

**М.А. Боев**, д-р техн. наук, профессор  
**Е Наинг Лин**, аспирант  
 ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», кафедра ФТЭМК

# МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ДРОП-КАБЕЛЕЙ

**Аннотация.** Рассмотрена архитектура FTTH (оптика до дома) сети связи абонентского доступа по технологии пассивной оптической сети (passive optical network, сокращенно PON). Рассмотрена конструкция дроп-кабеля марки OCQLS-HF с центральным оптическим модулем, который выполнен в виде трубки из полибутилентерефталата, содержащей гидрофобный наполнитель. Кабель предназначен для прокладки как на открытом воздухе вдоль линий электропередачи, на опорах контактной сети и автоблокировки электрифицированных железных дорог, так и внутри зданий. Выполнен механический расчёт конструкции дроп-кабеля марки OCQLS-HF-1A1(0.9)-1,2 и проведены механические испытания кабеля на установке для растяжения и раздавливания типа PPK-EK2. В процессе исследования получена зависимость затухания сигнала в оптическом волокне от величины растягивающего и раздавливающего усилия с помощью оптического тестера типа ОТ-2-6.

**Ключевые слова:** оптический кабель (ОК); центральный оптический модуль; оптическое волокно (ОВ); дроп-кабель; ОДД (оптика до дома); пассивная оптическая сеть (PON); оптические сплиттеры; растягивающее усилие; раздавливающее усилие; механический расчёт.

**Abstract.** The article deals with the FTTH (Fiber To The Home) architecture of a subscriber access network based on the PON (passive optical network) technology. The OCQLS-HF drop cable construction with the central polybutylene terephthalate tube filled with hydrophobic gel is presented.

The cable is designed for both outdoor installations along power transmission lines, on contact line masts and electrified railway automatic block systems, and indoor installation. A mechanical calculation of the OCQLS-HF-1A1(0.9)-1,2 drop cable construction was performed and mechanical tests of the cable using the PPK-EK2 type tensile and crushing setup were carried out. In the course of the testing the dependences of the signal attenuation increment in the optical fiber on the tensile and crushing stress values were obtained.

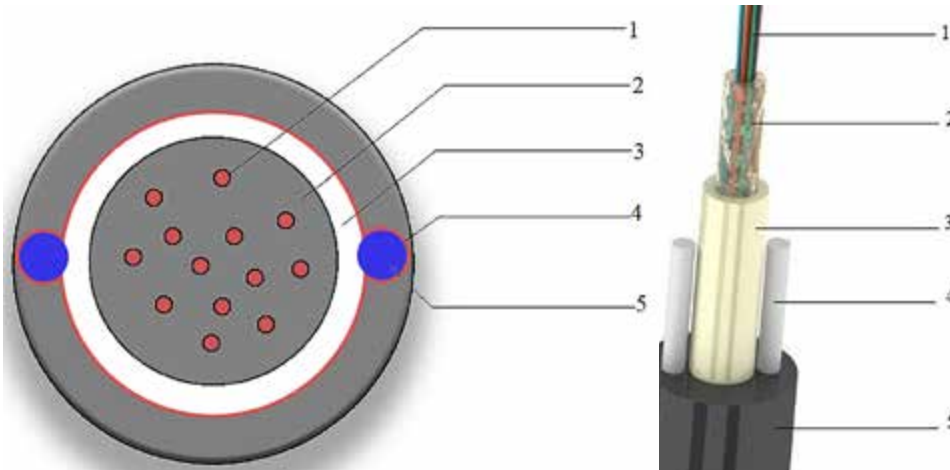
**Key words:** optical cable; central loose tube; optical fiber; drop cable; FTTH (Fiber To The Home); PON (passive optical network); optical splitters; tensile stress; crushing stress; mechanical calculation.

Материал поступил в редакцию 7.11.2019  
 Боев М.А. E-mail: maboev@mail.ru  
 Е Наинг Лин. E-mail: yenainglin90@gmail.com

Последние несколько лет отечественные операторы связи всё чаще отдают предпочтение строительству сетей абонентского доступа с архитектурой FTTH (оптика до дома) по технологии пассивной оптической сети (passive optical network, сокращенно PON). Это обусловлено как растущими требованиями населения к качеству связи и объёму предоставляемых услуг, так и экономической целесообразностью и перспективностью нового строительства с использованием оптического кабеля (ОК). Скорость передачи информации по ОК в настоящее время с запасом покрывает потребности абонентов в услугах связи. Сети абонентского доступа, построенные по технологии PON, позволяют операторам предоставлять населению полный спектр услуг (triple-play): телефония+интернет+ТВ [1]. Технология PON предусматривает отсутствие активных компонентов на участке от станции до абонента, и разделение сигнала производят с помощью пассивных устройств – оптических сплиттеров. Один из популярных сплиттеров – каскадный

сплиттер – это набор сплиттеров, коэффициент деления оптического сигнала в каждом из которых неравномерен, например, каскадный сплиттер 1:32 – это набор из 31-го сплиттера 1:2, которые должны быть установлены последовательно, в соответствующем порядке. Подбирая сплиттеры с необходимым коэффициентом деления оптического сигнала, можно строить PON сети произвольной топологии. При этом «затухание» на каждой ветке будет одинаковым. Использование каскадных сплиттеров позволяет строить всю распределительную сеть с использованием дроп-кабеля с одним оптическим волокном (ОВ) [2].

