



Обеспечение требований к механическим параметрам оптических кабелей, предназначенных для прокладки в земле в тропическом климате

Аннотация. Представлены современные конструкции оптических кабелей марок ОГЦ и ОГД, которые используют для прокладки в земле. Кабели изготавливают в соответствии с требованиями ТУ 3587-001-58743450–2005.

Рассмотрены технические требования к допустимому растягивающему усилию, действующему на кабель, в сравнении с результатами экспериментальных исследований кабелей марок ОГЦ-16А-7, ОГД-4×4А-7, ОГЦ-32А-7, ОГД-4×8А-7, ОГЦ-48А-7, ОГД-6×8А-7, ОГЦ-16А-20, ОГД-4×4А-20, ОГЦ-32А-20 и ОГД-4×8А-20.

Рассмотрен дизайн конструкции рассматриваемых оптических кабелей. Приведены экспериментальные результаты изменения коэффициента затухания сигнала в оптическом волокне кабеля при механическом воздействии, определены допустимые растягивающие усилия.

Ключевые слова: затухание, оптический кабель, оптическое волокно, растягивающее усилие.

Abstract. Present-day designs of ОГЦ and ОГД optical cables used for laying in the ground are presented. The cables are manufactured in accordance with the requirements of TU 3587-001-58743450–2005. Technical requirements for admissible tensile stress applied to the cable are considered in comparison with the experimental test results of ОГЦ-16А-7, ОГД-4×4А-7, ОГЦ-32А-7, ОГД-4×8А-7, ОГЦ-48А-7, ОГД-6×8А-7, ОГЦ-16А-20, ОГД-4×4А-20, ОГЦ-32А-20 and ОГД-4×8А-20 cables. The construction design of these optical cables is analyzed. Experimental results of the optical fiber attenuation rate changes under the exposure to mechanical factors are given; the admissible tensile stress is stated.

Key words: attenuation, optical cable, optical fiber, tensile stress.

Материал поступил в редакцию 10.01.2018
Йе Чжо Мин E-mail: yejyawmin51@gmail.com

Особенности тропического климата рассмотрим на примере климата Республики Союз Мьянма, расположенной в Юго-Восточной Азии. Этот климат характеризуется среднегодовой температурой 18 °С, при этом максимальная температура достигает 45 °С, а минимальная – минус 5 °С. Относительная влажность обычно в течение года составляет от 34 % (комфортной) до 80 %, и редко достигает экстремальных значений 23 % (сухого) и 100 % (очень влажного). Интенсивность солнечного среднесуточного облучения в течение года превышает 3,30 кВт·ч/м².

Перечисленные особенности, характерные для тропического климата Республики Союз Мьянма, выдвигают определённые требования к конструкции оптических кабелей (ОК) и методам испытаний; часть из них следует учитывать при проведении расчётов конструкций. Поскольку рассматриваемые в данной работе кабели предназначены для прокладки в земле, то из перечисленных выше факторов внешнего климатического воздействия

актуальным является только температура, а влажность и солнечное облучение воздействуют кратковременно, лишь в период инсталляции кабелей.

Кабели, которые предназначены для эксплуатации непосредственно в земле, должны иметь достаточно надёжную защиту от внешних механических воздействий. Наиболее актуальным среди механических воздействий для кабелей, прокладываемых в земле, является растягивающее усилие.

В данной работе исследованы оптические кабели марок ОГЦ и ОГД, изготавливаемые по ТУ 3587-001-58743450–2005 и предназначенные для прокладки в земле, в грунтах всех категорий, кроме мерзлотных грунтов [1].

На рис. 1 представлена конструкция кабеля марки ОГЦ с центральным оптическим модулем. Оптические волокна (ОВ), находящиеся в центре кабеля, защищены силовым элементом конструкции – броней. Центральный оптический модуль кабеля может содержать от 2 до 48 ОВ.

