

4. Zotov K.N. *Povyshenie éffektivnosti sistem sotovoi svyazi na osnove relevantnoy klasterizatsyi mestopolozheniya mobil'noy svyazi* [Increase in efficiency of cellular systems based on a relevant clustering of location of mobile communication. Candidate tech. sci., abstract diss]. Ufa, 2014, 16 p.
5. Zotov K.N., Kuznetsov I.V., Salov A.S., Simbirtseva D.S., Strel'nikova L.V. *Razrabotka algoritmov klasterного анализа kontsentratsyi abonentских устройств v sistemakh mobil'noy svyaz* [Algorithm elaboration of cluster analysis of concentration of subscriber devices in mobile telecommunication systems]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i informatsionnye komplekсы i sistemy*, 2015, vol. 11, no. 1, pp. 90-96.
6. Gustafson D.E., Kessel W.C. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix. *IEEE Conference on Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes*, San Diego, CA, USA, 1978, pp. 761-766. doi: 10.1109/CDC.1978.268028.
7. *Programma raschyota uzlov sprosa na osnove klasterного анализа mestopolozheniya abonentov v setyakh sotovoy svyazi* [The program of calculation of nodes of demand based on cluster analysis of location of subscribers on the cellular transmission networks]. Reg. no 2014613981
8. Sultanov A.Kh., Kuznetsov I.V., Kamalov A.E. *Ob odnom metode prognoza optimal'noy zony radiopokrytiya seti mobil'noy svyazi* [About one method of the forecast of an optimum zone of a radio covering of a mobile network]. *Vestnik UGATU*, 2010, vol. 14, no. 1, pp. 62-67.
9. Blokhin V.V., Kuznetsov I.V., Sultanov A.Kh. *Koordinirovannoe planirovanie chastotного resursa v sistemakh radiosvyazi topologicheskim metodom* [Coordinate planning of the frequency resource in systems of a radio-system by a topological method]. *Vestnik UGATU*, 2008, vol. 11, no 2, pp. 178-181.
10. Vyatchenin D.A. *Nechyotkie metody avtomaticheskoy klassifikatsyi* [Fuziness methods of automatic classification]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2004, 219 p.

Received 09.01.2017

УДК 621.396

ЖЕСТКОСТЬ ПОДВЕСНОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Алехин И.Н., Баскаков В.С., Никулина Т.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы изменения жесткости оптических кабелей с гидрофобным компаундом и без при понижении температуры окружающей среды от положительных до отрицательных значений. Рассматриваются конструкции подвесных кабелей как наиболее подверженных температурным влияниям. Приводятся результаты исследований конструкций самонесущих оптических кабелей, имеющих различную стойкость к растягивающим нагрузкам. Конструктивно исследуемые образцы оптических кабелей отличались наличием одного или двух слоев кевларовых нитей, а также наличием только внешней полиэтиленовой оболочки или же одновременно и внешней, и внутренней. Все исследуемые образцы изначально имели различную жесткость, измеренную при температуре +20°C. Полученные результаты исследований сравниваются с результатами аналогичных исследований, выполненных для оптических кабелей так называемой сухой конструкции, без гидрофобного компаунда. В работе показано, что жесткость увеличивается при понижении температуры в большей степени, если в конструкции оптических кабелей имеется гидрофобное заполнение.

Ключевые слова: оптический кабель, самонесущий оптический кабель, жесткость, волоконно-оптическая линия передачи, центральный силовой элемент, модульная трубка, температурный градиент жесткости, низкие отрицательные температуры, линейно-кабельные сооружения, гидрофобный компаунд, кевларовые нити, полибутиленрефталат

Введение

Надежная и долговечная работа волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) во многом определяется технологией их строительства и конструктивными особенностями применяемых оптических кабелей (ОК) и кабельной арматуры.

Одной из важнейших механических характеристик ОК является жесткость. Указанный параметр влияет на прокладку ОК, его минимально допустимые радиусы изгиба в процессе монтажа и зависит от конструкции и условий эксплуатации кабеля.

