

УДК 621.315.2

О.В. БОНДАРЕНКО (канд.техн.наук)

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

vols@onat.edu.ua

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ И МОДУЛЯ ЮНГА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Based on the substitution schemes of dielectric self-supporting optical cable to ensure its resistance to the stretching loads developed for linear expansion temperature coefficient method and Young's modulus cable.

Введения в проблему. Конструкция диэлектрического самонесущего оптического кабеля (ДСОК) влияет на механическую устойчивость и надежность работы воздушной волоконно-оптической линии передачи (ВВОЛП). Следуя [1] расчет ВВОЛП на механическую прочность можно проводить с использованием температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и модуля Юнга (E_0) ДСОК по формулам для расчета однородных проводов.

Особенность расчета механической прочности конструкции СОК обусловлена, в первую очередь, наличием в кабеле элементов из различных материалов, которые имеют разные значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и модуля Юнга.

Как отмечено в [1] расчеты механической прочности ДСОК ведутся методом последовательных приближений за счет выбора оптимальных материалов и размеров элементов кабеля. В конструкции ДСОК в качестве силовых элементов (СЭ) используются диэлектрические центральный и периферийный силовые элементы (ПСЭ, ПСЭ). Центральный силовой элемент кабеля выбирается из стеклопластикового стержня, а периферийный - из арамидных нитей («Тварон» или «Кевлар»). По предварительно заданной модели конструкции кабеля определяется его допустимое растягивающее усилие и удлинение, а затем корректируется модель и размеры элементов до достижения конструкцией ДСОК значений заданного удлинения и растягивающего усилия.

Расчеты механической прочности ДСОК, в свою очередь, требуют определения его ТКЛР и модуля Юнга в зависимости от размеров и материалов элементов конструкции.

Цель исследования. Целью данной работы является разработка метода определения температурного коэффициента линейного расширения и модуля Юнга диэлектрического самонесущего оптического кабеля.

Решение поставленной задачи. Для решения поставленных задач в работе приняты следующие допущения:

- периферийный силовой элемент ДСОК принимается в виде цилиндра длиной равной длине кабеля;
- все элементы конструкции ДСОК имеют одинаковое удлинение при растяжении кабеля в пределах допустимых растягивающих нагрузок;
- относительное удлинение ползучести арамидных нитей равно нулю.

Температурные коэффициенты линейного расширения элементов ДСОК (рис. 1), кроме ПСЭ в виде арамидных нитей, которые скручиваются вокруг сердцевины кабеля, имеют положительное значение, а ТКЛР этого элемента - отрицательное значение. Благодаря своему низкому отрицательному значению ТКЛР периферийного силового элемента из «Тварона» существенно изменяет ТКЛР всего ДСОК. Таким образом, при изменении температуры удлинение ДСОК не равно удлинению элементов, и по этой причине в элементах возникают различные напряжения.

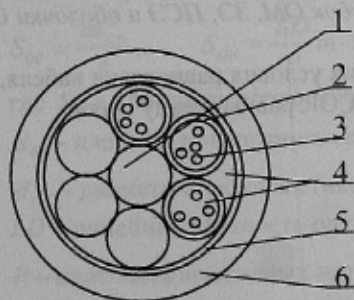


Рисунок 1 - Конструкция оптического кабеля марки ОКЛ-3-Д2А-3x4Е: 1 - центральный силовой элемент; 2 - трубка оптического модуля; 3 - ОВ; 4 - заполняющий компаунд; 5 - арамидные нити; 6 - оболочка кабеля

Следуя [2] приведем расчеты ТКЛР и модуля Юнга ДСОК. Для этого используем схему замещения элементов кабеля (рис. 2 б), которая обеспечивает его устойчивость к растягивающим нагрузкам.

Обозначим ТКЛР кабеля через α_0 . Этот коэффициент будет определяться при условии достижения равновесия, при котором растягивающее усилие во всех арамидных нитях практически будет компенсировано суммарным растягивающим усилием в других элементах ДСОК.

