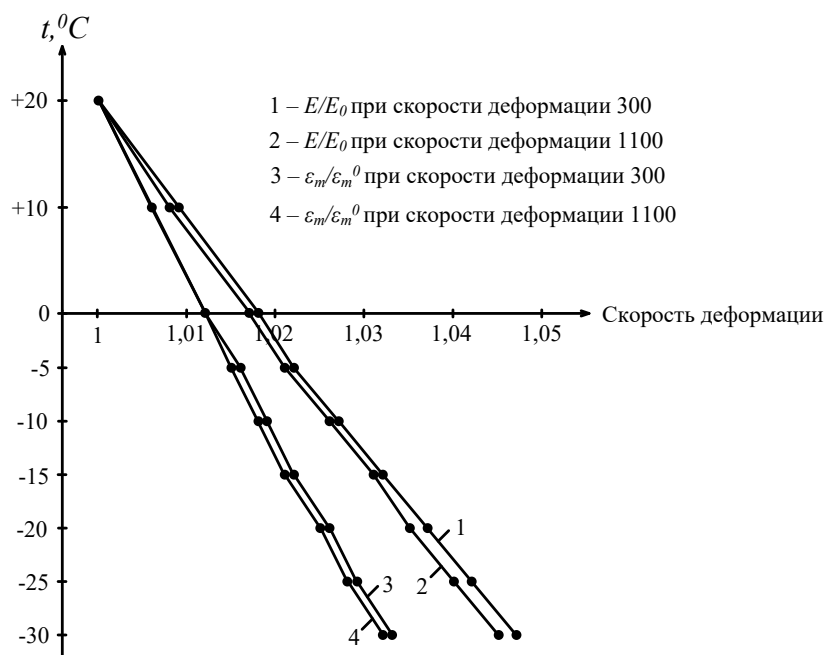


Рисунок 1. Изменение прочности арамидных нитей отношений

Экспериментальные исследования скорости изменения температуры самонесущих оптических кабелей при изменении температуры среды

Причиной проведения данных экспериментальных исследований послужило некоторое противоречие, имеющееся между рекомендациями, приведенными в руководящих документах [9; 10] и реальной практикой прокладки ОКСН при низких отрицательных температурах. Дело в том, что указанные рекомендации предписывают после предварительной выдержки ОК в тепле непосредственно перед его раскаткой по опорам ВЛ как можно быстрее провести раскатку кабеля. Имеющийся практический опыт проведения строительно-монтажных работ по сооружению ВОЛС на опорах ВЛ показывает, что это не всегда реализуемо. Поэтому были проведены экспериментальные исследования скорости изменения температуры оболочки ОКСН при перемещении из тепла на холод.

Для проведения эксперимента были выбраны ОКСН производства предприятия ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания». Эксперимент проводился в условиях кабельного завода.

Были отобраны образцы различной длины ОКСН марок ОКЛЖ-35, ОКЛЖ-20 и ОКЛЖ-15 и ОКЛ-0,25. Длина отобранных образцов кабелей составляла от 0,1 до 100 м. При проведении эксперимента использовались образцы кабелей разной длины (0,1, 1, 10 и 100 м). Образцы кабелей выдерживали при температуре $+22^{\circ}\text{C}$ в течение суток и быстро перемещали в климатическую камеру с температурой -30°C . Температуру оболочки ОК измеряли каждые 5 минут.

Перед проведением эксперимента образцы ОК длиной 10 м и 100 м сматывались в бухты. Смотанными в бухты они использовались в эксперименте. В ходе проведения эксперимента температура оболочки ОК контролировалась на множестве витков бухты кабеля (не менее 30%).

На рисунке 2 приведены временные характеристики изменения температуры оболочки образцов ОК разной длины в зависимости от температуры среды.

На рисунке 3 приведены временные характеристики изменения температуры оболочки внешних и внутренних витков бухты кабеля ОКЛ-0,25 длиной 100 м при измерении температуры среды.