В настоящее время широкое применение получила технология строительства ВОЛП с использованием подвесных ОК, обладающая рядом преимуществ перед прокладкой ОК в канализацию и грунт [1]. Строительство подвесных ВОЛП по опорам контактной сети электрифицированных железных дорог, различных линий электропередачи и др. исключает необходимость согласований по отводам земель и по пересечению ВОЛП с другими объектами, что существенно снижает стоимость линейно-кабельных сооружений. В этом случае необходимо учитывать более жесткие условия эксплуатации ОК по сравнению с подземными ВОЛП. В первую очередь следует отметить необходимость обеспечения работоспособности ВОЛП в условиях низких температур (до -60°C), что характерно для северных районов России. При этом ОК находится в натянутом состоянии, подвержен воздействию ветровых нагрузок, колебаниям и вибрациям, что увеличивает риск нарушения целостности ОК. С учетом этого, а также больших длин пролетов (подвеска по опорам ЛЭП) возникает необходимость применения самонесущих ОК с допустимой растягивающей статической нагрузкой до 40 кН [2]. На рис. 1 представлена конструкция самонесущего кабеля ОКЛЖ-40 с повышенной стойкостью к растягивающим усилиям.

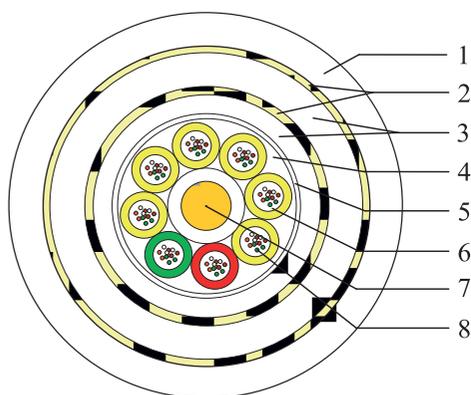


Рис. 1. Конструкция ОКЛЖ производства ЗАО «СОКК»: 1 – наружная полиэтиленовая оболочка; 2 – кевларовые нити; 3 – внутренние полиэтиленовые оболочки; 4 – гидрофобный компаунд; 5 – поясная изоляция; 6 – оптический модуль; 7 – центральный силовой элемент; 8 – оптические волокна

При понижении температуры происходят изменения механических характеристик конструктивных элементов кабеля: полиэтиленовых оболочек, центрального силового элемента, модульных трубок и т.д., что приводит к увеличению жесткости ОК. В кабелях модульной конструкции межмодульное пространство и сами

модули заполнены гидрофобным компаундом, который становится более густым с понижением температуры. Это также может служить причиной увеличения жесткости подвесного ОК рассматриваемого типа. Сказанное выше доказывает актуальность темы исследования изменения жесткости самонесущих ОК при низких отрицательных температурах с учетом наличия гидрофобного компаунда.

Анализ зависимости жесткости ОК от температуры

Исследования жесткости подвесных ОК в условиях низких температур проводились на образцах ОК типа ОКЛЖ, имеющих различную стойкость к растягивающим усилиям [3]. Образцы №1 и №2 имели один слой кевларовых нитей, внешнюю полиэтиленовую оболочку и стойкость к растяжению 15 и 35 кН соответственно. Образец №3 имел два слоя кевларовых нитей, внутреннюю и внешнюю полиэтиленовые оболочки и стойкость к растяжению 40 кН (см. рис. 1). Межмодульное пространство и модули были заполнены гидрофобным гелем. На рис. 2 представлены зависимости жесткости указанных самонесущих ОК от температуры с учетом ее низких отрицательных значений [4].

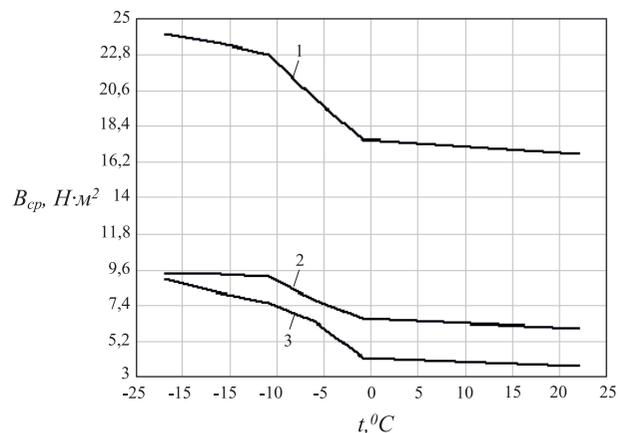


Рис. 2. Зависимость жесткости V_{cp} от температуры для образцов кабелей: 1 – ОКЛЖ-40, 2 – ОКЛЖ-35, 3 – ОКЛЖ-15

