

TEMPERATURE COEFFICIENT OF LINEAR EXPANSION AND YOUNG'S FICTIVE MODULUS OF SELF-SUPPORTING OPTICAL CABLE

Bondarenko O.V., Starenkyi I.V., Hadzhyiev M.M., Kiforuk S.V., Polishchuk A.V.

*O.S. Popov Odesa National Academy of Telecommunications,
1 Kuznechna St., Odesa, 65029, Ukraine.
ivan_starenkii@ukr.net*

ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТА ФІКТИВНИЙ МОДУЛЬ ЮНГА САМОНЕСУЧОГО ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ

Бондаренко О.В., Старенький І.В., Гаджиєв М.М., Кіфорук С.В., Поліщук А.В.

*Одеська національна академія зв'язку імені О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
ivan_starenkii@ukr.net*

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ И ФИКТИВНЫЙ МОДУЛЬ ЮНГА САМОНЕСУЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Бондаренко О.В., Старенький И.В., Гаджиєв М.М., Кифорук С.В., Поліщук А.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
ivan_starenkii@ukr.net*

Abstract. Based on the method of determining the temperature coefficient of linear expansion and Young's modulus of a dielectric optical cable, the study of the temperature coefficient of linear expansion (TCLR) - α_{01} and the Young's fictive modulus (E_{of}) in self-supporting optical cables (SSOC) was carried out in this work. The cable constructions are selected with a central modular tube and with peripheral power elements (PPE) based on 12, 18 and 24 aramid threads type "Twaron 1052" (with a linear density of one aramid thread 8050 dtex or 2, 4 and 6 steel wires made of soft steel).

These fiber optic cable (OC) structures are similar to OC structures of the Kharkiv Plant «Yuzhcable», ОЦАрП and ОЦП, accordingly. Given the analysis of the obtained results of the specified parameters and the dependence graphs of TCD and the Young's fictive modulus on the number of aramid threads in the ОЦАрП cable and steel wires in ОЦП cable, are plotted.

Mentioned studies made it possible to establish that the E_{of} in the ОЦП cable has a greater value than in the ОЦАрП cable. The latter allows receiving the acceptable tensile force in the ОЦП cable construction more than in the ОЦАрП cable construction.

It is recommended to use the obtained values of α_{01} and E_{of} for the selected cable constructions by the designers of the fiber-optic communication lines in determining their mechanical strength (specific cable loads and sagging deflection depending on the climatic conditions of the cable route).

Key words: fiber optic communication lines, self-supporting optical cable, constriction, cable structure element, aramid threads, steel wire, cross-sectional area, diameter, linear density of one aramid of thread, density of aramid threads, temperature coefficient of linear expansion, Young's fictive modulus, fictive cable voltage.

Анотація. У статті на підставі методу визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення і модуля Юнга діелектричного оптичного кабелю, проведено дослідження температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) – α_{01} та фіктивного модуля Юнга (E_{of}) в самонесучих оптичних

кабелях (СОК). Конструкції кабелів вибрано з центральною модульною трубкою та з периферійними силовими елементами (ПСЕ) на підставі 12, 18 та 24 арамідних ниток типу «Тварон 1052» (з лінійною щільністю однієї арамідної нитки 8050 дтекс) або 2, 4 та 6 сталевих дротів із м'якої сталі. Ці конструкції оптичних кабелів (ОК) аналогічні конструкціям ОК Харківського заводу «Південькабель» типу ОЦАрП та ОЦП відповідно. Дано аналіз отриманих результатів вказаних параметрів та побудовано графіки залежності ТКЛР та фіктивного модуля Юнга від числа арамідних ниток в кабелі ОЦАрП та сталевих дротів в кабелі ОЦП відповідно.

Указані дослідження дозволили встановити, що $E_{0ф}$ у кабелі типу ОЦП має більше значення ніж у кабелі ОЦАрП. Останнє дозволяє отримати в конструкції кабелю ОЦП допустиме розтягувальне зусилля більше ніж у кабелю ОЦАрП.

