

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАБЕЛЕЙ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОПТИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ

Разнообразие современных конструкций оптических кабелей (ОК) связи среди отечественных заводов изготовителей принципиально обусловлено двумя типами [1], отличающимися расположением оптических волокон (ОВ) либо в одном центральном оптическом модуле (ЦОМ), либо в нескольких, скрученных между собой оптических модулях (ОМ). Технология изготовления ОК с ЦОМ более производительна, чем изготовление кабелей многомодульной конструкции. При этом необходимо обеспечить высокие эксплуатационные свойства ОК с ЦОМ. Особенно это касается стойкости к механическим воздействиям.

Среди совокупности различных механических параметров ОК в данном случае подробнее рассмотрены испытания ОК на стойкость к растягивающему усилию и раздавливающей нагрузке. Эти испытания проводят в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 794-1-93 «Кабели оптические. Общие технические требования». Учитывая, что ОК способны выдерживать большие механические нагрузки, испытания проводят с помощью специальных установок, способных создавать максимальную растягивающую или раздавливающую нагрузку в 100 кН. Длина испытываемого участка ОК при растяжении составляет от 70 до 230 м, раздавливание ОК осуществляют на площадке размером 100 × 100 мм.

При проведении механических испытаний ОК в ООО «Еврокабель 1» используют прибор, позволяющий определять удлинения одномодовых ОВ, марки ИД-2-3/В. Измерения реализованы на основе метода фазового сдвига в соответствии с рекомендацией МЭК 60793-1-2, метод А7. Прибор обеспечивает измерение удлинения ОВ как в абсолютных (мм), так и в относительных (%) единицах. Дискретность отображения удлинения при измерениях составляет 0,001 мм или 0,0001 %. Погрешность измерения удлинения ОВ заключена в пределах $\pm(0,5+0,002 \cdot dL)$ мм, где dL – приращение длины волокна в процессе растяжения ОК.

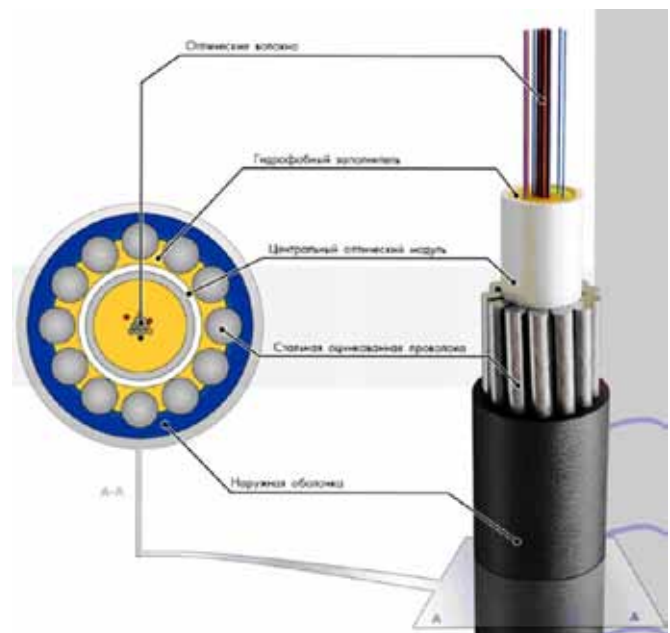


Рис. 1. Общий вид оптического кабеля с ЦОМ, предназначенного для прокладки в грунт

На рис. 1 представлена в общем виде конструкция ОК, предназначенного для эксплуатации в земле.

ЦОМ ОК, как правило, выполняют двухслойным: внутренний слой – из полиамида (ПА), а наружный – из полибутилентерефталата (ПБТ).

Поскольку требования разных заказчиков к ОК связи отличаются, то необходимо выбрать определенный тип ОВ [2]. Для выбора ОВ можно воспользоваться, например, табл. 1, 2 [3].