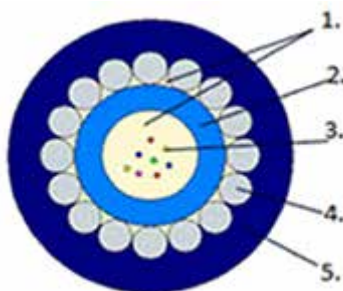


Рис. 1. Конструкция кабеля марки ОГЦ:
1 – гидрофобный наполнитель;
2 – оптический модуль;
3 – оптическое волокно; 4 – броня;
5 – наружная оболочка

На рис. 2 представлена конструкция кабеля марки ОГД, которая включает центральный силовой элемент, выполненный из стеклопластика, и несколько оптических модулей. Каждый оптический модуль может содержать от 2 до 24 ОВ. Оптические модули и кордели («пустышки», которые используют для сохранения цилиндрической формы кабеля) скручены вокруг центрального силового элемента, образуя сердечник, поверх которого наложена внутренняя оболочка из полиэтилена [2].

Свободное внутреннее пространство в оптических модулях и межмодульное пространство заполнены гидрофобным наполнителем.

Поверх внутренней оболочки в кабеле марки ОГД и поверх оптического модуля в кабеле марки ОГЦ наложена броня, которая выполнена в виде одного или двух повивов из стальных оцинкованных проволок или в виде повива из диэлектрических стержней.

Снаружи кабели покрыты оболочкой из полиэтилена.

Согласно техническим требованиям, кабели марок ОГЦ и ОГД предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 50 °С.

Кабели марки ОГЦ, в зависимости от исполнения, должны сохранять работоспособность при воздействии статического растягивающего усилия от 7 до 20 кН. Стойкость кабелей к динамическому растягивающему усилию должно быть на 15 % больше.

Кабели марки ОГД, так же в зависимости от исполнения, должны выдерживать статическое растягивающее

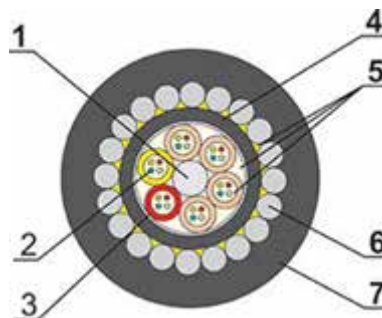


Рис. 2. Конструкция кабеля марки ОГД:
1 – центральный силовой элемент;
2 – оптическое волокно;
3 – оптический модуль,
4 – внутренняя оболочка,
5 – гидрофобный наполнитель,
6 – броня;
7 – наружная оболочка

усилие от 7 до 80 кН и быть стойкими к динамическому растягивающему усилию, которое должно быть на 15 % больше статического [3].

Для обеспечения требований к механическим параметрам кабелей проведен расчёт конструкции. Конструктивное исполнение кабелей, исследованных в данной работе, должно соответствовать требованиям, приведённым в табл. 1 для ОК марки ОГЦ, и требованиям, приведённым в табл. 2 для ОК марки ОГД.

В табл. 1 и 2 указаны требования к механическим параметрам: растягивающему усилию исследуемых конструкций ОК, предназначенных для прокладки в земле.

Для расчёта значения растягивающего усилия ОК использованы такие уравнения:

$$\sigma_{\text{каб}} = \sigma_{\text{пров}} \times N \quad (1)$$

$$F_{\text{р каб}} = F_{\text{р пров}} \times N \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{каб}}$ – прочность кабеля;

$\sigma_{\text{пров}}$ – прочность проволоки;

$F_{\text{р каб}}$ – расчетное разрывное усилие кабеля;

$F_{\text{р пров}}$ – разрывная сила одной проволоки;

N – количество проволок в броне кабеля.

Полученные расчетные значения прочности кабеля и разрывного усилия приведены в табл. 3 и 4.

Для определения фактических значений рассматриваемых механических параметров ОК проведены испытания.