Существующие сети из кабелей с медными жилами практически не пригодны для внедрения широкополосного проводного доступа, так как такие сети не могут удовлетворить потребности населения по качеству и объёму предоставляемых услуг. Строительство новых сетей из кабелей с медными жилами на данный момент уже нецелесообразно. Наиболее перспективно и приемлемо



**Рис. 1.** Конструкция дроп-кабеля марки ОСЦЛС-НФ:  
 1 – оптическое волокно;  
 2 – гидрофобный наполнитель;  
 3 – центральный оптический модуль;  
 4 – силовой элемент – стеклопластиковый пруток;  
 5 – наружная оболочка

строить сети абонентского доступа с использованием ОК по технологии PON [3], при этом использовать дроп-кабели с 1, 2 или 4 одномодовыми ОВ. Дроп-кабель можно подвешивать на опорах линий электропередачи (ЛЭП), что особенно важно, так как в некоторых районах может отсутствовать кабельная канализация, строительство которой выливается в крупные материальные затраты. Конструкция дроп-кабеля подразумевает наличие элемента крепления на опоре – диэлектрического или металлического троса. Наиболее применима структура «тройной восьмёрки», при которой ОВ (как правило, по рекомендации ITU-T соответствующие требованиям G.652D или G.657A) находятся в свободном модуле между двумя силовыми элементами, образующими жёсткий прямоугольный профиль. Такая конструкция дроп-кабеля позволяет наиболее полно защитить ОВ от внешних механических воздействий [4].

С целью быстрого внедрения технологии доступа в интернет с архитектурой FTTH разработан специальный дроп-кабель марки ОСЦЛС-НФ.

Дроп-кабель марки ОСЦЛС-НФ (рис. 1) предназначен как для монтажа на открытом воздухе вдоль линий электропередачи, на опорах контактной сети и автоблокировки электрифицированных железных дорог, так и для прокладки внутри зданий. Кабель может содержать от 1 до 12 одномодовых ОВ по рекомендации ITU-T G.652D. Этот дроп-кабель самонесущий с центральным оптическим модулем, который выполнен в виде трубки из полибутилентерефталата, заполненной гидрофобным наполнителем. Его конструкция содержит силовые элементы в виде двух стеклопластиковых прутков и наружную оболочку из материала, не распространяющего горение, с пониженным дымо- и газовыделением,

не выделяющего коррозионно-активных газообразных продуктов дымо- и газовыделения при горении и тлении.

Стеклопластиковые прутки изготавливают из стекловолокна, пропитанного полимером, например, полиэфирной смолой. В табл. 1 приведены некоторые параметры стеклопластикового прутка диаметром 0,75 мм различных производителей [5].

В качестве гидрофобных наполнителей преимущественно применяют гидрофобные компаунды. Наполнители на основе порошкообразных материалов, нити и ленты применяют значительно реже.

Гидрофобные компаунды, используемые в качестве наполнителей оптических модулей, помимо задачи защитить ОВ от воздействия влаги выполняют также функцию амортизатора для ОВ при механических воздействиях на ОК, а также функцию смазки, уменьшающей трение между ОВ и стенкой оптического модуля.

Гидрофобные наполнители отличаются диапазоном рабочих температур и назначением: внутримодульные наполнители, применяемые для заполнения модулей с ОВ, и межмодульные наполнители, применяемые для заполнения свободного пространства в сердечниках ОК и в бронепокровах, выполняемых из стальных проволок или стеклопластиковых прутков.

К внутримодульным наполнителям предъявляют значительно более высокие требования по сохранению вязкости в широком температурном диапазоне, и эти наполнители имеют меньшую вязкость по сравнению с межмодульными наполнителями [6].

Основные технические характеристики ОК марки ОСЦЛС-НФ-1А1(0.9)-1,2 приведены в табл. 2.