Отриманні значення α_{01} та $E_{0ф}$ для вибраних конструкцій кабелів рекомендується використовувати проєктувальниками повітряних волоконно-оптичних ліній зв'язку при визначенні їх механічної міцності (питомих навантажень на кабель та стріли провисання в залежності від кліматичних умов траси кабельної магістралі)

Ключові слова: волоконно-оптичні лінії зв'язку, самонесучий оптичний кабель, конструкція, елемент конструкції кабелю, арамідні нитки, сталевий дріт, площа поперечного перетину, діаметр, лінійна щільність однієї арамідної нитки, густина арамідних ниток, температурний коефіцієнт лінійного розширення, фіктивний модуль Юнга, фіктивна напруга кабелю.

Аннотація. В статье на основе метода определения температурного коэффициента линейного расширения и модуля Юнга диэлектрического оптического кабеля, проведено исследование температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) – α_{01} и фиктивного модуля Юнга ($E_{0ф}$) в самонесущих оптических кабелях (СОК). Конструкции кабелей выбрано с центральной модульной трубкой и с периферийными силовыми элементами (ПСЭ) на основе 12, 18 и 24 арамидных нитей типа «Тварон 1052» (с линейной плотностью одной арамидной нити 8050 дтекс) или 2, 4 и 6 стальных проволок из мягкой стали. Эти конструкции оптических кабелей (ОК) аналогичны конструкциям ОК Харьковского завода «Южкабель» типа ОЦАрП и ОЦП соответственно. Дан анализ полученных результатов указанных параметров и построены графики зависимости ТКЛР и фиктивного модуля Юнга от числа арамидных нитей в кабеле ОЦАрП и стальных проводов в кабеле ОЦП соответственно.

Указанные исследования позволили установить, что $E_{0ф}$ в кабеле типа ОЦП имеет большее значение чем в кабеле ОЦАрП. Последнее позволяет получить в конструкции кабеля ОЦП допустимое растягивающее усилие больше чем у кабеля ОЦАрП.

Полученные значения α_{01} и $E_{0ф}$ для выбранных конструкций кабелей рекомендуется использовать проектировщиками воздушных волоконно-оптических линий связи при определении их механической прочности (удельных нагрузок на кабель и стрелы провеса в зависимости от климатических условий трассы кабельной магистрали)

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, самонесущий оптический кабель, конструкция, элемент конструкции кабеля, арамидные нити, стальная проволока, площадь поперечного сечения, диаметр, линейная плотность одной арамидной нити, плотность арамидных нитей, температурный коэффициент линейного расширения, фиктивный модуль Юнга, фиктивное напряжение кабеля.

Overhead fiber optic communication lines (OFOCL) are gaining momentum in popularity, which causes the rapid development of technology to produce the optical cables for the design of such fiber-optic communication lines (FOCL). Modern cable- manufacturers can produce optical cables (OC) for a very wide range of structures. These structures can be used under different conditions depending on the environment of the future operation (cable sewer, overhead lines, etc).

For construction of a new OFOCL it's best to use self-supporting optical cables (SSOC). Depending on the needs of the customer, the factory-manufacturers produce several variations of such cables with power elements which allow the cable to withstand mechanical loads, considering the climatic environmental influences.

The calculation of OFOCL for mechanical strength requires the determination of the temperature coefficient of linear expansion (TCLR) of the SSOC and its Young's fictive modulus (E_{0f}).

The purpose of this work is to define the TCLR and E_{of} of the construction of two cables with a central modular tube and a peripheral power element of aramid threads or steel wires, as an example of the optical cables of the Kharkiv plant "Yuzhnekabel", such as OЦApII and OЦII, accordingly.