Разрывную силу проволоки определяли на разрывной машине марки H5KS фирмы Hounsfield (рис. 3), позволяющей

Таблица 1

Требования к конструкции кабеля марки ОГЦ

Допустимое растягивающее усилие, кН	Количество ОВ в кабеле	Диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг
7	16	8,5	116
7	32	9,2	132
7	48	9,5	140
20	16	12,1	345
20	32	12,1	345

Таблица 2

Требования к конструкции кабеля марки ОГД

Допустимое растягивающее усилие, кН	Количество ОВ в кабеле	Количество оптических модулей в кабеле	Диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг
7	16	4	12,4	286
7	32	4	13,6	286
7	48	6	13,4	286
20	16	4	13,9	330
20	32	4	13,4	330

Таблица 3

Результаты механического расчета кабеля марки ОГЦ

Марка кабеля	Диаметр проволоки брони, мм	Количество проволок брони, шт.	Прочность кабеля, МПа	Разрывное усилие кабеля, кН
ОГЦ-16А-7	0,9	14	$13,30 \cdot 10^3$	8,46
ОГЦ-32А-7	0,9	15	$14,25 \cdot 10^3$	9,06
ОГЦ-48А-7	0,9	16	$15,20 \cdot 10^3$	9,66
ОГЦ-16А-20	2,0	10	$8,50 \cdot 10^3$	26,69
ОГЦ-32А-20	2,0	10	$8,50 \cdot 10^3$	26,69

Результаты механического расчета кабеля марки ОГД

Марка кабеля	Диаметр проволоки брони, мм	Количество проволок брони, шт.	Прочность кабеля, МПа	Разрывное усилие кабеля, кН
ОГД-4×4А-7	1,08	22	19,80 · 10 ³	18,13
ОГД-4×8А-7	1,08	22	19,80 · 10 ³	18,13
ОГД-6×8А-7	1,16	24	20,40 · 10 ³	21,55
ОГД-4×4А-20	1,16	24	20,40 · 10 ³	21,55
ОГД-4×8А-20	1,16	24	20,40 · 10 ³	21,55



Рис. 3. Разрывная машина марки H5KS

определить величину разрывной силы материалов до 5 кН. В зависимости от материала проволоки эта сила может быть различной. Для рассматриваемых ОК использована проволока типа «Проволока 1,2-П-2Ц-II», изготовленная по ГОСТ 3282-74 «Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения». Проволока термически необработанная, оцинкованная с покрытием 2-го класса, которая имеет временное сопротивление разрыву в диапазоне от 690 до 1180 МПа, что соответствует разрывной силе не менее 0,78 кН.

Влияние растягивающего усилия на затухание сигнала в ОБ кабеля определяли на установке для испытания на стойкость к растягивающему и раздавливающему усилию типа РРК-ЕК2 (рис. 4) по методу Е1, изложенному в ГОСТ Р МЭК 794-1-93 «Кабели оптические. Общие технические требования». Длина испытуемого участка ОК при растяжении составляла около 70 м, скорость растяжения не превышала 100 мм/мин [4].



Рис. 4. Испытательная установка для растягивающей и раздавливающей нагрузки РРК-ЕК2

При растяжении нагрузку прикладывали ступенями, время воздействия нагрузки на каждой ступени составляло 3 мин. До начала испытаний, при достижении нагрузки, через 3 мин воздействия нагрузки и через 1 мин после окончания воздействия контролировали отсутствие механических повреждений ОК и значение коэффициента затухания оптического сигнала в ОБ.

Затухание сигнала контролировали с помощью рефлектометра типа Yokogawa на длине волны 1550 нм, при этом измеряли коэффициент затухания линии из ОБ, которые предварительно сваривали в шлейф.

На рис. 5-9 представлены полученные экспериментальные зависимости коэффициента затухания сигнала в ОБ от растягивающего усилия, воздействующего на ОК.

Визуальный анализ полученных графиков показал следующее. Зависимости коэффициента затухания от растягивающего усилия для исследованных ОК имеют линейный характер. Уравнение для прямой линии, известно как линейное уравнение:

$$\alpha = a + vF_p, \tag{3}$$

в котором коэффициенты a и v являются коэффициентами регрессии, которые можно определить методом наименьших квадратов.