Механический расчёт дроп-кабеля начинается с определения размера конструктивных элементов,

Таблица 1

### Параметры стеклопластиковых прутков различных производителей

Параметр	Производитель			
	Neptco, США	Polystal, Германия	Cousin, Франция	Русстеклопласт, Россия
Удельная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,0	2,1	1,9	1,85 ÷ 2,15
Предел прочности при растяжении до разрыва, МПа	> 1500	> 1500	> 1600	> 1400
Допустимое напряжение при изгибе, МПа	>4800	>1100	>1000	950 ÷ 1250
Модуль упругости, ГПа	>52	>50	>50	59
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/К	$5,9 \times 10^{-6}$	$6,6 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-6}$

Основные технические характеристики дроп-кабеля марки ОСЦЛС-НФ-1А1(0.9)-1,2

Параметр	Марка кабеля ОСЦЛС-НФ-1А1(0.9)-1,2
Диапазон температуры эксплуатации, °С	от минус 60 до 70
Допустимое растягивающее усилие, кН	1,2
Допустимое раздавливающее усилие, кН/см	0,4
Допустимое количество циклов кручения	10
Допустимое количество циклов изгиба	20
Количество ОВ	1
Вес, кг/км	25
Диаметр, мм	5,2

обеспечивающих заданные требования по допустимому растягивающему усилию. Если в ОК в качестве силового элемента использованы стеклопластиковые прутки, то допустимое растягивающее усилие будет равно [7, 8]:

$$P_{OK}^{cn} = E_{ок} \cdot S_{ок} \cdot \varepsilon_{доп}, \quad (1)$$

где  $E_{ок}$  – модуль упругости кабеля, ГПа;

$S_{ок}$  – площадь поперечного сечения кабеля, мм<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{доп}$  – допустимое удлинение кабеля равно 0,5 %.

В качестве примера рассмотрим расчёт стойкости к растягивающему усилию ОК диаметром 5,2 мм с силовым элементом из стеклопластиковых прутков. Поперечное сечение кабеля равно:

$$S_{ок} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (5,2)^2}{4} = 21,2 \text{ мм}^2, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр кабеля, мм.

Величину модуля упругости кабеля можно рассчитать, исходя из модуля упругости каждого отдельного силового элемента:

$$E_{ок} = \frac{\sum_i^n E_i \Pi_i}{\sum_i^n \Pi_i}, \quad (3)$$

где  $i$  – число силовых элементов;

$E_i$  – модуль упругости  $i$ -го силового элемента (в нашем случае, равный 1400 Мпа);

$\Pi_i$  – площадь  $i$ -го силового элемента.

Задавшись диаметром стеклопластикового прутка 0,75 мм для ОК с двумя прутками, которые использованы как силовые элементы в конструкции ОК, получим сечение одного из этих силовых элементов:

$$\Pi_i = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,75)^2}{4} = 0,44 \text{ мм}^2, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр стеклопластикового прутка, мм.

Модуль упругости кабеля рассчитаем из условия применения двух стеклопластиковых прутков. Используя данные фирмы-изготовителя стеклопластиковых прутков, определяем:

59 МПа – модуль упругости силового элемента;

0,44 мм<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения силового элемента.

Тогда:

$$E_{ок} = \frac{59 \times 0,44 \times 2}{0,44 \times 2} = 59 \text{ ГПа}$$

Расчётное значение максимально допустимого растягивающего усилия ОК составит:

$$P_{OK}^{cn} = 59 \times 10^3 \times 21,2 \times 5 \times 10^{-3} = 6,25 \text{ кН}$$

Таким образом, кабель с двумя стеклопластиковыми прутками диаметром 0,75 мм может выдержать в течение длительного времени растягивающее усилие, равное 1,2 кН.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований затухания мощности сигнала в ОВ от величины механического воздействия на исследуемый образец кабеля: растягивающего и раздавливающего усилия. Испытание кабеля на стойкость к растягивающему усилию проводили на строительной длине 1535 м, при этом длина растягиваемого участка кабеля составляла 70 м. Кабель подвергали растяжению со скоростью около 100 мм/мин. Растяжение осуществляли путём приложения нагрузки ступенями, каждый раз увеличивая нагрузку на 120 Н, на специальной установке для испытаний на растяжение и раздавливание типа РПК-ЕК2. На первой ступени при достижении нагрузки 120 Н дальнейшее растяжение прекращали и после воздействия нагрузки в течение 3 минут измеряли затухание на участке, подвергнутом растяжению. Затем вновь продолжали растяжение, повышая нагрузку до 240 Н, и аналогичным образом измеряли затухания и т.д. При достижении, нагрузки 1200 Н растяжение прекращали.

Испытания на стойкость к раздавливающему усилию проводили на той же установке типа РПК-ЕК2, способной создать максимальное раздавливающее усилие 100 кН. Образец кабеля пропускали через систему роликов и закрепляли. Крепление образца обеспечивало осесимметричное приложение раздавливающей нагрузки. Длина испытуемого участка кабеля при испытании на раздавливание составляла 10 см.