Solving the set task. In order to solve the problem, a method for determining the TCLR and E_{of} was developed in [1]. The determination of TCLR and E_{of} for SSOC types:

- OApII with PPE in the form of aramid-thread layer (Fig. 1,a);
- OЦII with PPE in the form of steel wires in the middle of the polyethylene (PE) shell (Fig. 1,b).

The features of the calculation of the SSOC are conditioned, firstly, by the presence in the cable of elements from different materials that have different values of the temperature coefficient of linear expansion. The value of the TCLR of the SSOC elements (Fig. 1,a), besides the peripheral strength element (PSE) in the form of aramid threads welded around the cable modulus, is positive and the value of the TCLR of aramid threads is negative.

According to [1], TCLR (α_0) for a cable of the type OЦApII will be determined considering its design PPE made of aramid threads by the expression:

$$\alpha_{01} = \frac{\alpha_{at} E_{at} S_{at} + \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_i E_i S_i}{E_{at} S_{at} + \sum_{i=1}^{m-1} E_i S_i}, \quad (1)$$

for a cable type OЦII with PPE made of steel wire by the expression:

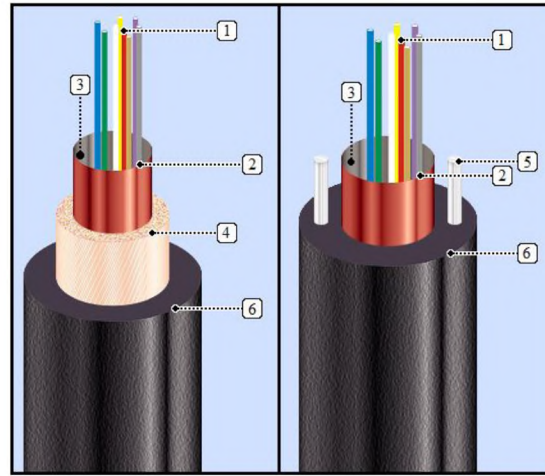
$$\alpha_{02} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \alpha_i E_i S_i}{\sum_{i=1}^{m-1} E_i S_i}, \quad (2)$$

where α_0 , α_{at} and α_i – TCLR SSOC, aramid threads and the remaining structural SSOC elements accordingly, 1 K^{-1} ; E_{at} , E_i , – Young's modulus of aramid threads and the remaining SSOC elements, GPa; S_{at} , S_i – the cross-sectional area of aramid threads, and the rest of the SSOC elements, mm^2 .

Tension on each SSOC element is different and distributed in proportion to the modulus of the elasticity of the corresponding materials. Therefore, in order to simplify the calculations, the conditional fictive tension which applies to the entire cable is used. As noted in [1], the fictive tension of SSOC at the smallest stretching in the middle of the flight of the overhead FOCL between two suspension points of the cable is:

$$\sigma_f = \frac{T_0}{S_{at} + \sum_{i=1}^{n-1} S_i}, \quad (3)$$

where σ_f – fictive voltage SSOC, GPa; T_0 – length of the span, m; S_{at} , S_i – the cross-sectional area of aramid threads, and the rest of the SSOC elements, mm^2 .



a) ОЦАрПІ;

b) ОЦПІ;

Figure 1 – Sketches of the cross-section of fiber optic cables:

1 – optical fiber; 2 – the tube of the optical module; 3 – filler compound;
4 – aramid-thread layer; 5 – steel wire; 6 – outer polyethylene shell

For the first design, the SSOC σ_f can be determined from the value of the acceptable tension of aramid threads:

$$\sigma_f = \left\{ \sigma_{at} - (\alpha_{at} - \alpha_0) \Delta t E_{at} \right\} \frac{E_0}{E_{at}}, \quad (4)$$

where σ_f , σ_{at} – fictive voltage of SSOC and fictive voltage of aramid threads of SSOC, GPa; α_0 , α_{at} – TCLR SSOC, aramid threads of SSOC elements, accordingly, 1 K^{-1} ; E_0 , E_{at} , – Young's modulus of SSOC and aramid threads of SSOC, GPa;

Δt – temperature difference from the output ($-40 \text{ }^\circ\text{C}$) to normal in determining the tension in SSOC.

