

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ИЗБЫТОЧНОЙ ДЛИНЫ ВОЛОКНА в самонесущем ОК на отдельных операциях изготовления

В. Андреев, д.т.н., зав. кафедрой ПГУТИ,
Б. Попов, к.т.н., профессор ПГУТИ,
В. Попов, к.т.н., профессор ПГУТИ,
М. Важдаев, аспирант ПГУТИ,

С. Гаврюшин, заведующий лабораторией ПГУТИ / inkat@inbox.ru

УДК 679.7

В работе показано, что при строгом соблюдении технологии производства величина избыточности оптического волокна на этапе изготовления модуля и на последующих операциях изготовления самонесущего оптического кабеля (ОК) изменяется незначительно.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В России широко применяется подвеска самонесущих оптических кабелей на опорах воздушных линий электропередачи (ЛЭП) и контактной сети железных дорог, а в населенных пунктах – на опорах освещения. Использование подвесных ОК очень актуально для обеспечения проблемы цифрового неравенства, которую решает ПАО "Ростелеком" – в значительной степени за счет подвески самонесущих ОК на опорах ЛЭП, в том числе и на воздушных линиях электрических сетей низкого и среднего напряжения 0,4–35 кВ.

В реальных условиях технической эксплуатации подвесные самонесущие ОК подвержены

действию климатических условий (ветер, гололед, температурные изменения, вибрация и др.). Поэтому они, по сравнению с подземными ОК, должны обладать более высокой надежностью.

Качество оптических кабелей в значительной степени зависит от соблюдения технологии на отдельных операциях их производства. Важнейшим параметром, влияющим на срок службы ОК модульной конструкции, является избыточная длина (ИД) оптического волокна (ОВ) в кабеле. Вопросам контроля ИД оптического волокна в ОК посвящено достаточно большое количество работ [1–6]. В [1, 2] показано, что в качестве основного параметра, определяющего эксплуатационные характеристики ОК, является

избыточная длина оптического волокна в модульной трубке (оптический модуль – ОМ). При этом отмечается, что на параметры ОК влияет не величина среднего значения ИД волокна внутри ОМ, а разброс этих значений. В [3, 4] рассматриваются вопросы изменения ИД в процессе изготовления оптического кабеля. Однако в указанных работах не приводится количественная оценка степени изменения ИД на отдельных технологических операциях изготовления ОК.

В этой связи представляют интерес исследования количественных оценок ИД оптических волокон в ОК. Результаты исследований изменений избыточной длины ОВ и представлены в данной работе.

Изменения ИД оптического волокна определялись на одних и тех же ОВ после выполнения отдельных технологических операций изготовления строительных длин самонесущего ОК на одном из ведущих российских кабельных заводов: изготовления ОМ; скрутки ОМ в сердечник; наложения внутренней пластмассовой оболочки; приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) готового кабеля (после наложения слоя силовых элементов из арамидных нитей и наружной пластмассовой оболочки).

Измерения выполнялись на образцах ОМ длиной 4 м при помощи устройства для измерения

Таблица 1. Результаты измерения избыточности длины ОВ в ОМ сразу после их изготовления

ОМ \ ОВ	Белое	Оранжевое	Коричневое	Зеленое
1 Розовый	0,18%	0,21%	0,19%	0,2%
2 Синий	0,19%	0,18%	0,18%	0,2%
3 Белый	0,16%	0,19%	0,19%	0,18%

избыточной длины ОВ типа FA12 с пределом погрешности $t=0,01\%$. При этом при измерении ИД в оптическом модуле за основу бралась длина трубки ОМ (превышение длины волокна над длиной ОМ). При измерении ИД на последующих технологических операциях она определялась как разница между длиной ОВ и длиной стеклопластикового центрального силового элемента (ЦСЭ), где уже учитывается коэффициент укрутки ОМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИД ОВ В ОПТИЧЕСКОМ МОДУЛЕ

Испытания избыточности длины волокна в ОМ, изготовленных из полибутилтерефталата (ПБТ),

Таблица 2. Результаты измерения избыточной длины ОВ в скрученном сердечнике

ОМ \ ОВ	Белое	Оранжевое	Коричневое	Зеленое
1 Розовый	95,815 мм 2,396%	95,428 мм 2,385%	95,512 мм 2,387%	95,485 мм 2,387%
2 Синий	94,645 мм 2,366%	95,955 мм 2,376%	94,762 мм 2,369%	94,797 мм 2,319%
3 Белый	93,627 мм 2,34%	93,623 мм 2,34%	93,867 мм 2,346%	93,735 мм 2,343%
4 Белый	95,520 мм 2,388%	96,200 мм 2,405%	95,745 мм 2,393%	95,858 мм 2,396%
5 Белый	95,505 мм 2,387%	95,15 мм 2,378%	92,545 мм 2,313%	94,596 мм 2,364%
6 Белый	97,158 мм 2,428%	96,674 мм 2,416%	96,545 мм 2,413%	97,08 мм 2,425%

проводились, как отмечено выше, при помощи специального устройства сразу после изготовления модуля на экструдере. Устройство FA12 19 апреля 2015 года прошло аттестацию, результаты которой показали, что предел погрешности измерения избыточности длины составляет $\pm 0,009\%$ при допустимом значении $\pm 0,01\%$.