Результаты исследований позволяют выделить три характерные области. Первая область соответствует диапазону температур от положительных до -1°C . Этому интервалу для всех трех образцов характерно монотонное (практически линейное) изменение жесткости с низкими значениями температурного градиента жесткости (менее $0,05 \text{ Нм}^2/^{\circ}\text{C}$). Вторая область охватывает диапазон от -1°C до -11°C . Для нее температурный

градиент жесткости составил (0,2...0,3) Нм²/°С для образцов №1 и №2 и 0,6 Нм²/°С – для образца №3, что выше, чем для первой.

При этом изменение жесткости относительно начала температурного диапазона составила (20...30)% для образцов №2 и №3 и 90 % – для образца №1. Третья область определяется диапазоном температур от –11°С до –25°С. Температурный градиент жесткости данной области аналогичен первой (<0,05 нм²/°С), что свидетельствует о слабовыраженной ее зависимости от понижения температуры. Однако для всех трех образцов абсолютные значения жесткости существенно превышают величины, соответствующие положительным температурам. Таким образом, в области от –1°С до –11°С для всех трех образцов ОК наблюдается резкое увеличение жесткости при понижении температуры.

Влияние конструктивных особенностей самонесущих кабелей на температурные изменения жесткости целесообразно оценить по относительному изменению жесткости, определяемому в соответствии с соотношением

$$\delta B = \frac{B_t - B_{22}}{B_{22}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где B_{22} – жесткость ОК при температуре +22°С [Н·м²]; B_t – измеренная жесткость ОК при заданной температуре [Н·м²]. Зависимости δB от температуры для ОК с различной стойкостью к растяжению приведены на рис. 3.

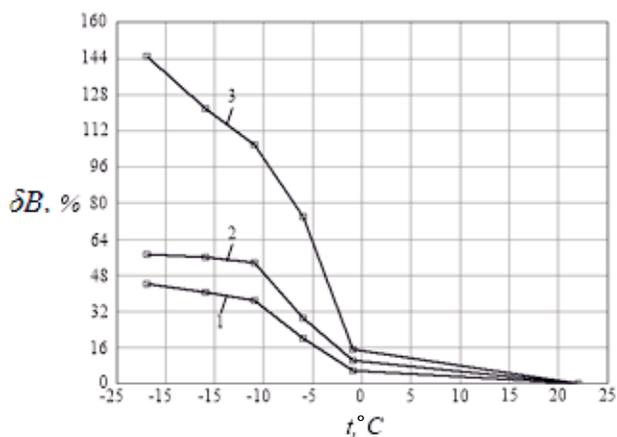


Рис. 3. Зависимость изменения жесткости кабеля B_{cp} при понижении температуры по сравнению с жесткостью ОК при температуре +22°С: 1 – ОКЛЖ-40, 2 – ОКЛЖ-35, 3 – ОКЛЖ-15

Здесь также можно выделить диапазон от –1°С до –11°С как область, для которой динамика изменения относительной жесткости значительно превышает ее значения в прилегающих

температурных областях. Однако если на рис. 2 прогнозируемая большая величина абсолютной жесткости ОК во всех трех температурных областях соответствует образцу №3 (ОКЛЖ-40), то на рис. 3 большее изменение относительной жесткости соответствует облегченному самонесущему ОК типа ОКЛЖ-15.

Рассмотрим изменения жесткости основных конструктивных элементов самонесущих ОК в исследуемом диапазоне температур. При изготовлении защитных оболочек ОК, предназначенных для эксплуатации в условиях низких температур, применяется полиэтилен с температурой стеклования ниже –60°С [5]. Изменение структуры полимера оболочек до этих значений температуры не происходит, и, следовательно, неоправданно ожидать изменения температурного градиента жесткости во второй области. Модульные трубки изготавливаются из полибутилентерефталата (ПБТ), температура стеклования которого выше комнатной [5]. Поэтому при температурах ниже 0°С резких изменений жесткости не должно наблюдаться [6-7].