Таблица 1

Скорость передачи, Гбит/с	Тип волокна для различного расстояния передачи, км				
	1	10	100	1000	5000
10–40	ITU-T G.655S				
2,5–10	ITU-T G.652D				
≤2.5	ITU-T G.657A				

Характеристики используемого ОВ

Тип используемого ОВ	ITU-T G.652D	R ITU-T G.655S	ITU-T G.657A
Потери из-за макроизгибов, на 1310 нм, дБ	1 виток на 32 мм в диаметре ≤0,5	1 виток на 32 мм в диаметре ≤0,5	10 витков на 30 мм в диаметре ≤0,3
Потери из-за макроизгибов, на 1550 нм, дБ	1 виток на 32 мм в диаметре ≤0,5	1 виток на 32 мм в диаметре ≤0,5	10 витков на 30 мм в диаметре ≤0,25
Наклон дисперсионной характеристики на 1550 нм, пс/нм ² *км	≤0,93	≤0,045	≤1
Поляризационно модовая дисперсия на 1550 нм, пс/км ²	≤0,2	≤0,1	≤0,2
Затухание на 1310 нм, дБ/км	≤0,4	≤0,35	≤0,4
Затухание на 1550 нм, дБ/км	≤0,3	≤0,22	≤0,3

После выбора типа ОВ, для обеспечения стойкости ОК к раздавливанию рассчитывают допустимую раздавливающую нагрузку в зависимости от диаметра ОК по следующему эмпирическому выражению:

$$F = \frac{\Delta \cdot l \cdot E \cdot R}{K \cdot \left(\frac{R}{n}\right)^{3/2}}, \quad (1)$$

где F – максимальное усилие сжатия, Н; K – коэффициент, усредняющий результат (для ОВ типа ITU-T G.657A K принят равным 1,1; для ОВ типа ITU-T G.652D K принят равным 1,2; для ОВ типа ITU-T G.655 K принят равным 1,25); R – радиус кабеля, м; n – радиальная толщина ОК, м; Δ – величина уменьшения диаметра ОК в плоскости сжатия, %; E – модуль упругости материала трубки, Па (принят в расчете для используемого ПБТ равным 25 МПа); l – длина индентора, на который воздействует сила F , м. Параметры R и n измеряют до нагружения ОК.

При этом следует отметить, что максимальная допустимая нагрузка сжатия будет наблюдаться при полном сжатии ЦОМ, а следовательно перед началом активного прироста затухания в ОВ.

При воздействии растягивающей нагрузки допустимая сила может быть определена следующим образом:

$$P_{\max} = \sum_i^e E_i \left(\pi a \cdot \frac{R_{np}}{\cos \alpha} \right)_i \cdot \varepsilon_k, \quad (2)$$

где F_{\max} – допустимое растягивающее усилие, Н; n – количество армирующих элементов; E_i – модули продольной упругости несущих элементов, Па; a – больший радиус эллипса на срезе несущего элемента, мм; R_{np} – радиус проволоки, мм; α – угол скрутки несущих элементов, град.; ε_k – максимально допустимое удлинение, %. Параметр ε_k определяется избытком ОВ в кабеле и свойствами армирующих элементов. Элементы конструкции из полимеров в расчете растягивающего усилия не учитываются в связи с незначительной механической прочностью относительно армирующих элементов.

Расчетные зависимости (1, 2) получены на основе анализа механической нагрузки, воздействующей на ОК при раздавливании и растяжении. Для исследований было изготовлено 25 вариантов конструкций ОК с различным соотношением геометрических размеров: диаметр ЦОМ от

3,0 до 5,9 мм, внутренний диаметр ЦОМ от 1,6 до 3,7 мм, диаметр армирующих элементов из стальной проволоки от 1,21 до 2,0 мм в количестве от 10 до 15 штук, диаметр армирующих элементов из стеклопрутков 1,81 мм в количестве 9 штук, толщина наружной оболочки из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) от 1,7 до 1,9 мм, наружный диаметр ОК от 8,8 до 13,7 мм, количество волокон в ОК от 4 до 24 штук (более подробные данные указаны в табл. 3).

Экспериментальные зависимости стойкости ОК к раздавливанию представлены на рис. 2. При испытаниях на стойкость к растягивающей нагрузке критерием отказа ОК являлся обрыв ОВ в ОК, либо разрушение самого ОК, либо прирост коэффициента затухания в ОВ более чем на 0,05 дБ/км.