Измерение затухания на строительной длине производили с помощью оптического тестера типа ОТ-2-6, при этом источник оптического излучения работал на длине волны 1550 нм в непрерывном режиме.

Полученные результаты сведены в табл. 3 и 4.

Испытания подтвердили соответствие требованиям по стойкости к растягивающему и раздавливающему

Таблица 3

**Результаты испытания на растяжение  
кабеля марки ОСЦLS-HF-1A1(0.9)-1,2**

Растягивающее усилие ( $F_p$ ), Н	Затухание ( $\alpha$ ), дБ
0,00	0,269
120	0,266
240	0,267
360	0,266
480	0,267
600	0,266
720	0,266
840	0,267
960	0,269
1000	0,268
1200	0,266

Таблица 4

**Результаты испытания на раздавливание  
кабеля марки ОСЦLS-HF-1A1(0.9)-1,2**

Растягивающее усилие ( $F_p$ ), Н	Затухание ( $\alpha$ ), дБ
0,00	0,266
10	0,268
30	0,270
60	0,272
80	0,272
100	0,271
150	0,270
200	0,270
250	0,268
300	0,269
400	0,275

усилию на кабель марки ОСЦLS-HF, указанным в ТУ 3587-004-58743450-2016.

В ходе выполнения работы создан новый дизайн дроп-кабеля марки ОСЦLS-HF-1A1(0.9)-1,2, отвечающий современным требованиям для архитектуры FTTH. Такой кабель создан с целью использования не только внутри зданий, но и на открытом воздухе. В этой конструкции дроп-кабель марки ОСЦLS-HF содержит оптический модуль, выполненный в виде

трубки из полибутилентерефталата, в которой содержится гидрофобный наполнитель для защиты ОВ от воздействия влаги. Этот факт является особенностью данной конструкции дроп-кабеля, которые обычно изготавливают без применения гидрофобного наполнителя. Проведённый расчёт и испытания подтвердили стойкость дроп-кабеля марки ОСЦLS-HF-1A1(0.9)-1,2 к нормированным значениям растягивающего и раздавливающего усилия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слобожанин А.С. Строительство сетей FTTH по технологии PON в городских условиях и частном секторе. Система «LIGHT PON» компании «КСС-КОНТАКТ» // Фотон-экспресс. 2011. – № 7 (95). – С. 34–38.
2. Никитин Б.К., Пирмагомедов Р.Я. Надёжность пассивных оптических сетей. Оптические сплиттеры // Электросвязь. – 2012. – № 4. – С. 25–27.
3. Боев М.А., Зин Мин Латт. Современные конструкции внутриобъектовых оптических кабелей для широкополосного доступа // Кабели и провода. – 2016. – № 5 (360). – С. 31–36.
4. Гаскевич Е. Дроп-кабель в частном секторе: модель расчёта ветровых нагрузок с учётом воздействия от деревьев // Первая Миля. – 2017. – № 7 (68). – С. 16–24.
5. Боев М.А., Зин Мин Латт. Стойкость к растягивающему усилию оптических кабелей для широкополосного доступа // Вестник МЭИ. – 2017. – № 3. – С. 67–72.
6. Шолуденко М.В. Влагонепроницаемые кабели для сигнализации и блокировки // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 5. – С. 7–10.
7. Боев М.А., Кузнецов А.Ю. Исследование механических свойств кабелей с центральным оптическим модулем // Кабели и провода. – 2008. – № 6 (313). – С. 24–27.
8. Гиберт Д.П. Выбор подвесного оптического кабеля исходя из условий эксплуатации // Кабель-news. – 2009. – № 2. – С. 49–53.

**ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ «КАБЕЛИ И ПРОВОДА»  
МОЖНО В РЕДАКЦИИ**

Стоимость подписки на I полугодие 2020 года (3 номера), в рублях:

- для членов Ассоциации «Электрокабель» – 1275 руб.,
- для учебных заведений и студентов – 480 руб.,
- для остальных подписчиков России и стран СНГ – 1380 руб.,
- для подписчиков зарубежных стран – 33 у.е.

НДС не облагается по ст. 145 НК РФ

По вопросам подписки обращайтесь  
к Алле Евгеньевне Тимофеевой  
Тел./факс: (495) 918–1627  
E-mail: kp@vniikp.ru, alla\_timofeeva\_60@mail.ru

**Реквизиты для оплаты  
в рублях:**

ИНН 7722159427  
КПП 772201001  
р/с: 40702810238120102932  
в Московском банке  
ПАО «Сбербанк», г. Москва  
к/с: 3010181040000000225  
БИК 044525225

Подписной индекс в каталогах агентств «Роспечать» и «Урал-Пресс» – **79943**