Влияние гидрофобного компаунда на жесткость ОК в диапазоне отрицательных температур может быть оценено при сопоставительном анализе результатов исследований ОК, содержащих в своей конструкции гидрофобный гель и при его отсутствии. На рис. 4 представлены экспериментальные данные измерений температурных зависимостей жесткости ОК облегченной конструкции без гидрофобного заполнения, приведенные в [8].

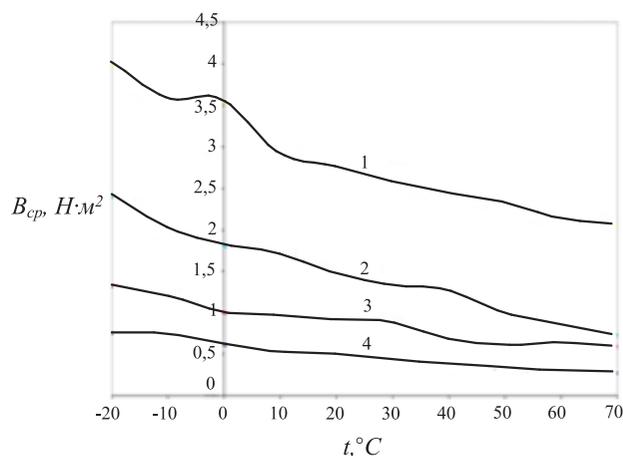


Рис. 4. Экспериментальные данные изменений жесткости ОК, не содержащих гидрофобного заполнения: 1...4 – ОК без гидрофобного заполнения с разным числом ОВ

Представленные на рис. 4 зависимости не содержат изменения температурного градиен-

та жесткости в области 0°C. К аналогичным результатам приводит анализ экспериментальных данных исследования жесткости оптических модулей в диапазоне температур, содержащих гидрофобный гель и без него [9].

Заключение

В работе представлены результаты анализа данных экспериментальных исследований влияния гидрофобного заполнителя на жесткости оптического кабеля. Показано, что для кабелей рассмотренных конструкций наличие гидрофобного геля увеличивает температурный градиент жесткости в диапазоне температур от -1°C до -11°C. Это, в свою очередь, является причиной резкого увеличения абсолютной и относительной жесткости самонесущих ОК в диапазоне низких отрицательных температур.

Литература

1. Алехин И.Н., Воронков А.А. Прогнозирование срока службы оптических кабелей связи, эксплуатирующихся в условиях низких температур // Известия СНЦ РАН. Т.16, №4 (3), 2014. – С. 516-519.
2. Алехин И.Н., Бурдин В.А., Онищенко С.Г. Способы герметизации оптических муфт для монтажа в экстремальных условиях // Вестник связи. №1, 2010. – С. 45-49.
3. ТУ 3587-005-43925010-98. Кабели оптические марки ОКЛЖ. Самара. ЗАО Самарская оптическая кабельная компания. 2006. – 37 с.
4. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Method of measurement of optical cable stiffness at low temperatures // Proceedings of SPIE. Vol. 9156, 2013. – P. 91560O-1 – 91560O-6.
5. Baucom J.L., Wagman R.S., Quinn C.M. Ice in Stranded Loose Tube and Single-Tube Fiber Optic Cables// IWCS Proceedings. 2003. – P. 472-477.
6. Mahieux C.A., Reifsnider K.L. Property modeling across transition temperatures in polymers: a robust stiffness-temperature model // Proceedings of Polymer. Vol. 42, 2001. – P. 3281-3291.
7. Fakirov S. Handbook of Thermoplastic Polyesters, Homopolymers, Copolymers, Blends and Composites. Wiley-VCH, Weinheim, 2002. – P. 390-393.
8. Sutehall R., Davies M., Joslin T., Griffioen W., Heinonen J. Blowing Of Mini-Cables In Extreme Ambient Weather Conditions // IWCS Proceedings, 2011. – P. 226-232.
9. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Research of the loose-tube gel-filled optical cable stiffness at low temperatures // Proceedings of SPIE. Vol. 9533, 2014. – P. 95330L-1 - 95330L-6.
10. Temple K.D., Bringuier A., Seddon D.A., Wagman R.S. Update: Gel-Free Outside Plant Fiber-Optic Cable Performance Results in Special Testing // IWCS Proceedings, 2007. – P. 561-566.