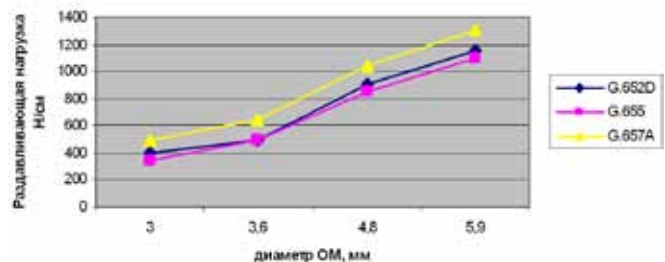


Рис. 2. Зависимости стойкости кабеля к раздавливанию

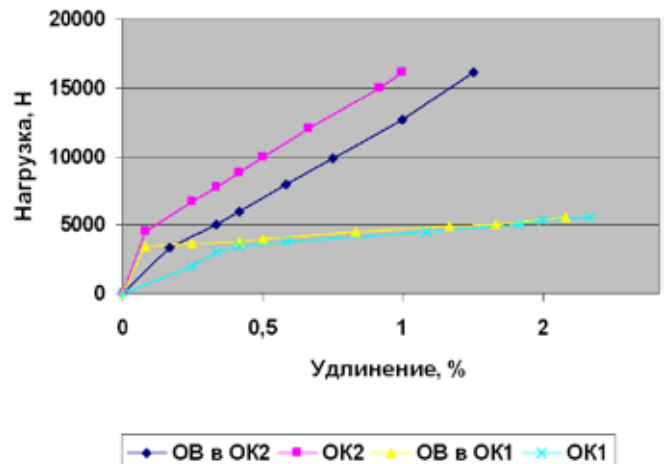


Рис. 3. Удлинение ОК при различной растягивающей нагрузке

Геометрические характеристики конструкций ОК, выпускаемых ООО «Еврокабель-1»

№ конструкции	Марка кабеля	Диаметр ОК, мм	Толщина стенки ОК, мм	Внутренний диаметр ОК, мм	Толщина слоя ПБТ, мм	Толщина слоя ПА, мм	Диаметр проволоки, мм	Кол-во проволоки, шт	Диаметр по скрутке, мм	Толщина оболочки из полиэтилена высокой плотности, мм	Наружный диаметр кабеля, мм
1	ОГЦ-4А-7	3,0	0,7	1,6	0,58	0,12	1,21	10	5,42	1,7	8,8
2	ОГЦ-6А-7	3,0	0,7	1,6	0,58	0,12	1,21	10	5,42	1,7	8,8
3	ОГЦ-8А-7	3,0	0,7	1,6	0,58	0,12	1,21	10	5,42	1,7	8,8
4	ОГЦ-4А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
5	ОГЦ-6А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
6	ОГЦ-8А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
7	ОГЦ-10А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
8	ОГЦ-12А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
8а	ОГЦ-14А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,21	12	6,02	1,7	9,4
8б	ОГЦД-12А-7	3,6	0,8	2	0,68	0,12	1,81	9	7,22	1,7	10,6
9	ОГЦ-14А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
10	ОГЦ-16А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
11	ОГЦ-18А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
12	ОГЦ-20А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
13	ОГЦ-22А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
14	ОГЦ-24А-7	4,8	1	2,8	0,88	0,12	1,21	15	7,22	1,7	10,6
15	ОГЦ-4А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
16	ОГЦ-6А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
17	ОГЦ-8А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
18	ОГЦ-10А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
19	ОГЦ-12А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
20	ОГЦ-14А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
21	ОГЦ-16А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
22	ОГЦ-18А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9v	1,9	13,7
23	ОГЦ-20А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
24	ОГЦ-22А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7
25	ОГЦ-24А-22	5,9	1,1	3,7	0,85	0,25	2	12	9,9	1,9	13,7

На рис. 3 изображены экспериментальные и теоретическая зависимости, показывающие величину удлинения при различной растягивающей нагрузке, для кабелей типа ОК1 и ОК2, где ОК1 соответствует конструкциям 4–8а табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 469,3 МПа), а ОК2 соответствует конструкциям 4–14 табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 МПа).

