15. Shannon Claude E., Weaver Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
16. Wiener Norbert. *Cybernetics*. New York: John Wiley & Sons, 1948.
17. Fisher R.A. *Contributions to Mathematical Statistics*. New York: John Wiley & Sons, 1950.
18. Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency. *Annals of Mathematical Statistics*, 1951, no. 22, pp. 79–86.
19. Kolmogoroff A.N. *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Berlin: J. Springer, 1933.
20. Shohat J.A., Tamarkin J.D. The Problem of Moments. *Mathematical Surveys*, 1943, no. 1. New York: American Mathematical Society, reprinted with small changes in 1950.

Received 20.03.2020

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315.2

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛЬНО-БЛОКИРОВОЧНЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ЭЛЕКТРОТЯГОЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Андреев Р.В., Попов В.Б.

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

Рост грузооборота и развитие высокоскоростного пассажирского движения на отечественных железных дорогах обуславливают необходимость все большего внимания к вопросам обеспечения безопасности движения. Поэтому на участках железных дорог с электротягой переменного тока приоритетным является применение бронированных сигнально-блокировочных кабелей со сплошной алюминиевой оболочкой. Такая конструкция кабеля обеспечивают выполнение норм защищенности цепей кабеля от электромагнитных влияний. Известны также аналогичные по назначению сигнально-блокировочные кабели, в которых вместо сплошной алюминиевой оболочки используется неоднородный алюминиевый экран из алюмополимерной ленты и повива проволок. В статье дан сравнительный анализ сигнально-блокировочных кабелей с цельной сплошной алюминиевой оболочкой и кабелей с экраном из алюмополимерной ленты и повива из алюминиевых проволок с уделением особого внимания характеристикам влияния внешних электрических полей.

Ключевые слова: *сигнально-блокировочные кабели, алюминиевые экраны, внешние электромагнитные влияния, коэффициент защитного действия, затухание экранирования*

Введение

В России на железных дорогах широко используется электротяга переменного тока. При этом возникает значительное электромагнитное влияние на кабели инфраструктуры железных дорог. Это не должно снижать безопасность железнодорожных перевозок. Поэтому на участках железных дорог с электротягой переменного тока применяются сигнально-блокировочные кабели, имеющие повышенную защиту. Это кабели со сплошной алюминиевой оболочкой, бронированные стальными лентами. Конструкция таких кабелей обеспечивает необходимые требования защищенности цепей кабеля от внешних опасных и мешающих электромагнитных влияний. Кабели для сигнализации и блокировки предназначены для сетей железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), обеспечивающих передачу сигналов управления и информации, а также

передачу электрической энергии при эксплуатации электрических установок сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), в частности, светофоров и стрелочных переводов. Кабели сети ЖАТ обеспечивают работу линейных цепей автоблокировки на перегонах между станциями и функционирование системы устройств электрической централизации стрелок и сигналов горочной автоматической и диспетчерской централизации и переездной сигнализации [1].

Для сети ЖАТ применяются однородные (с одинаковыми жилами и парами) сигнально-блокировочные кабели с полиэтиленовой изоляцией в алюминиевой оболочке и комбинированные кабели, состоящие из пар или звездных четверок, скрученных из изолированных медных жил, и оптического элемента, скрученного из оптических модулей с оптическими волокнами. Комбинированные кабели с оптическими воло-

нами и медными жилами предназначены для цепей технологической связи и устройств СЦБ. Эти кабели используются в волоконно-оптических системах передачи по оптическим волокнам, цифровых и аналоговых системах передачи в диапазоне частот до 400 кГц по парам основных высокочастотных четверок жил, в электрических установках устройств СЦБ при номинальном напряжении 380 В переменного тока частотой 50 Гц или постоянном напряжении 700 В по вспомогательным парам, в том числе скрученным в четверки жил. Применение комбинированного кабеля позволяет снизить затраты на строительство и реконструкцию кабельной линии на 16–20 % по сравнению с использованием трех разных типов кабелей: волоконно-оптического, магистрального высокочастотного кабеля и кабеля для сигнализации и блокировки [1].