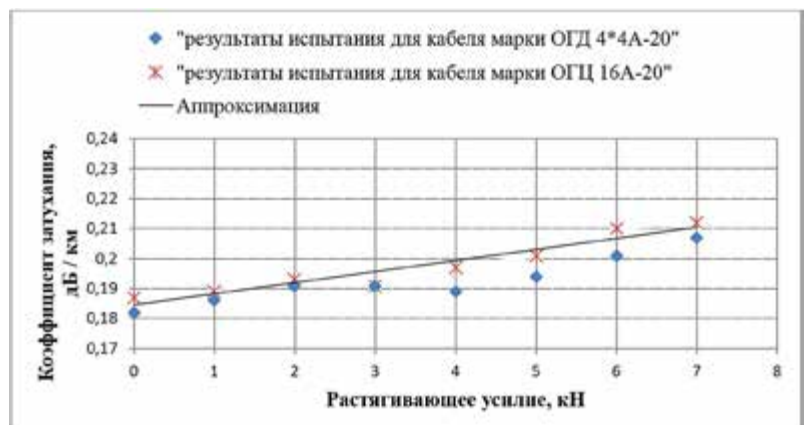


Рис. 5. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-16А-7 и ОГД-4×4А-7

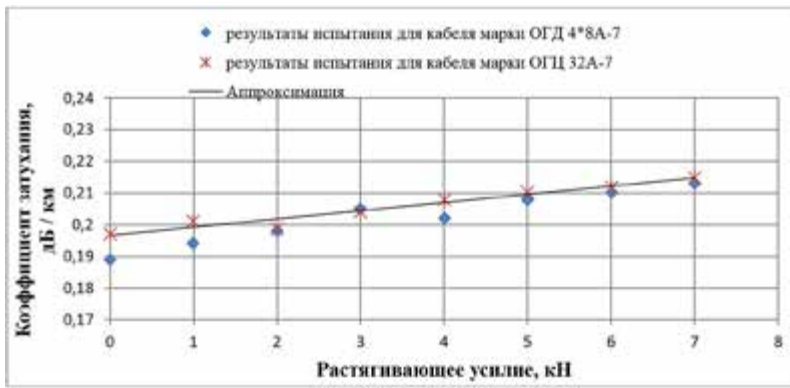


Рис. 6. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-32А-7 и ОГД-4*8А-7

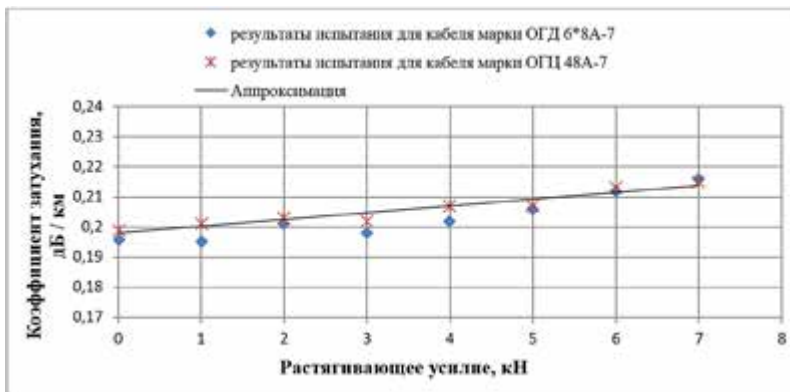


Рис. 7. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-48А-7 и ОГД-6*8А-7

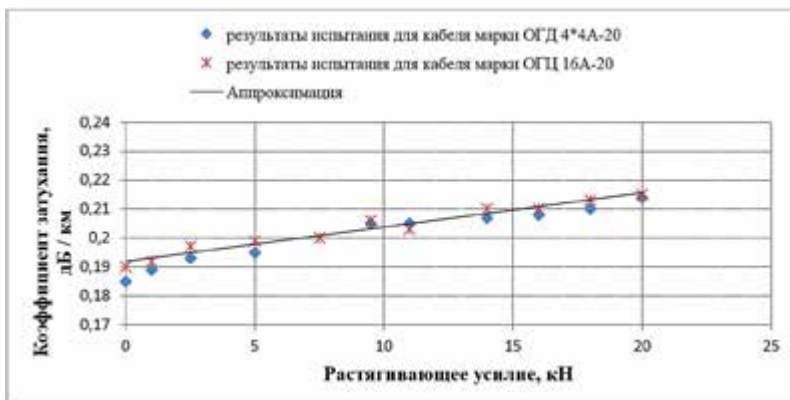


Рис. 8. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-16А-20 и ОГД-4*4А-20