На рис. 4 изображена диаграмма испытаний на растяжение ОК1, ОК2, ОК3 где ОК1 соответствует конструкциям 4–8а табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 469,3 Н/мм²), ОК2 соответствует конструкциям 4–8 табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 Н/мм²), ОК3 соответствует конструкциям 9–14 табл. 3 (проволоки диаметром

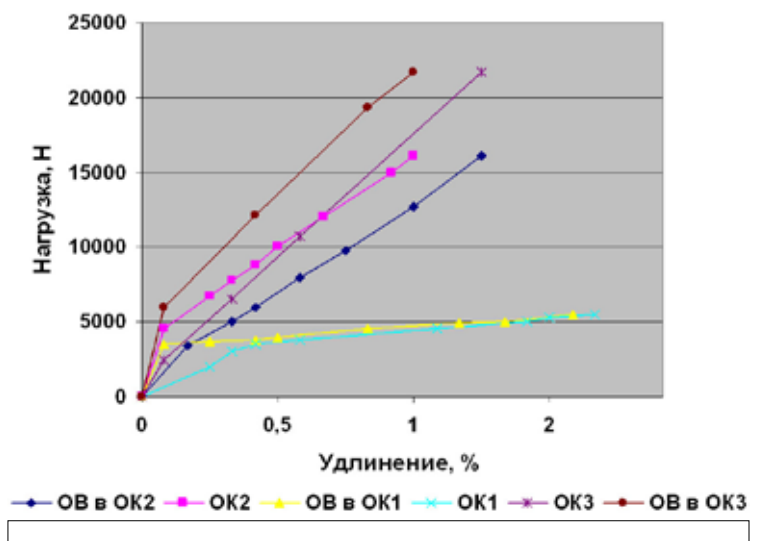


Рис. 4. Диаграмма растяжения ОК и ОВ

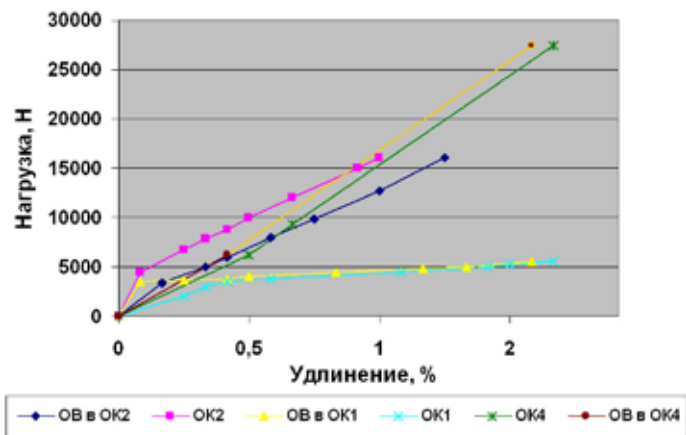


Рис. 5. Диаграмма растяжения ОК и ОБ, % от растягивающей нагрузки

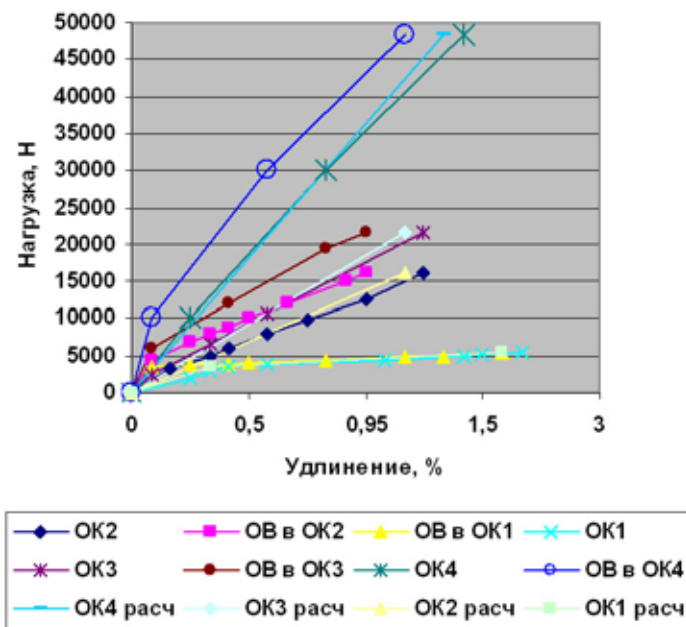


Рис. 6. Диаграмма растяжения ОК и ОБ, % от растягивающей нагрузки

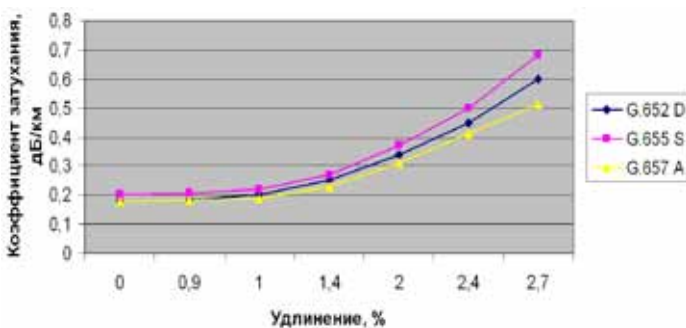


Рис. 7. Зависимость затухания ОБ от относительного удлинения

1,2 мм в количестве 15 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок составляет 1283,2 Н/мм²).

На рис. 5 изображена диаграмма испытаний на растяжение ОК1 и ОК2, где ОК1 соответствует конструкциям 4–8а табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 469,3 Н/мм²), ОК2 соответствует конструкции 4–8а табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 Н/мм²), ОК4 соответствует конструкции 8б табл. 3 (стеклопластик FRP IPT 81EA1 1,8 mm диаметром 1,81 мм в количестве 9 шт., временное сопротивление разрыву каждого из прутков 1201,4 Н/мм²).

На рис. 6 изображена диаграмма испытаний на растяжение ОК1 и ОК2, где ОК1 соответствует конструкциям 4–8а табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 469,3 Н/мм²), ОК2 соответствует конструкциям 4–8а табл. 3 (проволока диаметром 1,2 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 Н/мм²), ОК3 соответствует конструкциям 9–14 табл. 3 (проволоки диаметром 1,2 мм в количестве 15 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 Н/мм²), ОК5 соответствует конструкциям 15–25 табл.3 (проволока диаметром 2,0 мм в количестве 12 шт., временное сопротивление разрыву каждой из проволок 1283,2 Н/мм²).