Далеко не все предприятия кабельной промышленности имеют возможность серийно производить кабели со сплошной алюминиевой оболочкой по причине отсутствия необходимого технологического оборудования. Для производства таких кабелей необходимо наличие на предприятии алюминиевого прессы или высокочастотного сварочного стана. Желание некоторых предприятий кабельной отрасли выпускать кабели с алюминиевой оболочкой при отсутствии необходимого технологического оборудования привело к тому, что на рынке кабельно-проводниковой продукции появились кабели с неоднородной алюминиевой оболочкой. Например, известно о поставках на объекты ОАО «РЖД» сигнально-блокировочных кабелей с неоднородной алюминиевой оболочкой, которая изготовлена из алюмополимерной ленты и повива алюминиевых проволок [2].

Отметим, что на протяжении более 25 лет предприятие АО «СКК» является основным поставщиком кабельной продукции для объектов ОАО «РЖД». Железнодорожные кабели разработаны и производятся с учетом большого опыта предприятия по серийному выпуску кабелей связи для нужд оборонного ведомства страны. Эти кабели имеют повышенную надежность и стойкость к воздействию внешних факторов. Объекты ОАО «РЖД» являются стратегически важными для нашей страны, поэтому кабели, поставляемые на них, должны отвечать всем необходимым требованиям. АО «СКК» были разработаны и испытаны различные конструкции сигнально-блокировочных кабелей, в том числе с экраном из алюмополимерной ленты, в цельном сплошном алюминиевом экране и экране из алю-

миниевых проволок. После проведенного анализа полученных результатов испытаний, учитывая рекомендации ВНИИУП МПС России для применения на объектах железных дорог, авторы выбрали конструкцию кабеля со сплошной алюминиевой оболочкой. Такие кабели могут иметь усиление конструкции путем их бронирования. Сплошная прессованная, либо сварная алюминиевая оболочка обеспечивает надежную защиту кабелей от различных внешних воздействий, в том от воздействия влаги, делая их герметичными. Этого нельзя сказать в отношении кабелей с неоднородной алюминиевой оболочкой, изготовленной из алюмополимерной ленты и повива проволок.

В настоящей статье делается сравнительный анализ конструкций сигнально-блокировочных кабелей производства АО «СКК» с цельной сплошной алюминиевой оболочкой и кабелей с экраном из алюмополимерной ленты и повива из алюминиевых проволок. При этом особое внимание уделено характеристикам влияния внешних электрических полей, так как такие кабели предназначены для прокладки на электрифицированных железных дорогах переменного тока, на которых контактная сеть всегда оказывает мешающие, а в аварийных ситуациях и опасные, электромагнитные влияния.

Сравнительный анализ характеристик сигнально-блокировочных кабелей

Испытания сравниваемых образцов сигнально-блокировочных кабелей проводились в условиях кабельного производства в лаборатории службы качества предприятия АО «СКК». Испытывались два образца сигнально-блокировочных кабелей с различной конструкцией алюминиевой оболочки. Первый образец – кабель марки СБПЗАуБпШп 7×2×0,9, который имеет сплошную прессованную алюминиевую оболочку. Вторым образцом – кабель марки СБППэпЗБаПБбШп 7×2×0,9, который имеет алюминиевую оболочку в виде алюмополиэтиленовой ленты и повива алюминиевых проволок. При этом следует отметить, что геометрические размеры отдельных элементов сравниваемых кабелей, влияющих на характеристики защищенности от внешних электромагнитных влияний (КЗД), незначительно, но отличаются. Так, у кабеля с алюминиевой оболочкой диаметр по поясной изоляции составляет 12,84 мм при толщине алюминиевой оболочки 3,2 мм, а у кабеля с экраном из алюминиевых проволок 15,76 мм соответственно при их диаметре 3,15 мм. Диаметр кабеля по наружному

защитному покрову типа Шп – 32,12 мм и 34,16 мм соответственно. Результаты проведенных испытаний первичных электрических параметров и физико-механических характеристик сравниваемых кабелей представлены в таблице 1.