В каждом ОМ исследуемого ОК было размещено по четыре ОВ, окрашенных в белый, оранжевый, коричневый и зеленый цвета. В табл.1 приведены усредненные значения измерений ИД в процентах трех ОМ: розовой, синей и одного из четырех модулей белой окраски.

Анализ результатов измерений, представленных в табл.1, показывает, что ИД после изготовления ОМ составляет 0,16–0,2% и соответствует установленному допуску 0,15–0,25%. При среднем значении ИД, равном 0,19%, разброс не превышает 0,03%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИД ОВ ПОСЛЕ СКРУТКИ ОМ В СЕРДЕЧНИК

В исследуемом ОК сердечник скручивался из шести ОМ розового, синего и белого (четыре модуля) цветов. Результаты измерений ИД в сердечнике представлены в табл.2 (в мм и в %). Здесь следует акцентировать, что в кабеле наиболее распространенной модульной конструкции (классическая конструкция) избыточная длина ОВ в оптическом модуле (по отношению к длине центрального силового элемента) складывается из двух частей: укрутки ОМ вокруг ЦСЭ и рассмотренной выше ИД.

В процессе изготовления оптического модуля на ИД оптического волокна оказывает влияние большое количество технологических параметров.

Кроме того, конечное значение ИД оптического волокна зависит от времени и способа хранения ОМ до его скрутки в сердечник. Укрутка оптического модуля в повиве зависит от следующих параметров: натяжения ОМ до его скручивания; диаметра ЦСЭ; наружного диаметра ОМ; шага скрутки; наличия и марки межмодульного гидрофобного заполнителя.

Для исследуемого самонесущего ОК коэффициент укрутки ОМ в сердечник вокруг ЦСЭ из стеклопластика составляет 1,022–1,027 при избыточности ОВ в ОМ порядка 0,19%. Получается, что величина укрутки ОМ на порядок больше ИД в ОМ, и это нужно учитывать при оценке избыточности ОВ в кабеле.

Анализ результатов измерений, представленных в табл.2, показывает, что избыточность длины ОВ в скрученном сердечнике составляет с учетом коэффициента укрутки 2,313–2,428%. Избыточность длины ОВ в пучке из четырех волокон каждого ОМ отличается не более чем на 0,01–0,07%, что соизмеримо с погрешностью измерения установки FA12.

При этом различие ИД оптического волокна от модуля к модулю не превышает 0,12%. Следовательно, можно сделать вывод, что операция скрутки не оказывает существенного влияния на величину избыточности ОВ в ОМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИД ОВ ПОСЛЕ НАЛОЖЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПЛАСТМАССОВОЙ ОБОЛОЧКИ

При изготовлении исследуемого ОК на скрученный сердечник накладывались поясная

Таблица 3. Результаты измерения избыточной длины ОВ после наложения внутренней оболочки

ОМ \ ОВ	Белое	Оранжевое	Коричневое	Зеленое
1 Розовый	94,56 мм 2,364%	94,04 мм 2,351%	94,44 мм 2,361%	94,28 мм 2,357%
2 Синий	96,913 мм 2,422%	97,191 мм 2,429%	97,232 мм 2,431%	97,773 мм 2,444%
3 Белый	92,012 мм 2,3%	90,640 мм 2,266%	91,91 мм 2,297%	91,06 мм 2,276%
4 Белый	90,270 мм 2,256%	90,640 мм 2,266%	90,440 мм 2,261%	90,301 мм 2,257%
5 Белый	92,179 мм 2,304%	92,040 мм 2,301%	92,300 мм 2,307%	91,770 мм 2,293%
6 Белый	94,324 мм 2,358%	94,346 мм 2,358%	93,746 мм 2,343%	94,143 мм 2,353%

изоляция из ленты ПЭТ-Э толщиной 0,025 мм и внутренняя пластмассовая оболочка с номинальной толщиной 0,8 мм. В табл.3 приведены результаты измерения избыточной длины ОВ после наложения внутренней оболочки.

Анализ результатов измерения, представленных в табл.3, показывает, что избыточность длины ОВ после наложения внутренней оболочки составляет 2,26–2,36%. Избыточность длины в пучке из четырех ОВ каждого из шести ОМ отличается не более чем на 0,01–0,04%. Различие ИД волокна разных ОМ не превышает 0,15%. Получается, что после наложения на скрученный сердечник внутренней пластмассовой оболочки так же, как и после скрутки ОМ в сердечник, избыточность длины в ОМ существенно не изменяется. При этом различие ИД после скрутки ОМ и после наложения внутренней оболочки отличается не более чем на 0,09–0,11%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИД ОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОК

Поверх внутренней пластмассовой оболочки исследуемого самонесущего ОК накладываются два слоя силовых элементов из арамидных нитей и наружная полиэтиленовая оболочка номинальной толщиной 1,6 мм. В табл.4 приведены результаты измерения избыточности длины ОВ после изготовления ОК и проведения его приемосдаточных испытаний.