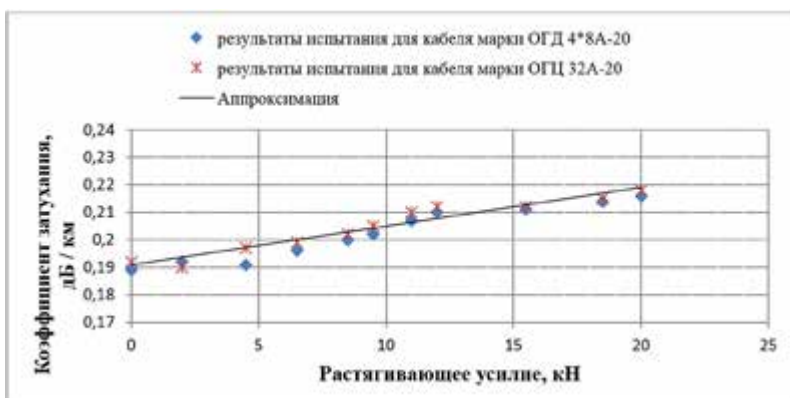


Рис. 9. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-32А-20 и ОГД-4*8А-20

В табл. 5 представлены полученные линейные уравнения для исследованных ОК.

Проведённые испытания показали, что рассматриваемые кабели выдерживают регламентированные механические нагрузки в части допустимого растягивающего усилия, поскольку при приложении максимального нормированного значения растягивающего усилия величина коэффициента затухания сигнала в ОВ кабеля не превышает допустимого значения 0,22 дБ/км.

Таблица 5

Коэффициенты регрессии зависимости изменения затухания от растягивающего и раздавливающего усилия для исследованных кабелей ОГЦ и ОГД

Марки кабелей	Зависимость изменения затухания от растягивающего усилия
ОГЦ-16А-7 и ОГД-4*4А-7	$\alpha = 0,18325 + 0,00337F_p$
ОГЦ-32А-7 и ОГД-4*8А-7	$\alpha = 0,19379 + 0,00294F_p$
ОГЦ-48А-7 и ОГД-6*8А-7	$\alpha = 0,19554 + 0,00258F_p$
ОГЦ-16А-20 и ОГД-4*4А-20	$\alpha = 0,19665 + 0,00104F_p$
ОГЦ-32А-20 и ОГД-4*8А-20	$\alpha = 0,18949 + 0,00144F_p$

Проведённые в данной работе испытания подтвердили, что регламентированные в ТУ 3587-001-58743450-2005 для ОК исследованных марок требования к растягивающему усилию установлены достаточно обоснованно.

ЛИТЕРАТУРА

- Боев М.А., Йе Чжо Мин. Климатические и механические параметры оптических кабелей, предназначенные для эксплуатации в земле в тропическом климате // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докл. XXII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (Москва, 25-26 февраля 2016 г.). – М., 2016. – Т. 2. – С. 35.
- Боев М.А., Йе Чжо Мин. Механические параметры оптического кабеля, предназначенного для прокладки в земле // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты МКЭЭ-2016 (ICSEE-2016): тезисы докл. XVI Международная конференция (Крым, Алушта, 19-24 сентября 2016 г.). – М., 2016. – С. 74-75.
- Боев М.А., Йе Чжо Мин. Оптические кабели, предназначенные для эксплуатации в земле в тропическом климате // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докл. XXIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (Москва, 2-3 марта 2017 г.). – М., 2017. – Т. 2. – С. 46.
- Боев М.А., Йе Чжо Мин. Стойкость к механическому усилию оптических кабелей, прокладываемых в земле // Кабели и провода. – 2017. – № 3 (364). – С. 22-25.