Устойчивость и качество работы сигнально-блокировочных кабелей в значительной степени определяются защищенностью цепей от внешних электромагнитных влияний. Защищенность цепей кабелей от внешних электромагнитных

Таблица 1. Результаты испытаний первичных электрических параметров и физико-механических характеристик кабелей

Вид испытаний	Нормированное значение	Фактическое значение	
		Кабель СБПЗАуБпШп 7×2×0,9	Кабель СБППэпЗБаПБбШп 7×2×0,9
1. Сопротивление изоляции, ГОм, не менее	4	5,444–5,683	5,246–5,723
2. Емкость рабочая, нФ/км, не более	70	57,36–58,57	58,87–60,37
3. Максимальное пробивное напряжение между изолированными жилами и экраном, кВ	–	15	10
4. Стойкость к изгибам после выдержки при температуре –15 °С в течение 2 часов – испытание переменным напряжением в течение 1 мин: – между жилами 2500 В; – между жилами и экраном 3000 В	Не должно быть трещин Не должно быть пробоя	Трещин нет Пробоя нет	Трещин нет Пробоя нет
5. Определение допустимого растягивающего усилия кабелей: – допустимая растягивающая нагрузка, кН; – испытание напряжением после растяжения	4	4	4
	3	12	9
6. Изгиб алюминиевой оболочки	Не должно быть трещин после двойного изгиба два раза (при осмотре без применения увеличительных приборов)	Трещины отсутствуют	–

Таблица 2. Результаты измерения КЗД

Вид испытаний	Напряжение на оболочке	Норма	Кабель СБПЗАуБпШп 7×2×0,9	Кабель СБППэпЗБаПБбШп 7×2×0,9
Идеальный коэффициент защитного действия металлопокрывов кабеля при продольной ЭДС 30–600 В при частоте 50 Гц, не более	30	0,1	0,070	0,16
	50	0,1	0,070	0,13
	100	0,1	0,050	0,11
	150	0,1	0,047	0,12
	200	0,1	0,047	0,14
	250	0,1	0,050	0,16
	300	–	0,058	0,16
	350	–	0,069	0,17
	400	–	0,082	0,18
	450	–	0,094	0,19
	500	–	0,100	0,19
	600	–	0,120	0,18

влияний (коэффициент защитного действия металлопокрова кабеля на частоте 50 Гц при продольной ЭДС) является одной из основных характеристик данного вида кабелей [3; 4].

Измерение идеального КЗД образцов сигнально-блокировочных кабелей СБПЗАуБпШп и СБППэпЗБаПБШп проводилось при помощи универсального цифрового вольтметра GTM-8145 в соответствии с требованиями ГОСТ 27893-88. Результаты измерения КЗД представлены в таблице 2. Анализ результатов проведенных испытаний (см. таблицы 1–2) показывает, что по первичным параметрам и физико-механическим характеристикам сравниваемые кабели полностью отвечают нормативным значениям, чего нельзя сказать относительно КЗД. Если кабель в сплошной алюминиевой оболочке имеет запас по величине КЗД относительно нормы, то для кабеля с экраном из алюмополиэтиленовой ленты и повиввеличина КЗД не отвечает установленной норме [4].

Уместно отметить, что результаты измерения кабеля марки СБПЗАуБпШп $7 \times 2 \times 0,9$ хорошо согласуются с данными, приведенными в [4], для кабелей марки МКСАБп, которые имеют сплошную алюминиевую оболочку и такие же защитные бронепокровы.

Параметр идеального КЗД металлических оболочек кабелей поддается корректировке. Снизить величину этого параметра возможно, внося изменения в конструкцию кабеля. Если применить для изготовления алюминиевой оболочки проволоки большего диаметра, то это позволит снизить значения идеального КЗД кабеля. Однако это приведет к увеличению размеров кабеля в целом, увеличению расхода материалов на защитные покровы, накладываемых поверх повива из алюминиевых проволок.