Результаты измерения показали следующее: избыточность длины ОВ в готовом кабеле составляет 2,4–2,54%, различие избыточности длины ОВ

в пучке из четырех волокон каждого из шести ОМ составляет 0,01–0,04%, практически так же, как и после операции наложения внутренней пластмассовой оболочки. Таким образом, здесь следует повторить отмеченный выше вывод: операция наложения слоя силовых элементов и наружной пластмассовой оболочки не вызывает заметного изменения ИД оптических волокон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов измерения избыточной длины ОВ после выполнения отдельных операций изготовления самонесущего ОК позволяет заключить следующее: в готовом ОК (после проведения приемосдаточных испытаний) избыточность длины ОВ составляет 2,4–2,54% при превышении длины ОМ относительно ЦСЭ (длины готового ОК) за счет их скрутки вокруг ЦСЭ на 2,2–2,7%. Разница приведенных результатов показывает, что избыточная длина ОВ в ОМ при выполнении отдельных операций изготовления ОК изменяется незначительно и в готовом кабеле составляет 0,16–0,2% при среднем значении ИД оптического волокна в ОМ 0,19% (после его изготовления). Допустимое значение ИД в исследуемом кабеле равно 0,15–0,25%.

Результаты проведенных нами экспериментальных исследований позволяют сделать заключение, что при строгом соблюдении технологии изготовления ОК величина ИД волокна, полученная на этапе изготовления ОМ, на последующих операциях практически не изменяется.

Оптические волокна внутри модуля в основном располагаются по винтовой линии, однако

Таблица 4. Результаты измерения избыточной длины ОВ после приемо-сдаточных испытаний ОК

ОМ \ ОВ	Белое	Оранжевое	Коричневое	Зеленое
1 Розовый	96,498 мм 2,412%	97,075 мм 2,427%	97,636 мм 2,440%	98,082 мм 2,452%
2 Синий	97,523 мм 2,438%	97,518 мм 2,437%	97,574 мм 2,439%	95,892 мм 2,397%
3 Белый	97,614 мм 2,440%	98,226 мм 2,455%	99,160 мм 2,479%	99,132 мм 2,478%
4 Белый	101,002 мм 2,525%	101,032 мм 2,525%	101,074 мм 2,526%	101,324 мм 2,533%
5 Белый	100,264 мм 2,506%	100,444 мм 2,511%	100,797 мм 2,520%	100,077 мм 2,502%
6 Белый	101,832 мм 2,546%	101,173 мм 2,529%	101,306 мм 2,532%	101,177 мм 2,529%

по длине оптического модуля реальное расположение может отличаться от винтовой линии. По этой причине ИД в модуле может заметно изменяться (выходить за пределы допуска). В результате могут появиться микроизгибы ОВ и, как следствие, прирост затухания.

Все проведенные выше измерения проводились при нормальных температурных условиях в диапазоне 20–25 °С. В реальных условиях технической эксплуатации самонесущие ОК работают в очень широком температурном диапазоне, практически от 60 до –60 °С. При весьма значительном различии коэффициента линейного расширения ОВ и ОМ (больше, чем на порядок) избыточная длина ОВ в оптическом модуле за счет такого температурного перепада может существенно изменяться и вызывать изгибы ОВ с недопустимо малым радиусом, что неизбежно провоцирует рост затухания и, безусловно, может сказаться на сроке службы ОК [7–9].

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Барышников Е.Н.** Исследование процесса регулирования технологических параметров при изготовлении оптических модулей с целью оптимизации эксплуатационных характеристик оптических кабелей / Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.02. – М., 2003. 201 с.
2. **Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И.** Об избыточной длине оптического волокна в оптическом кабеле // Деп. в Информэлектро. 2001. № 6-эт-2001.
3. **Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И.** Изменение избыточной длины в процессе изготовления ВОК // Кабели и провода. 2002. № 3. С. 32–34.
4. **Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И.** Оптический модуль – основа волоконно-оптического кабеля // Кабели и провода. 2002. № 1(272). С. 22–25.
5. **Марьенков А.А., Гринштейн М.Л., Каменская Е.А., Деков В.Н.** Измерения удлинения оптического волокна при испытании оптического кабеля на стойкость к растягивающей нагрузке // Lightwave RE. 2003. № 2. С. 38–41.
6. **Blew D.J.** Apparatus for controlling excess fiber length in a loose tube optical fiber buffer tube / Patent US4921413. 1990.
7. **Бурдин В.А., Важдаев М.А.** Метод оценивания распределений избыточной длины волокна в оптическом кабеле по результатам рефлектометрических измерений коэффициентов затухания при низких отрицательных температурах // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 3. С. 22–28.
8. **Buridin V.A., Vazhdaev M.A.** Method of excess fiber length estimating based on low subzero temperature climatic test // Proc. SPIE 9156. 2014. P. 91560P.
9. **Бурдин В.А., Важдаев 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. 2015. Т. 18. № 3. Ч. 2. С. 87–91.