Температурный коэффициент линейного расширения арамидных нитей α_{an} меньше, чем суммарный ТКЛР других элементов кабеля α_Σ . Поскольку все элементы кабеля находятся в одной конструкции, то они должны иметь одинаковое удлинение, следовательно

$$\alpha_{an} < \alpha_0 < \alpha_\Sigma. \quad (1)$$

Так при повышенных температурах оптические волокна, трубки оптических модулей (ОМ), стеклопластик, заполняющие элементы (ЗЭ) и оболочка ДСОК растягиваются и в них возникают дополнительные напряжения растяжения, а арамидные нити «Тварон» сжимаются и в них возникает температурное напряжение сжатия. При понижении температуры, наоборот, в этих элементах ДСОК появляется температурное напряжение сжатия, а в нитях «Тварон» - напряжение растяжения.

Дополнительное температурное напряжение равно в:

$$\text{— элементах ДСОК, кроме ПСЭ} \quad \sigma'_\Sigma = (\alpha_\Sigma - \alpha_0)\Delta t E_\Sigma, \quad (2)$$

$$\text{— арамидных нитях ПСЭ} \quad \sigma'_{an} = (\alpha_{an} - \alpha_0)\Delta t E, \quad (3)$$

где Δt - разность температур;

E_Σ , E_{an} - суммарный коэффициент Юнга (упругость) элементов ДСОК, кроме арамидных нитей ПСЭ и модуль Юнга арамидных нитей, соответственно.

На рис. 2 приняты следующие условные обозначения элементов замещения кабеля: 1 - ЦСЭ; 2 - трубки ОМ; 3 - ЗЭ; 4 - ПСЭ; 5 - оболочка кабеля.

Положительные значения при решении этих уравнений соответствуют растяжению элементов кабеля, а отрицательные - сжатию. Действительные напряжения материалов элементов ДСОК равны алгебраической сумме напряжений от температурных напряжений и механических нагрузок при заданной величине удлинения кабеля, т.е.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\Sigma d} &= \sigma_\Sigma + \sigma'_\Sigma \\ \sigma_{an, d} &= \sigma_{an} + \sigma'_{an} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где σ_Σ и σ_{an} - напряжения от механической нагрузки соответственно во всех элементах ДСОК (кроме ПСЭ) и в арамидных нитях ПСЭ при заданной величине удлинения кабеля.

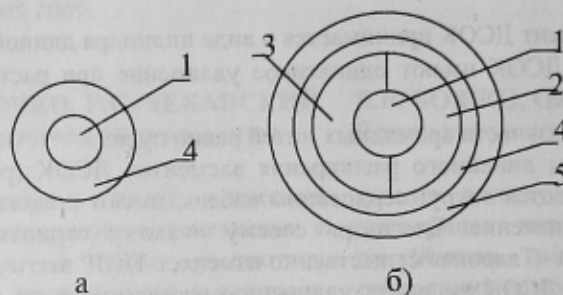


Рисунок 2 – Схемы элементов замещения кабеля ОКЛ-3-Д2А-3×4Е, которые обеспечивают его стойкость к растягивающим нагрузкам на базе: а) ЦСЭ и ПСЭ; б) ЦСЭ, трубок ОМ, ЗЭ, ПСЭ и оболочки ОК.

Согласно [2] ТКЛР всего кабеля определяется, как отмечалось ранее, из условия равновесия кабеля, при котором температурные усилия арамидных нитей ПСЭ и других элементов ДСОК равны между собой.

$$(\alpha_{an} - \alpha_0)\Delta t E_{an} S_{an} = - \sum_{i=1}^{n-1} (\alpha_i - \alpha_0)\Delta t E_i S_i, \quad (5)$$

откуда

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_{an} E_{an} S_{an} + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i E_i S_i}{E_{an} S_{an} + \sum_{i=1}^{n-1} E_i S_i}, \quad (6)$$

где $S_{ан}$, S_i - площадь поперечного сечения соответственно арамидных нитей ПСЭ и всех других элементов кабеля;

α_i , - ТКЛР i -го элемента кабеля;

E_i - модуль Юнга i -го элемента кабеля.

n - число элементов кабеля, которые принимают механические нагрузки.

Напряжение в каждом элементе ДСОК разное и распределяется пропорционально модулям упругости соответствующих материалов, поэтому для упрощения расчетов пользуются условным фиктивным напряжением, отнесенным ко всему кабелю.