Рассматривая экранирующее действие кабеля СБППэпЗБаПБШп с алюминиевыми проволоками и алюмополиэтиленовой лентой, следует сказать, что этот экран является электрически неоднородным, так как в его конструкции имеются небольшие щели между алюминиевыми проволоками и продольная щель в алюминиевой ленте толщиной 0,2 мм, которая образуется за счет покрытия алюминиевой ленты с двух сторон слоем сополимера толщиной 0,1 мм.

Теоретические и экспериментальные исследования такой конструкции экранов, результаты которых изложены в [6; 8], показывают, что коэффициент экранирования S , характеризующий защищенность цепи кабеля от внешних электромагнитных полей в области высоких частот, которые всегда присутствуют на электрифициро-

ванных железных дорогах, особенно на дорогах с электротягой переменного тока, всегда больше (хуже), чем коэффициент экранирования однородного цельного экрана:

$$S = S_c + S_{щ}, \quad (1)$$

где S_c – коэффициент экранирующего сплошного цельного экрана; $S_{щ}$ – коэффициент экранирования, характеризующий влияние щели. Для экрана из круглых проволок коэффициент экранирования записывается как [6]:

$$S = S_{щ} = 2 \frac{S}{2\pi\tau_0} \ln \frac{a}{\tau_0}, \quad (2)$$

где S – ширина щели; τ_0 – радиус проволоки; τ_0 – радиус проволоки экрана; a – расстояние между соседними проволоками.

Экранное затухание (затухание экранирования), которым обычно оценивается защищенность от внешних влияний в области высоких частот, определяется по формуле

$$A_0 = \ln \left| \frac{1}{S_{щ}} \right| = 8,7 \ln \frac{1}{\frac{2S}{\pi\tau_0} \ln \frac{a}{\tau_0}}, \text{ дБ}. \quad (3)$$

Расчет затухания экранирования сплошного алюминиевого экрана и экрана из алюминиевых проволок и алюмополиэтиленовой ленты показал, что у сплошного экрана оно на 10 дБ выше. Сравниваемые конструкции сигнально-блокировочных кабелей имеют бронепокровы из двух стальных лент. Теоретически определить экранирующие характеристики кабелей комбинированных экранов, содержащих немагнитные (алюминий) и магнитные (сталь) материалы, практически очень сложно, поэтому их обычно определяют экспериментально [7].

Для сравнительной оценки степени влияния внешних высокочастотных полей проведен эксперимент по измерению переходного затухания на ближнем конце A_0 на образцах кабелей СБПЗАуБпШп $7 \times 2 \times 0,9$ и СБППэпЗБаПБШп $7 \times 2 \times 0,9$ длиной по 20 м. Для этого к образцам кабелей был прикреплен по всей длине изолирующей лентой кабель ПРППМ $1 \times 2 \times 0,9$, который являлся влияющей цепью, а цепи рассматриваемых кабелей были цепями, подверженными влиянию. Кабельные цепи были нагружены сопротивлениями, равными волновому сопротивлению на высоких частотах.

Результаты измерения отдельных реализаций частотных характеристик A_0 в диапазоне частот 4–32 МГц были усреднены. На рисунке показаны частотные характеристики средних значений A_0 исследуемых кабелей.

Рисунок. Частотные характеристики средних значений A_0 между цепью кабеля ПРППМ (влияющая цепь) и кабелями СБППЭпЗБаПБШп $7 \times 2 \times 0,9$

Анализ графиков позволяет отметить, что наличие щелей в конструкции экрана с алюминиевыми проволоками и алюминиевой лентой снижает защищенность от внешних электромагнитных полей высокой частоты на 5–10 дБ. Аналогичные выводы приводятся и в работах [7–10], где показано, что наличие в экране продольной щели шириной 2 мм снижает защищенность на 12–16 дБ.

