

11. Whitt W. Approximating a point process by a renewal process: two basic methods. *Operation Research*, 1982, vol. 30 no. 1, pp. 125-147.

Received 15.11.2018

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ К ИЗГИБАМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Алехин И.Н., Гаврюшин С.А., Попов В.Б., Никулина Т.Г., Мотин К.И.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ntg81@list.ru

В статье представлены результаты анализа нормативно-технической документации и существующих методов испытаний кабелей связи на стойкость к отрицательным температурам. Рассмотрена методика испытания на холодостойчивость защитного полиэтиленового шланга и методика испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам, а именно к воздействию пониженной рабочей температуры окружающей среды. На основе выполненного анализа предложена методика испытаний кабелей на стойкость к изгибам при температуре окружающей среды -60°C . По предложенной методике выполнены исследования двух образцов кабелей связи: симметричных высокочастотных кабелей с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и симметричных высокочастотных кабелей связи с кордельно-полистирольной изоляцией. По результатам проведенных экспериментальных исследований показана высокая холодостойкость наружной полиэтиленовой оболочки испытанных образцов кабелей.

Ключевые слова: кабель связи, жесткость, холодостойкость, полиэтиленовая оболочка, изгиб

Введение

Вопросы обеспечения высокой надежности медножильных кабелей связи обладают в настоящее время большой актуальностью, поскольку «оптика» на сетях связи сегодня применяется не везде. Например, в сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД) наблюдается следующая ситуация: не более 10% населения в мире подключено к волокну непосредственно, что связано с достаточно большими затратами на реализацию технологии FTTH [1]. По этой причине многие операторы связи используют менее дорогие технологии FTTB и FTTC, в которых на абонентском участке используются медные кабели с применением высокоскоростного оборудования DSL. Ставку на использование медножильных кабелей при развитии ШПД делают сегодня операторы связи большинства стран Западной Европы. Например, в компании Deutsche Telecom затраты на строительство ШПД на основе VDSL2 на 70% ниже, чем по технологии FTTH [2]. Следует также сказать, что для решения технологических задач на ведомственных сетях связи еще достаточно широко используются симметричные кабели с медными жилами.

Отметим, что на сетях связи в России наиболее широко используются медножильные кабели связи четверочной скрутки типа МКПп и МКСА. Весьма часто эти кабели прокладываются и эксплуатируются в сложных, а порой и экстремальных природно-климатических условиях. Сильные морозы в продолжительный зимний период с низкими температурами осложняют прокладку и эксплуатацию кабелей.

Как показывает практика, при монтаже медножильных кабелей связи в районах с низкой отрицательной температурой (в России более 50% территории находится в районах вечной мерзлоты) кабели чаще всего повреждаются в месте их изгиба. В этой связи значительный практический интерес представляет проведение экспериментальных исследований стойкости наиболее широко применяемых кабелей связи типа МКПпАШп и МКСАШп к изгибам при низких отрицательных температурах.

Стандарты по испытаниям кабелей при низкой отрицательной температуре

Для разработки методики исследований был выполнен анализ методов испытаний кабелей связи на стойкость к низким отрицательным

температурам. Рассматривались нормативные и технические документы [3-10].

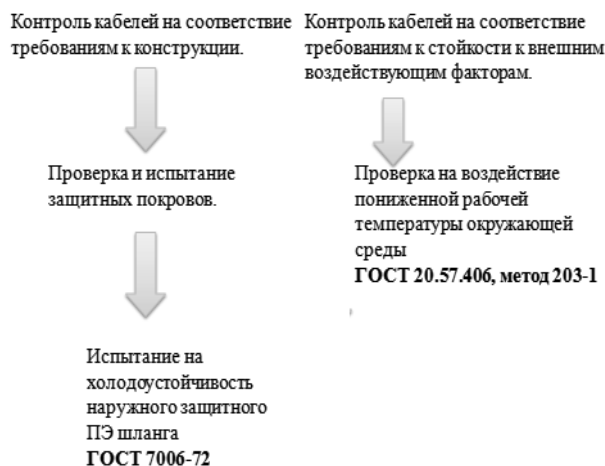


Рисунок 1. Система испытания кабелей связи при низких температурах

Анализ особенностей испытаний при низких температурах, согласно ТУ [3] для симметричных высокочастотных кабелей с пленко-пористой полиэтиленовой изоляцией типа МКП и ГОСТ [4] для симметричных высокочастотных кабелей с кордельно-полистирольной изоляцией типа МКС показал, что выполняется два вида испытаний:

- испытание на холодоустойчивость наружного защитного полиэтиленового (ПЭ) шланга;
- проверка на воздействие пониженной рабочей температуры окружающей среды (см. рисунок 1).

При этом методики испытаний разрабатывались на основе ГОСТ 7006-72 [5] и ГОСТ 20.57.406-81 [6]. Рассмотрим более подробно методики выполнения указанных выше испытаний.

Испытания на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга

Испытание на холодоустойчивость защитного ПЭ шланга [5] проводится на образцах кабеля, плотно намотанных на испытательный цилиндр и помещенных в холодильную камеру. Число витков, диаметры испытательных цилиндров и температура испытаний должны быть указаны в технической документации на кабельные изделия. Защитные покрытия считают выдержавшими испытания, если шланги не имеют трещин, видимых невооруженным глазом, осмотр образцов проводится без их размотки с испытательных цилиндров после выдержки при температуре $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ не менее 60 мин.

Следует отметить, что намотка образцов на цилиндр проводится при нормальной температу-

ре, затем только образец помещается в климатическую камеру и выдерживается при отрицательной температуре. При этом оценка результатов испытаний – визуальная, по отсутствию трещин на ПЭ оболочке кабеля.

Анализ действующих в России нормативно-технических документов показывает, что методика испытаний на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга согласно ГОСТ 7006-72 [5] почти полностью совпадает с методикой испытаний, описанной в стандартах [7-8].

В ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 [7] описывается методика проведения испытаний оболочек кабелей на изгиб при низких температурах для кабелей, имеющих диаметр до 12,5 мм. Кабель аналогично описанной выше методике ГОСТ 7006-72 наматывается плотно несколькими витками на цилиндр. Диаметр цилиндра должен быть в 5 раз больше диаметра кабеля. Число витков также зависит от диаметра кабеля. Контроль результатов испытаний - визуальный, на оболочке кабеля должны отсутствовать трещины.

В ГОСТ 17491-80 [8] методика испытаний для кабелей диаметром до 12,5 мм также совпадает с методикой испытаний ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 - кабель также наматывается несколькими витками на цилиндр. Отличиями методики ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 и ГОСТ 17491-80 от ГОСТ 7006 является то, что кабели сначала выдерживаются в климатической камере в распрямленном состоянии, до полного замерзания и только после этого наматываются на цилиндр. При этом вероятность повреждения кабеля будет больше, так как замороженный кабель обладает большей жесткостью.

Также следует отметить, что в ГОСТ 17491-80 приводится методика испытаний кабелей, имеющих диаметр выше 12,5 мм. В этом случае используется установка, приведенная на рисунке 2.

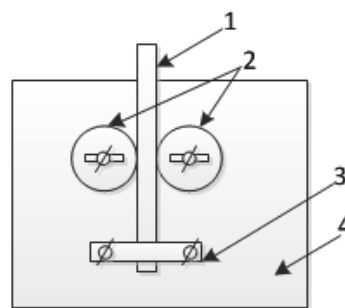


Рисунок 2. Устройство для проведения испытаний на изгиб при отрицательных температурах кабелей с пластмассовой оболочкой диаметром свыше 12,5 мм: 1 - образец; 2- съемные ролики; 3 - зажимы; 4 - стойка

Испытания проводят следующим образом. Образец кабеля выдерживается в распрямленном состоянии при отрицательной температуре 4 часа. После выдержки в камере холода образец должен быть подвергнут трем циклам изгиба вокруг роликов в противоположных направлениях со скоростью один изгиб в 3 с. Образец должен быть изогнут на угол не менее 90° . За цикл изгиба принимают изгиб вправо (влево), выпрямление, изгиб влево (вправо) и выпрямление. Кратность диаметров роликов должна быть указана в НТД на кабельные изделия.