Из графиков, приведенных на рис. 3–6, видно, что удлинение ОБ соответствует удлинению ОК за вычетом «избыточной длины» (0,25 %) ОБ, то есть на ОБ практически не воздействует натяжение ОК до того момента, пока удлинение ОК не превысит значения «избыточной длины» ОБ в ОК. При приложении нагрузки, растягивающей кабель с удлинением более «избыточной длины», начинает растягиваться и ОБ. Экспериментально получено, что заметный прирост затухания начинался лишь при удлинении ОБ в ОК на 0,9 % для всех типов конструкций рис. 7, в которых использованы ОБ следующих типов: ITU-T G.655S, ITU-T G.652D, ITU-T G.657A.

В результате экспериментальных исследований для рассмотренных конструкций предложено эмпирическое выражение (1) и подобраны коэффициенты K для разных типов ОБ для оценки стойкости ОК к раздавливающей нагрузке. Также подтверждено, что предложенное выражение (2) для расчета растягивающей нагрузки совпадает с экспериментальными результатами при различных значениях диаметра ОБ и различных конструкциях защитных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.Е., Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г., Кайзер Л.И. Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, проектирование, применение // М.: Эко-Трендз, 2006. 280 с.: ил.
2. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи // М.: ЛЕСАРТ, 2003. 288 с., ил.
3. Микелев А.И. OFS. Снижение потерь при сращивании ОБ. «Фотон-Экспресс» 2005. № 8.