Фиктивное напряжение ДСОК, например, при наименьшем растяжении в середине пролета ВВОЛП между двумя точками подвеса кабеля T_0 равно:

$$\sigma_{\phi} = \frac{T_0}{S_{ан} + \sum_{i=1}^{n-1} S_i} \quad (7)$$

Иногда при расчетах конструкции ДСОК σ_{ϕ} можно определить по значению допустимого напряжения арамидных нитей:

$$\sigma_{\phi} = \left\{ \sigma_{ан} - (\alpha_{ан} - \alpha_0) \Delta t E_{ан} \right\} \frac{E_0}{E_{ан}} \quad (8)$$

В свою очередь E_0 можно определить по выражению:

$$E_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{E_{ан} S_{ан} + \sum_{i=1}^{n-1} E_i S_i}{S_{ан} + \sum_{i=1}^n S_i} \quad (9)$$

В практике расчета модульной конструкции ДСОК часто используется шестимодульная конструкция с ЦСЭ из стеклопластикового стержня диаметром от 2 до 3 мм и разным количеством арамидных нитей «Тварон» типов 1055, или - 1052.

Поскольку основную долю механической нагрузки в конструкции ДСОК испытывают на себе силовые элементы, то иногда при инженерных расчетах растягивающих усилий кабеля допускается пренебрежение величиной механической нагрузки, которые воспринимают на себя другие элементы кабеля. При этом для расчетов конструкции ДСОК принимается схема замещения элементов кабеля (рис. 2 а), обеспечивающих устойчивость к растягивающим нагрузкам.

В качестве примеров были рассчитаны α_0 и E_0 ДСОК шестимодульной конструкции (рис.1) на базе двух схем замещения (рис. 2 а и рис. 2 б) с ЦСЭ из стеклопластикового стержня типа «Polystal» диаметром 2,5 мм и ПСЭ с разным количеством нитей типа «Тварон 1052» с линейной плотностью 8750 текс.

При этом, в конструкции ДСОК было принято, что: диаметр оптического модуля равнялся $d_{ОМ} = 2,5 \text{ мм}$, толщина трубки ОМ равнялась $t_{ОМ} = 0,35 \text{ мм}$, толщина оболочки кабеля равнялась $\Delta_{об} = 0,8 \text{ мм}$, а диаметр кабеля равнялся $D_K = 14,3 \text{ мм}$.

Согласно [2] площади стеклопластикового стержня и арамидных нитей определялись по формулам:

$$S_{сст} = \frac{\pi d_{сст}^2}{4}, \quad S_{ан} = \frac{LD}{P} m \cdot 10^{-4}, \quad (10)$$

где $S_{сст}$, - площадь поперечного сечения стеклопластикового стержня и арамидных нитей, мм^2 ;

$S_{ан}$ - площадь поперечного сечения арамидных нитей, мм^2 ;

$d_{сст}$ - диаметр стеклопластикового стержня, мм;

LD - линейная плотность одной нити, текс;

P - плотность арамидных нитей, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$;

m - количество нитей, шт.

В табл. 1 согласно [3] приведены справочные значения ТКЛР и модуля Юнга материалов элементов ДСОК. Полученные по выражениям (6) и (9) расчетные значения α_0 и E_0 ДСОК для двух схем замещения элементов кабеля (рис.2а и рис.2б) приведены в табл. 2.

Для оценки пригодности в практическом применении предложенного метода определения, например, модуля Юнга в работе были проведены экспериментальные исследования растягивающей нагрузки и соответствующего ему удлинения кабеля типа ОКЛБ-3-Д2А-3х4Е с ПСЭ из 18 нитей типа «Twaron 1052». Исследования проводились на установках растяжения в лабораторных условиях ОАО «Одескабель» по методу испытаний E_1 согласно рекомендации ИЕС 60794. Измерение удлинения ДСОК выполнялся измерителем удлинения типа «ИД - 2 - 3».

Таблица 1 – Справочные значения ТКЛР и модуля Юнга материалов элементов ДСОК

Параметр	Материал			
	нити типа «Twaron 1052» з LD=8750 дтеке	стеклопластик типа «Polystal»	полиэтилен ПЕС	полибутилен терефталат «Целанекс» 2001
ТКЛР, 1°C^{-1}	$-3 \cdot 10^{-6}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Модуль Юнга, ГПа	104	> 50	0,621	2,600

Результаты измерений растягивающей нагрузки $F_3 = 7000 \text{ Н}$ и соответствующего ей удлинения ДСОК $\varepsilon_K = 0,46 \%$ из выражения [1]

$$F = \varepsilon_{\text{ЭК}} \cdot E_0 \cdot S_{\text{ЭК}}, \quad (11)$$

позволили получить экспериментальное значение модуля Юнга $E_{0Э} = 21, 29 \text{ ГПа}$.