Выводы

По результатам проведенного сравнительного анализа конструкций, электрических и физико-механических характеристик сигнально-блокировочных кабелей можно сделать следующие выводы.

1. При близких размерах отдельных конструктивных элементов сравнительных кабелей параметры, характеризующие защищенность от влияния внешних электромагнитных влияний в области высоких частот, кабели, имеющие в качестве экрана повив из алюминиевых проволок и алюмополиэтиленовую продольную ленту, уступают место кабелям со сплошной цельной алюминиевой оболочкой.

2. Значение идеального КЗД кабеля с цельной алюминиевой оболочкой значительно ниже (лучше), чем кабеля с экраном из алюмополиэтиленовой ленты и повива из алюминиевых проволок.

3. Конструкция кабеля марки СБППЭпВББаПБШп имеет следующие конструктивные недостатки по сравнению с конструкцией кабеля марки СБПЗАуБпШп:

– низкая степень защиты от продольного проникновения влаги вдоль проволок экрана и лент брони приведет со временем к коррозии и разрушению экрана, а также значительно увеличит время устранения повреждений и расход кабеля на ремонт;

– значение максимального пробивного напряжения между жилами и экраном в 1,5 раза ниже, что обусловлено конструктивной особенностью (алюмополимерная лента проложена по сердечнику кабеля).

Литература

1. Кабели и провода. Основы кабельной техники / под ред. И.Б. Пешкова. М.: Энергоатомиздат, 2009. 467 с.
2. Патент РФ на полезную модель №133344. Кабель для систем железнодорожной сигнализации, централизации и блокировки // ЗАО «Белтелекабель». Дата рег. 25.03.2013.
3. Исследование стойкости сигнально-блокировочных кабелей / Н.И. Алехин [и др.] // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 7. С. 23–25.
4. Направляющие системы электросвязи. 8-е изд. / под ред. В.А. Андреева. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 396 с.
5. ГОСТ Р 56292-2014. Кабели для сигнализации и блокировки. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
6. ГОСТ 31995-2012. Кабели для сигнализации и блокировки с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.

7. Гроднев И.И., Сергейчук К.Я. Экранирование аппаратуры и кабелей связи. М.: Связьиздат, 1960. 316 с.
8. Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1957. 326 с.
9. Михайлов М.И. Влияние внешних электромагнитных полей на цепи проводной связи и защитные мероприятия. М.: Связьиздат, 1959. 583 с.
10. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. М.: Связь, 1979. 264 с.

Получено 26.03.2020

Андреев Роман Владимирович, к.т.н., доцент, директор колледжа связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: andreev-rv@psuti.ru

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

CHARACTERISTICS OF SIGNAL-BLOCKING CABLES FOR RAILWAYS WITH AC ELECTRIC TRACTION

Andreev R.V., Popov V.B.

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: inkat@inbox.ru*

The growth of cargo turnover and the development of high-speed passenger traffic require special attention to the safety of railway transport. Therefore, on sections of railways with AC electric traction in signal-blocking cables preference is given to a solid aluminum shell and armor made of two steel bands, which provide necessary protection of cable circuits from external dangerous and interfering electromagnetic influences. Also, there are signal-blocking cables that are similar in purpose but use a screen made of aluminum polymer tape and a layer of aluminum wires instead of an aluminum shell. The paper makes a comparative analysis of signal-blocking cables with a solid aluminum shell and cables with a screen made of aluminum-polymer tape and a layer of aluminum wires, paying special attention to the characteristics of the influence of external electric fields.

Keywords: *signal-blocking cables, aluminum screens, external electromagnetic influences, coefficient of protective action, shielding attenuation*

DOI: 10.18469/ikt.2020.18.2.02

Andreev Roman Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; PhD in Technical Science, Associate Professor, Director of the College of Communications. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: andreev-rv@psuti.ru

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; PhD in Technical Science, Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

References

1. *Cables and wires. The basics of cable technology*. Ed. by I.B. Peshkov. Moscow: Energoatomizdat, 2009, 467 p. (In Russian.)
2. *Cable for railway signalling, centralisation and blocking systems*. Utility model patent No. 133344, Beltelekabel CJSC. (In Russian.)
3. Alyokhin N.I. et al. Investigation of the stability of signal-blocking cables. *Automation, communications, computer science*, 2018, no. 7, pp. 23–25. (In Russian.)