Получено 09.12.2016

Алехин Иван Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры инфокоммуникационных технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-927-720-91-53. E-mail: vania-alexin@yandex.ru

Баскаков Владимир Семенович, к.т.н., доцент Кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: vowa.bvs44@yandex.ru

Никулина Татьяна Геннадьевна, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: mars.samara@mail.ru

SELF-SUPPORTING OPTICAL CABLE STIFFNESS AT VERY LOW TEMPERATURES

Alekhin I.N., Baskakov V.S., Nikulina T.G.

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

E-mail: vania-alexin@yandex.ru

The paper investigates the analysis of stiffness variations of self-supporting optical cables at low temperatures. Influence of a hydrophobic compound on optical cables stiffness is examined. Results of studies indicate the designs of self-supporting optical cables having various resistance to the stretching loadings. The studied samples of optical cables had one or two layers of kevlar yarns and an outer polyethylene sheath or both outer and inner ones. All samples initially had different stiffness measured at a temperature of +20°C. The obtained results were compared to the results of simi-

lar studies performed for the optical cables intended for blowing-in in a duct. The results suggest that the stiffness increases with decreasing temperature largely if optical cables structure includes hydrophobic filling.

Keywords: optical cable, self-supporting optical cable, stiffness, optic transmission lines, central strength member, loose tube, temperature gradient of stiffness, low negative temperatures, cable line infrastructure, hydrophobic filling, kevlar yarns, polybutylene terephthalate

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.2.05

Alekhin Ivan Nikolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Science. Tel.: +79277209153. E-mail: vania-alexin@yandex.ru

Baskakov Vladimir Semenovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Science, Associated Professor. Tel.: +78462280066. E-mail: vowa.bvs44@yandex.ru

Nikulina Tatiana Gennadyevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Science. Tel.: ++78462280066. E-mail: mars.samara@mail.ru

References

1. Alekhin I.N., Voronkov A.A. Prognozirovaniye sroka sluzhby opticheskikh kabeley svyazi, ekspluatiruyushchikhsya v usloviyakh nizkikh temperature [Forecasting the life of optic cables, operated at low temperatures]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, vol. 16, no 4, pp. 516-519.
2. Alekhin I.N., Burdin V.A., Onishchenko S.G. Sposoby germetizatsii opticheskikh muft dlya montazha v ekstremal'nykh usloviyakh [Methods for sealing optical closures for installation in extreme conditions]. *Vestnik svyazi*, 2010, no. 1, pp. 45-49.
3. *Tekhnicheskiye usloviya TU 3587-005-43925010-98. Kabeli opticheskiye marki OKLZH* [Specifications TU 3587-005-43925010-98. Optical cables of ADSS type]. Samara, JSC Samara Optical Cable Company, 2006. 37 p.
4. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Method of measurement of optical cable stiffness at low temperatures. *Proceedings of SPIE*, 2013, vol. 9156, pp. 91560O. doi:10.1117/12.2054261
5. Baucom J.L., Wagman R.S., Quinn C.M. Ice in Stranded Loose Tube and Single-Tube Fiber Optic Cables. *IWCS Proceedings*, 2003, pp. 472-477.
6. Mahieux C.A., Reifsnider K.L. Property modeling across transition temperatures in polymers: a robust stiffness-temperature model. *Proc. Polymer*, 2001, vol. 42, pp. 3281-3291. doi:10.1016/S0032-3861(00)00614-5.
7. Fakirov, S. *Handbook of Thermoplastic Polyesters, Homopolymers, Copolymers, Blends and Composites*, Wiley-VCH, Weinheim, 2002, pp. 390-393.
8. Sutehall R., Davies M., Joslin T., Griffioen W., Heinonen J. Blowing Of Mini-Cables In Extreme Ambient Weather Conditions. *IWCS Proceedings*, 2011, pp. 226-232.
9. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Research of the loose-tube gel-filled optical cable stiffness at low temperatures. *Proceedings of SPIE*, 2014, vol. 9533, pp. 95330L. doi:10.1117/12.2180719.
10. Temple K.D., Bringuier A., Seddon D.A., Wagman R.S. Update: Gel-Free Outside Plant Fiber-Optic Cable Performance Results in Special Testing. *IWCS Proceedings*, 2007, pp. 561-566.

Received 09.12.2016