В [11] $S_{\text{ЭК}}$ - площадь поперечного сечения элементов ДСОК в схеме замещения, мм^2 .

Для оценки пригодности в конструировании ДСОК 1-й и 2-й схем замещения элементов кабеля, обеспечивающих его устойчивость к растягивающим нагрузкам, по (11) для этих схем были рассчитаны растягивающие нагрузки кабеля (F_1 и F_2). Результаты расчетов F_1 и F_2 были сравнены с экспериментальными значениями F_3 при $\varepsilon_K = 0,46 \%$.

Результаты расчетов экспериментальных и расчетных значений устойчивости ДСОК к растягивающим нагрузкам показали, что:

$F_1 = 6321 \text{ Н}$, а $F_2 = 6616 \text{ Н}$. Таким образом значения F_1 и F_2 отличаются от F_3 на 9,70 % и на 4,66 %, соответственно.

Таблица 2 – Рассчитанные значения α_0 и E_0

Параметр	ДСОК при числе нитей «Twaron 1052»					
	с учетом только ЦСЭ и ПСЭ (схема 1)			с учетом СЭ, трубок ОМ, ЗЭ и оболочки кабеля (схема 2)		
	18	36	72	18	36	72
ТКЛР, 1°C^{-1}	$-1,286 \cdot 10^{-6}$	$-2,050 \cdot 10^{-6}$	$2,350 \cdot 10^{-6}$	$7,370 \cdot 10^{-6}$	$2,810 \cdot 10^{-6}$	$0,084 \cdot 10^{-6}$
Модуль Юнга, ГПа	91,95	94,04	98,52	20,12	31,17	46,37

Таким образом, предложенный метод позволяет получить расчетные значения E_0 отличающиеся от экспериментального значения $E_{0Э}$ менее 10%.

При этом использование в конструировании ДСОК 1-й схемы замещения по определению α_0 и E_0 можно считать как оценочную для определения в первом приближении этих параметров.

Выводы.

1. В данной работе разработан метод определения ТКЛР и модуля Юнга ДСОК, реализованный на основе предложенных схем замещения элементов кабеля, обеспечивающих его устойчивость к растягивающей нагрузке.

2. Результаты исследования модульной конструкции кабеля типа ОКЛБ-3-Д2А-3х4Е, выполненные на базе двух схем замещения, позволили установить, что предложенный метод определения этих параметров может быть использован при конструировании ДСОК.

Список литературы

1 Бондаренко О.В. Выбор конструкции самонесущего оптического кабеля по растягивающим нагрузкам/ О.В. Бондаренко, Д.В. Иоргачев, Л.Л. Мурадян // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001, № 1 – с. 18 – 21.

2 Волоконно-оптические кабели: Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация: [монография.] / Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дашенко А.Ф., Усов А.В. – Одесса: Астропринт, 2000. – 536 с.

Надійшла до редколегії 06.05.2009

Рецензент: О.П.Ковальов

О.В. БОНДАРЕНКО

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

О.В. БОНДАРЕНКО

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова

Метод определения температурного коэффициента линейного расширения и модуля Юнга диэлектрического оптического кабеля. В данной работе разработан метод определения температурного коэффициента линейного расширения и модуля Юнга диэлектрического оптического кабеля, реализованный на основе предложенных схем замещения элементов кабеля, обеспечивающих его устойчивость к растягивающей нагрузке. Результаты исследования модульной конструкции кабеля типа ОКЛБ-3-Д2А-3×4Е, выполненные на базе двух схем замещения, позволили установить, что предложенный метод определения этих параметров может быть использован при конструировании диэлектрического оптического кабеля.

Температурный коэффициент, линейное расширение, модуль юнга, диэлектрический оптический кабель

Метод визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення і модуля Юнга діелектричного оптичного кабелю. В даній роботі розроблений метод визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення модуля Юнга діелектричного оптичного кабелю, реалізований на основі запропонованих заступних схем елементів кабелю, які забезпечують його стійкість до розтягувального навантаження. Результати дослідження модульної конструкції кабелю типу ОКЛБ-3-Д2А-3х4Е виконані на підставі двох заступних схем, дозволили встановити, що запропонований метод визначення цих параметрів може бути використаний при конструюванні діелектричного оптичного кабелю.

Температурний коефіцієнт, лінійне розширення, модуль юнга, діелектричний оптичний кабель