4. *Guide systems for telecommunications*. 8th ed. Ed. by V.A. Andreev. Moscow: Hotline – Telecom, 2018, 396 p. (In Russian.)
5. GOST R 56292-2014 *Cables for signaling and blocking. General specifications*. Moscow: Standartinform, 2015. (In Russian.)
6. GOST 31995-2012 *Cables for signaling and blocking with polyethylene insulation in a plastic shell. Technical conditions*. Moscow: Standartinform, 2014. (In Russian.)
7. Grodnev I.I., Sergeichuk K.Y. *Shielding equipment and cables*. Moscow: Svyazist, 1960, 316 p.
8. Kaden G. *Electromagnetic screens in high-frequency engineering and telecommunication technology*. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat, 1957. 326 p. (In Russian.)
9. Mikhailov M.I. *Influence of external electromagnetic fields on wire communication circuits and protective measures*. Moscow: Svyazizdat, 1959, 583 p. (In Russian.)
10. Mikhailov M.I., Razumov L.D., Sokolov S.A. *Electromagnetic influences on communication structures*. M.: Svyaz, 1979, 264 p. (In Russian.)

Received 26.03.2020

УДК 681.7.068

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Алехин И.Н., Дашков М.В., Никулина Т.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

Рассмотрены вопросы влияния изгибов и вызванных изгибами механических напряжений на срок службы оптического волокна в кабеле. Показано, что распределение радиусов изгиба по длине волокна дает однозначную взаимосвязь с распределением механических напряжений. Представлен сравнительный обзор современных методов, применяемых для контроля механических напряжений в оптических волокнах. Сделано заключение, что для современных оптических волокон, обладающих пониженной чувствительностью к изгибам, наиболее перспективным и доступным в реализации является метод поляризационной рефлектометрии, основанный на анализе информации о распределении двулучепреломления по длине оптического волокна. Определены факторы, приводящие к изменению величины двулучепреломления в процессе эксплуатации оптического волокна. Представлены условия, которые необходимо соблюдать при выполнении оценки распределения двулучепреломления по длине оптического волокна.

Ключевые слова: оптическое волокно, надежность, срок службы, избыточная длина, оптический кабель, двулучепреломление, поляризация, механическое напряжение, рефлектометрия

Введение

Срок службы волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) в значительной степени определяется надежностью оптического волокна (ОВ) в строительных длинах оптического кабеля. Срок службы ОВ зависит от его прочности и от приложенной к ОВ механической нагрузки [1]. В отсутствие внешних нагрузок на кабель механические напряжения в ОВ почти целиком определяются изгибами. Изгибы ОВ в строительных длинах возникают вследствие избыточности ОВ в конструкции кабеля. Избыточная длина ОВ, с одной стороны, ограничивает нагрузки на ОВ при продольных воздействиях на кабель, но, с другой стороны, приводит к многократным изгибам волокна по длине кабеля. Для контроля избыточности ОВ

в кабеле и равномерности его распределения выполняется мониторинг избыточности ОВ как в процессе производства оптического модуля, так и после завершения процесса изготовления [2]. Но поскольку избыточность ОВ зависит не только от технологических процессов производства оптического модуля, но и от дальнейших операций, выполняемых с модулем при производстве кабеля, в конечном итоге распределение избыточности ОВ в кабеле, по сравнению с исходным модулем, может стать более нерегулярным. В связи с этим задача оценивания распределения механических напряжений ОВ, вызванных изгибами на строительных длинах кабеля, не теряет своей актуальности. Основными методами, позволяющими оценивать распределения механических напряжений в ОВ, являются: оптическая рефлек-