Методика испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам

Рассмотрим теперь, каким образом согласно ТУ и ГОСТ выполняются испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам, а именно к воздействию пониженной рабочей температуры окружающей среды.

Для кабелей МКП испытание проводится на образцах кабеля длиной не менее 1,5 м, намотанных в нормальных климатических условиях на цилиндр, имеющий кратность по диаметру 30 диаметров по оболочке кабеля [3]. Концы образцов кабелей должны быть герметично заделаны. Образцы помещают в камеру холода и выдерживают 2 часа при температуре -50°C . После этого выдерживают в нормальных условиях 2 часа и проводят внешний осмотр, затем испытывают напряжением. Для кабелей МКСА испытания проводят аналогичным образом, но при температуре -30°C [4].

Таким образом, все рассмотренные испытания (и на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга, и испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам) проводят практически по одной методике – кабели наматываются на оправку заданного радиуса при нормальной температуре, а затем помещаются в камеру холода и выдерживаются там заданное время. Далее следует визуальный осмотр образцов (при испытаниях на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга) или проверка напряжением вместе с визуальным осмотром (при испытаниях кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам).

Но, как уже было отмечено выше, принципиальным моментом является то, что кабели наматываются на оправки при нормальной температуре. Общеизвестно, что жесткость кабеля меняется при понижении температуры и как следствие возрастает вероятность его повреждения при изгибе. Практика работы в северных регионах России с

очень низкими температурами показывает, что наибольший интерес представляет изгиб кабеля, выдержанного в распрямленном состоянии при отрицательной температуре и затем испытанного на изгиб.

С учетом этого предлагается за основу взять методику испытания кабеля, описанную в ГОСТ 17491-80 для кабелей с диаметром свыше 12,5 мм. Испытания предлагается проводить для всех образцов кабелей в наиболее жестких условиях, при температуре -60°C с применением оправок с диаметрами равными 30 диаметров кабеля по алюминиевой оболочке, согласно требованиям [3-4]. Помимо внешнего осмотра, предлагается также выполнить испытания образцов кабелей напряжением.

Испытания кабелей на стойкость к изгибам при низких температурах

Два образца кабелей АО «Самарская кабельная компания» с внешним диаметром 30 мм (МКПпА-Шп) и 22 мм (МКСАШп) помещались в распрямленном состоянии в климатическую камеру. Затем образцы выдерживались в климатической камере при температуре -60°C в течение 4 часов.



Рисунок 3. Внешний вид установки для испытаний кабелей на изгиб

После выдержки в камере холода образцы подвергались трем циклам изгиба вокруг оправок в противоположных направлениях (см. рисунок 3) со скоростью один изгиб в течение 3 с на специально изготовленной установке (установка изготавливалась в соответствии с требованиями [8]). Образец изгибался на угол 90° . За один цикл изгиба принимался: изгиб вправо, выпрямление, изгиб влево, выпрямление. Радиусы оправок составляли 390 мм для кабеля МКПпАШп и 285 мм для кабеля МКСАШп, что соответствовало 30 ди-

аметрам кабелей по алюминиевой оболочке, согласно требованиям [3-4].



Рисунок 4. Изгиб кабеля на установке на угол 90°

Чтобы выполнить три цикла изгиба, каждый образец кабеля извлекался из климатической камеры и изгибался за ее пределами на установке (см. рисунок 4). Время после извлечения кабеля и выполнения трех циклов изгиба не превышало 3 мин. [8]. После выполнения трех циклов изгиба выполнялся визуальный осмотр кабеля на наличие или отсутствие повреждений. Затем образцы кабелей выдерживались при нормальной температуре 2 часа и выполнялись испытания напряжением. Образец кабеля считался выдержавшим испытания, если на его поверхности отсутствовали визуально различимые повреждения (трещины) и кабель выдерживал испытание напряжением.