В ходе проведения эксперимента установлено, что после выдержки ОК в тепле и перемеще-

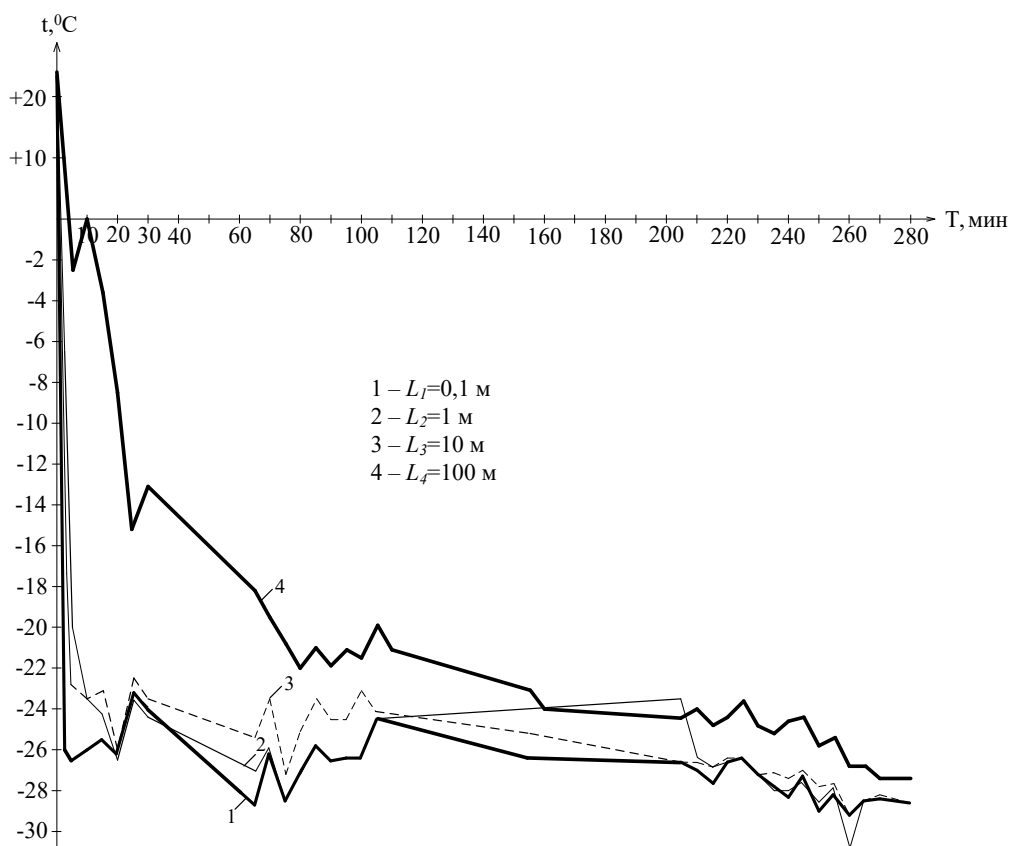


Рисунок 2. Временные характеристики изменения температуры оболочки ОК в зависимости от температуры среды