После трех циклов изгиба был выполнен визуальный осмотр кабелей. Повреждений на оболочке кабелей не было. Затем образцы кабелей выдерживались 2 часа при температуре +20°C, после чего была выполнена подготовка образцов кабелей к испытаниям напряжением, которые проводились в соответствии с ТУ 16.К17-034-2003 для МКПпАШп и ГОСТ 15125-92 для МКСАШп. В течение 2 мин. испытательное напряжение величиной 2 кВ с частотой тока 50 Гц подавалось между всеми токопроводящими жилами, соединенными вместе, и металлической оболочкой. Оба образца кабелей выдержали испытания напряжением.

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований показана высокая холодостойкость наружной полиэтиленовой

оболочки симметричных высокочастотных кабелей связи МКПпАШп с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и симметричных высокочастотных кабелей связи с кордельно-полистирольной изоляцией МКСАШп производства АО «Самарская кабельная компания» к изгибам: кабели выдерживали испытания при изгибе радиусом 30 диаметров кабелей по алюминиевой оболочке при температуре –60°C.

Литература

1. Маззарес Д. Влияние увеличения пропускной способности на структуру оптоволоконной сети // Первая миля. – 2016. – №6. – С. 72-74.
2. Спрайт П., Ванхастел С. Векторизация 2.0: G.fast становится еще быстрее // Первая миля. – 2015. – №1. – С. 62-65.
3. ТУ 16.К17-034-2003. Кабели связи симметричные высокочастотные с пленко-пористой полиэтиленовой изоляцией. – Самара: СКК, 2003. – 28 с.
4. ГОСТ 15125-92. Кабели связи симметричные высокочастотные с кордельно-полистирольной изоляцией. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 27 с.
5. ГОСТ 7006-72. Покровы защитные кабелей. Конструкция и типы, технические требования и методы испытаний. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 15 с.
6. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1981. – 159 с.
7. ГОСТ ИЕС 60811-504-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 504. Механические испытания. Испытания изоляции и оболочек на изгиб при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
8. ГОСТ 17491-80. Кабели, провода и шнуры с резиновой и пластмассовой изоляцией и оболочкой. Методы испытания на холодостойкость. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 61-65 с.
9. ГОСТ ИЕС 60811-505-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 505. Механические испытания. Испытания изоляции и оболочек на удлинение при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

10.ГОСТ ИЕС 60811-506-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 504. Механические испытания. Испытания

изоляции и оболочек на удар при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

Получено 28.11.2018

Алехин Иван Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры линии связи и измерения в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

Гаврюшин Сергей Александрович, инженер Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: sagasg@inbox.ru

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Никulina Татьяна Геннадьевна, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: ntg81@list.ru

Мотин Кирилл Игоревич, магистр Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: kirill.motin@mail.ru

BENDING RESILIENCE STUDY FOR COMMUNICATION CABLES AT THE LOW NEGATIVE TEMPERATURES

Alekhin I.N., Gavryushin S.A., Popov V.B., Nikulina T.G., Motin K.I.

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

E-mail: ntg81@list.ru

The article presents the results of the analysis of the normative-technical documentation and the test methods for assessing the resilience of communication cables to negative temperatures. The method of testing the resilience to low temperatures for the protective polyethylene sheath of cable and for the cable itself is considered. Based on the analysis performed, a method of bending resilience testing at an ambient temperature of minus 60 degrees Celsius is proposed. According to the proposed method, two samples of communication cables were studied: symmetric high-frequency cable with film-porous-film polyethylene insulation and symmetric high-frequency communication cable with cord-polystyrene insulation. The results of experimental studies show a high resilience of the outer polyethylene sheath of tested cable samples.