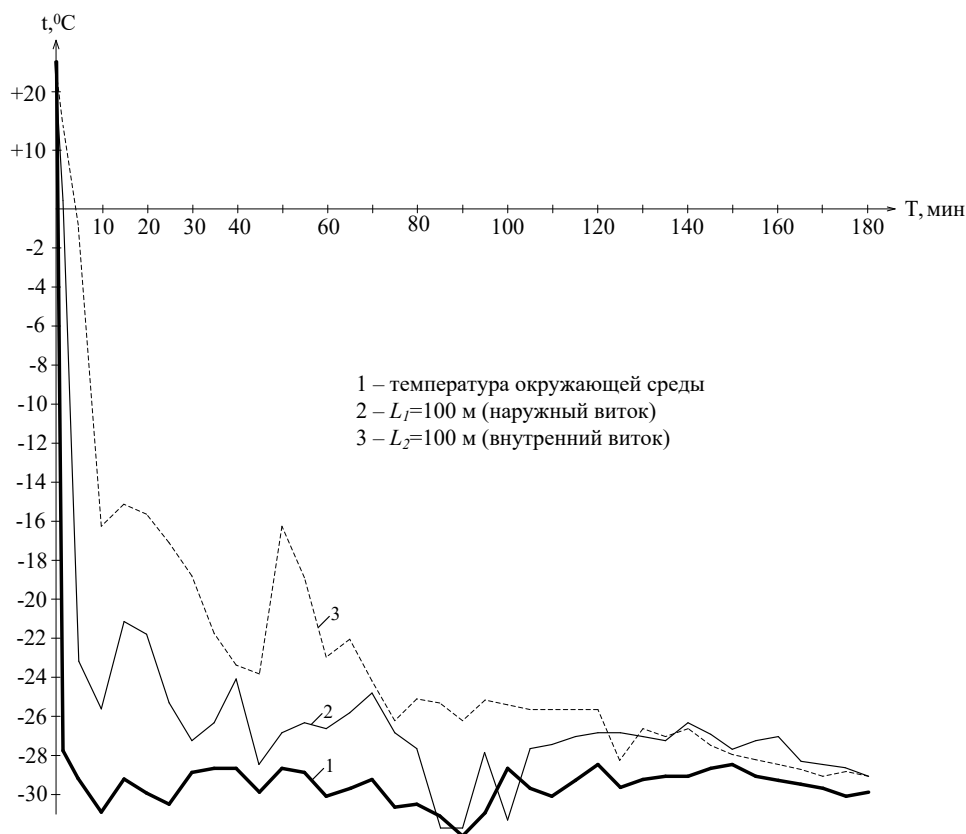


Рисунок 3. Временные характеристики изменения температуры оболочки внешних и внутренних витков бухты кабеля ОКЛ-0,25 длиной 100 м при измерении температуры среды

ния на мороз (от -30°C до -20°C) уже через 10-15 минут его температура снижается до значений ниже -10°C , а через 2-3 часа температура кабеля достигает температуры среды. Установлено, что процесс увеличения степени жесткости ОК при понижении температуры среды не является линейным в исследуемом температурном диапазоне. Основной прирост жесткости ОК происходит при понижении температуры среды от 0°C до -10°C . Последующее понижение температуры среды не приводит к значительному увеличению степени жесткости ОК, жесткость повышается незначительно. Таким образом, установлено, что размотка ОК с барабана способствует значительному увеличению скорости понижения температуры кабеля и повышению жесткости смотанного кабеля. Это дает основание полагать, что жесткость кабеля, смотанного с барабана ОК через короткий промежуток времени (10-15 минут) уже не будет значительно отличаться от жесткости кабеля, длительное время выдержанного при температуре среды. Таким образом, предварительная выдержка ОК в тепле не оказывает заметного влияния на радиусы его изгиба и увеличение нагрузки.

На кабельных заводах, выпускающих ОКСН, допускающих прокладку при температуре до

-30°C , испытания кабелей на изгиб и кручение проводятся именно при этой температуре. Но когда ОК разматывается с барабана, то его жесткость еще долго остается ниже (ОК мягче и пластичнее), чем при -30°C .

Таким образом, подтверждается полезность выдержки ОК в тепле перед его раскаткой по опорам ВЛ при низких отрицательных температурах. Это снижает нагрузки, прикладываемые к ОК при его раскатке по опорам ВЛ. Однако устанавливать жесткое временное ограничение выполнения технологической операции раскатки ОК является нецелесообразным и соответственно, рекомендацию значительного увеличения скорости раскатки ОК по опорам ВЛ полезной считать нельзя.

Нагрузки на самонесущий оптический кабель, прокладываемый при низких отрицательных температурах

При протяжке ОКСН на поворотах трассы, прикладываемая растягивающая нагрузка растет пропорционально жесткости ОК [10; 11]. При прокладке ОК средней и повышенной жесткости можно увеличивать прикладываемую нагрузку пропорционально отношению жесткости кабелей. Так, как при снижении температуры ОК

становится жестче, то при его раскатке его приходится тянуть с большим усилием. При этом прикладываемая растягивающая нагрузка растет пропорционально изменению отношения B_t/B_{20} (отношение жесткости ОК при текущей температуре среды и температуре 20°C). Следовательно, при снижении температуры до отметок ниже -10 °C, длина ОК допустимая для прокладки при нормальной температуре уменьшается пропорционально отношению B_t/B_{20} .

Практические рекомендации по прокладке самонесущих оптических кабелей при низких отрицательных температурах

При прокладке ОКСН на ВЛ он раскатывается по раскаточным роликам, подвешенным на опорах рядом с точками подвеса кабеля. При такой технологии подвески ОКСН снижается вероятность его повреждения.

Схема раскатки ОКСН по опорам показана на рисунке 4 [12].