Keywords: *communication cable, stiffness, cold resistance, polyethylene sheath, bending*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.04

Alekhin Ivan Nikolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280066. E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

Gavryushin Sergey Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Engineer of the Department of Communication Lines. Tel. +78462280066. E-mail: gavrushin-sa@psuti.ru

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences, Professor. Tel. +78462280066. E-mail: inkat@inbox.ru

Nikulina Tatyana Gennadyevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280066. E-mail: ntg81@list.ru

Motin Kirill Igorevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Master student of the Department of Communication Lines. Tel. +78462280066. E-mail: kirill.motin@mail.ru

References

1. Mazzares D. Vliyaniye uvelicheniya propusknoy sposobnosti na uchastok optovolokonnoy seti [The effect of increased bandwidth on the structure of the optical network]. *Pervaya milya*, 2016, no. 6, pp. 72-74.
2. Sprayt P., Vankhastel S. Vektorizatsiya 2.0: G.fast stanovitsya yeshche bystreye [Vectorization 2.0: G.fast getting even faster]. *Pervaya milya*, 2015, no. 1, p. 62-65.
3. TU 16.K17-034-2003. Kabeli svyazi simmetrichnyye vysokochastotnyye s plenkoporistoy polietilenovoy izolyatsiyey [Technical conditions 16.K17-034-2003. Symmetrical high-frequency communication cables with film-porous polyethylene insulation]. Samara, SKK Publ., 2003. 28 p.
4. GOST 15125-92. Cord-polystyrene insulated high-frequency balanced communication cables. Moscow, Standards Publ., 1992. 27 p. (In Russian).
5. GOST 7006-72. Protective coverings of cables. Design and types, technical requirements and test methods, Moscow, Standards Publ., 2004. 15 p. (In Russian).
6. GOST 20.57.406-81. Complex quality control system. Electronic, quantum electronic and electrotechnical components. Test methods, Moscow, Standards Publ., 1981. 159 p. (In Russian).
7. GOST IEC 60811-504-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 504. Mechanical tests. Bending tests at low temperature for insulation and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p. (In Russian).
8. GOST 17491-80. Cables, wires and cords with rubber and plastic insulation and sheath. Methods of frostproofness tests. Moscow, Standards Publ., 2003. 61-65 p. (In Russian).
9. GOST IEC 60811-505-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 505. Mechanical tests. Elongation tests at low temperature for insulation and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 12 p. (In Russian).
10. GOST IEC 60811-506-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 506. Mechanical tests. Impact test at low temperature for insulations and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p.

Received 28.11.2018

УДК 004.03

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ В СИСТЕМЕ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВИДА $H_2/H_2/1$

Карташевский И.В., Малахов С.В., Мезенцева Е.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

E-mail: ivk@psuti.ru

В статье рассматриваются два различных подхода к определению среднего времени задержки требования в очереди для систем массового обслуживания, где время поступления и обслуживания требований имеют гиперэкспоненциальное распределение второго порядка. Первый подход подразумевает решение интегрального уравнения Линдли спектральным методом и сводится к тому, чтобы найти выражение для спектрального разложения в виде произведения двух множителей, которое давало бы рациональную функцию. Второй подход основан на предположении эргодичности последовательности интервалов времени ожидания заявки в очереди с учетом рациональной формы преобразования Лапласа от экспоненты. Ключевым моментом этого подхода является использование характеристической функции, определяемой преобразованием Лапласа для плотности вероятностей суммы рассматриваемых случайных величин. Для вычисления среднего времени задержки в очереди определяются параметры гиперэкспоненциальных распределений на основе проведения аппроксимации случайных величин, определяющих время поступления и обслуживания, на уровне трех моментных характеристик.

Ключевые слова: система массового обслуживания $H_2/H_2/1$, среднее время ожидания в очереди, метод спектрального разложения, интегральное уравнение Линдли, преобразование Лапласа-Стилтьеса, аппроксимация на уровне трех моментов

Введение

Для анализа и моделирования трафика современных компьютерных сетей и сетей телекоммуникаций широко используется класс суб-

экспоненциальных распределений, куда входят, в частности, распределения Вейбулла, гамма, логнормальное и гиперэкспоненциальное, имеющие коэффициенты вариации большие едини-