При раскатке ОКСН через угловые опоры на поворотах трассы ВЛ на него воздействуют дополнительные нагрузки, которые могут деформировать оболочку кабеля. Особенно это опасно для ОК большой жесткости. Раскаточные ролики должны обеспечивать минимально допустимый радиус изгиба ОКСН. Если угол поворота трассы ВЛ составляет не больше 5°, то диаметр роликов должен быть не менее 40 диаметров ОК. Канавки раскаточных роликов должны быть на 40 мм глубже и шире диаметра ОК. При повороте трассы ВЛ на угол 5°-60° – на концевых и угловых опорах

должны подвешиваться обрезиненные ролики с диаметром желоба не меньше 60 диаметров ОК. При повороте трассы ВЛ на угол более 60° – на угловых опорах должны подвешиваться ролики большего диаметра или устройства из двух или нескольких роликов.

При раскатке ОК под тяжением нельзя допускать его осевого кручения и образования петель. Для компенсации осевого кручения ОК предназначен вертлюг. При раскатке ОК вертлюг устанавливается между тросом-лидером и ОК, как показано на рисунке 4.

Результаты проведенного исследования и особенности технологии прокладки ОКСН позволяют разработать ряд рекомендаций, которые целесообразно использовать при прокладке ОКСН при низких отрицательных температурах.

1. Требуется внимательно контролировать свободное вращение раскаточных роликов. Тугое вращение роликов является причиной увеличения тягового усилия и растягивающей нагрузки ОК при его раскатке по опорам ВЛ. Перед использованием раскаточные ролики требуется выдержать на морозе в течении не менее 2 часов. Затем требуется проконтролировать их свободное вращение, выбрать только подходящие ролики и лишь затем подвешивать их на опорах ВЛ.

2. После раскатки ОК не рекомендуется оставлять на раскаточных роликах более чем на двое суток. Может возникнуть вибрация, которая создает опасность повреждения кабеля.

3. Компенсатор кручения требуется подготовить к предстоящему использованию. Для этого его требуется прочистить, промыть и просушить.

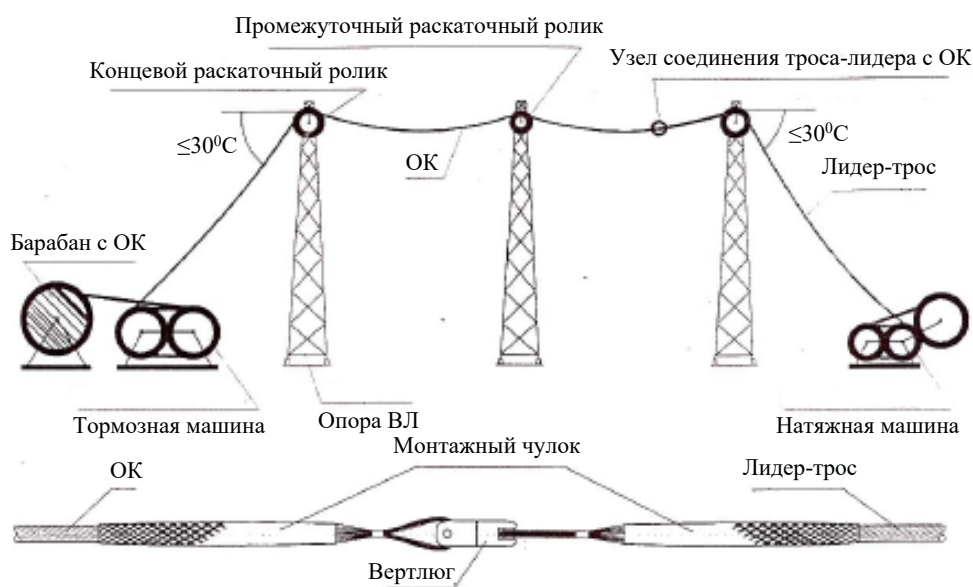


Рисунок 4. Схема раскатки ОКСН

Затем его нужно выдержать на морозе в течении не менее 2 часов. Непосредственно перед использованием нужно проверить легкость вращения компенсатора кручения и лишь после этого установить. В ходе раскатки ОК нужно внимательно контролировать положение флажка. Если наблюдатель видит, что флажок вращается, то нужно немедленно остановить раскатку ОК. Ведь если компенсатор не вращается, то возникает дополнительная осевая крутящая нагрузка на ОК и он может деформироваться.

4. Непосредственно перед проведением технологической операции раскатки ОК целесообразно выдержать его в тепле в течении не менее 2 суток. Это будет способствовать снижению жесткости ОК и механических нагрузок на нем при прокладке.

5. Требуется сократить прокладываемую длину ОК относительно длины, прокладываемой при нормальной температуре.

6. Недопустимо раскатывание, волочение ОК по земле, его трение о пересекаемые препятствия.

7. Недопустимо превышение величины МДРН, уменьшение минимально допустимых радиусов изгиба ОК, провисание ОК в пролетах.

8. Недопустимо проводить монтаж ОКСН при температуре ниже -30°C .

9. Требуется наличие отапливаемого склада для проведения входного контроля и группирования строительных длин ОК перед подвеской.

Выводы

1. Анализ приведенных данных показывает, что при снижении температуры с 20°C до -30°C ОКСН становится на 5% менее прочным.

2. Результаты экспериментальных исследований скорости изменения температуры ОКСН при изменении температуры среды подтверждают полезность процедуры выдержки ОК в тепле непосредственно перед его раскаткой по опорам ВЛ. Это позволяет снизить нагрузки на ОК при технологической операции раскатки ОК по порам ВЛ. Но устанавливать жесткое временное ограничение выполнения технологической операции раскатки ОК нецелесообразно и соответственно, нельзя считать полезной рекомендацию значительного увеличения скорости раскатки ОК по опорам ВЛ.

3. Разработан ряд практических рекомендаций по прокладке ОКСН при низких отрицательных температурах.

Литература

1. Бурдин В.А., Нижгородов А.О. Особенности технологии строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий для

нефтепроводной структуры Западной Сибири // Инфокоммуникационные технологии. 2017. Т. 15, № 3. С. 233–241. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.04

2. Алехин И.Н. Исследование жесткости оптических кабелей при отрицательных температурах // XVIII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Самара: ПГУТИ, 2011. С. 98–99.
3. Алехин И.Н., Попов Б.В., Попов В.Б. Особенности монтажа подвесных ОК при низких отрицательных температурах // Первая миля. 2019. № 4 (81). С. 42–45. DOI: 10.22184/2070-8963.2019.81.4.42.45
4. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций, материалы, надежность и стойкость к ионизирующему излучению. М.: Престиж, 2006. 302 с.
5. Гриффен В. Прокладка оптических кабелей в трубах. СПб.: Гипротрансигнал-связь, 2001. 138 с.
6. Abrate S. Impact on laminated composite materials // *Applied Mechanics Reviews*. 1991. Vol. 44, no. 4. P. 155. DOI: 10.1115/1.3119500
7. Abrate S. Impact on laminated composites: Recent advances // *Applied Mechanics Reviews*. 1994. Vol. 47, no. 11. P. 517. DOI: 10.1115/1.3111065
8. Wang Y., Xia Y.M. The effects of strain rate on the mechanical behaviour of kevlar fibre bundles: An experimental and theoretical study // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. Vol. 29, no. 11. P. 1411–1415.
9. Строительные нормы и правила СНИП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. М., 1985. 36 с.
10. Испытания ОК на стойкость к действию замерзающей воды в ЗПТ / В.А. Бурдин [и др.] // Вестник связи. 2012. № 3. С. 24–27.
11. Алехин И.Н., Бурдин В.А., Онищенко С.Г. Способы герметизации оптических муфт для монтажа в экстремальных условиях // Вестник связи. 2010. № 1. С. 45–49.
12. Инструкция по монтажу самонесущего диэлектрического оптического кабеля связи типа ОКЛЖ на воздушных линиях электропередачи. Самара, 2007. 58 с. URL: <https://soccom.ru/upload/helpful-information/dok.-34411.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).

Дата поступления 22.11.2024

Дата принятия 23.12.2024

Попов Борис Владимирович, к.т.н., профессор кафедры 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. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

UDC 621.315.2

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.4.03

TECHNOLOGICAL FEATURES OF LAYING SELF-SUPPORTING OPTICAL CABLES AT LOW NEGATIVE TEMPERATURES

Popov B.V., Popov V.B.

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

E-mail: inkat@inbox.ru

In the Far North and Siberian regions with large seasonal temperature changes, the priority method of laying optical cables is their hanging on high-voltage overhead line supports. At low negative temperatures, the rigidity of optical cables increases rather significantly and their permissible bending radii decreases. During installation, optical cables are subjected to significant tensile loads and the permissible bending radii of the cables may be violated. In this regard, the present article provides a study of changes in the maximum permissible tensile load and strength of self-supporting optical cables at low negative temperatures. The methodology and results of experimental studies of changes in the temperature of the cable sheath depending on the medium temperature changes are presented. A number of practical recommendations for laying optical cables at low negative temperatures is provided.

Keywords: *self-supporting optical cables, low negative temperatures, aramid yarns, cable rigidity, bending radii, tensile loads*

Popov Boris Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

References

1. Burdin V.A., Nizhgorodov A.O. Features of construction and operation technologies of fiber-optic cable lines for the oil-pipe structure of western siberia. *Infokommunikacionnyeologii*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 233–241. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.04 (In Russ.)
2. Alekhine I.N. Study of the rigidity of optical cables at negative temperatures. *XVIII Rossijskaya nauchnaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov*. Samara: PGUTI, 2011, pp. 98–99. (In Russ.)
3. Alekhine I.N., Popov B.V., Popov V.B. Peculiarities of overhead fiber optic cables mounting at low temperatures. *Pervaya milya*, 2019, no. 4 (81), pp. 42–45. DOI: 10.22184/2070-8963.2019.81.4.42.45
4. Larin Yu.T. *Optical Cables: Design Calculation Methods, Materials, Reliability and Resistance to Ionizing Radiation*. Moscow: Prestizh, 2006, 320 p. (In Russ.)
5. Griffien V. Laying Optical Cables in Tubes. Saint Petersburg: Giprottranssignal-svyaz', 2001. 38 p. (In Russ.)

6. Abrate S. Impact on laminated composite materials. *Applied Mechanics Reviews*, 1991, vol. 44, no. 4, pp. 155. DOI: 10.1115/1.3119500
7. Abrate S. Impact on laminated composites: Recent advances. *Applied Mechanics Reviews*, 1994, vol. 47, no. 11, pp. 517. DOI: 10.1115/1.3111065
8. Wang Y., Xia Y.M. The effects of strain rate on the mechanical behaviour of kevlar fibre bundles: An experimental and theoretical study. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 1998, vol. 29, no. 11, pp. 1411–1415.
9. *Building codes and regulations SNiP 3.05.06-85. Electrical devices*. Moscow, 1985, 36 p. (In Russ.)
10. Burdin V.A. et al. Tests of OK for resistance to freezing water in ZPT. *Vestnik svyazi*, 2012, no. 3, pp. 24–27. (In Russ.)
11. Alekhine I.N., Burdin V.A., Onishchenko S.G. Methods of sealing optical couplings for installation in extreme conditions. *Vestnik svyazi*, 2010, no. 1, pp. 45–49. (In Russ.)
12. Installation instructions for self-supporting dielectric optical communication cable type OKLZh on overhead power transmission lines. Samara, 2007, 58 p. URL: <https://soccom.ru/upload/helpful-information/dok.-34411.pdf> (accessed: 15.10.2024). (In Russ.)

Received 22.11.2024

Accepted 23.12.2024

Реклама

Карякин, В.Л.

Технология эксплуатации SDR систем и сетей цифрового телевидения стандарта DVB-T2: технологии программной реализации эфирного телевидения в России: монография / В.Л. Карякин. – М.: СОЛОН-Пресс, 2024. – 263 с.

ISBN 978-5-91359-606-2

УДК 621.397.13; 621.396.97



В монографии рассмотрены технологии построения и спецификация режимов систем и сетей телерадиовещания стандарта DVB-T2. Отмечается, что метод распределенной модификации, который применен во всех регионах России при построении сетей SFN, привел к «техническому тупику» в их развитии. Несоответствие заданных значений параметров требуемым приводит к браку в работе, техническим остановкам, увеличению количества интерференционных зон, в которых невозможен прием телевизионных программ. В книге излагаются системные требования к сетевым передатчикам и земным станциям спутниковых ретрансляторов в одночастотных сетях телерадиовещания, выполненных на аппаратном уровне. Однако, внедрение новых технологий и расширение сетей цифрового телевидения на аппаратном уровне требует значительных

инвестиций в модернизацию оборудования. Особое внимание уделяется переходу оборудования телевизионного вещания в РФ с аппаратного на SDR (Software Defined Radio) программный уровень, который позволит при минимальных затратах решить существующие проблемы с учетом разработанных системных требований увеличить количество мультиплексов, перейти от стандартного качества к высокому и обеспечить бесперебойное телерадиовещание в различных регионах России.