However, E_{0f} for a cable with PPE made of aramid threads can be determined by the expression:

$$E_{0f} = \frac{E_{at} S_{at} + \sum_{i=1}^{n-1} E_i S_i}{S_{at} + \sum_{i=1}^n S_i} \quad (5)$$

and cable with PSE made of steel wires by the expression:

$$E_{0f} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (6)$$

where E_{0f} – Young's fictive modulus SSOC, GPa; E_{at} , E_i – Young's modulus of aramid threads and remaining SSOC elements, GPa; S_{at} , S_i – cross-sectional area of aramid threads, and the rest of the SSOC elements, mm^2 .

As examples, calculations for α_0 and E_{0f} for the SSOC specified types of cables were made.

At the same time, the calculations were carried out on the following output data: the diameter of the optical module $d_{OM} = 3,6 \text{ mm}$, the thickness of the OM tube $t_{OM} = 0,2 \text{ mm}$, the thickness of the

cable shell ОЦАрП $\Delta_{shell1} = 1,6$ mm, the thickness of the cable ОЦП $\Delta_{shell2} = 2$ mm, diameter of the cable ОЦАрП $D_{ОЦАрП} = 8,3$ mm, diameter of the cable ОЦП $D_{ОЦП} = 7,1$ mm, aramid threads of different quantities of type «Twaron 1052» with linear density 8050 dtex, the diameter of the wire peripheral strength element $d_{PE} = 0,6$ mm.

According to [1], the area of the peripheral strength element of aramid threads for the ОЦАрП cable is calculated according to the formula:

$$S_{at} = \frac{LD}{\rho} \cdot n \cdot 10^{-4}, \quad (7)$$

where S_{at} – cross-sectional area of aramid threads, mm; LD – linear density of one aramid thread, dtex; ρ – density of aramid thread, g/sm³; n – the quantity of aramid threads in, pcs.

The PSE area for ОЦП cable type is determined by the expression [1]:

$$S_{ppe} = m \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4}, \quad (8)$$

where S_{ppe} – cross-sectional area of PPE, mm²; d_w – diameter of wire, mm; m – the quantity of PE wires in SSOC construction.

Table 1 – Reference values of the TCLR and Young's modulus materials of the SSOC elements

№	Element name	Material of element	TCLR, 1/K ⁻¹	Young's modulus, GPa
1	Tube for optical module	Polybutylene terephthalate	$1,1 \cdot 10^{-6}$	2,6
2	PSE	Aramid threads «Twaron 1052» with $LD = 8050$ dtex	$-3 \cdot 10^{-6}$	104
		Steel wire	$13 \cdot 10^{-6}$	200
4	Protective hose	Polyethylene	$3,2 \cdot 10^{-4}$	0,621

According to [2] Table 1 shows the reference values of the TCLR and Young's modulus materials of the SSOC elements.

The results of calculations of TCLR and Young's fictive modulus for ОЦАрП and ОЦП cables with various PSE materials are listed in Table 2, and are presented on the graphs (Fig. 2, Fig. 3) of their dependences on the quantity of aramid thread and steel wires.

Table 2 – Calculated values of TCLR and Young's fictive modulus

Parameter	Optical cable ОЦАрП			Optical cable ОЦП		
	Quantity of aramid threads			Quantity of steel wires		
	12	18	24	2	4	6
TCLR, 1 K ⁻¹	$7 \cdot 10^{-6}$	$3,754 \cdot 10^{-6}$	$2,098 \cdot 10^{-6}$	$5,915 \cdot 10^{-5}$	$3,852 \cdot 10^{-5}$	$3,062 \cdot 10^{-5}$
Young's fictive modulus, GPa	16,15	22,26	27,57	37,9	67,51	96,28

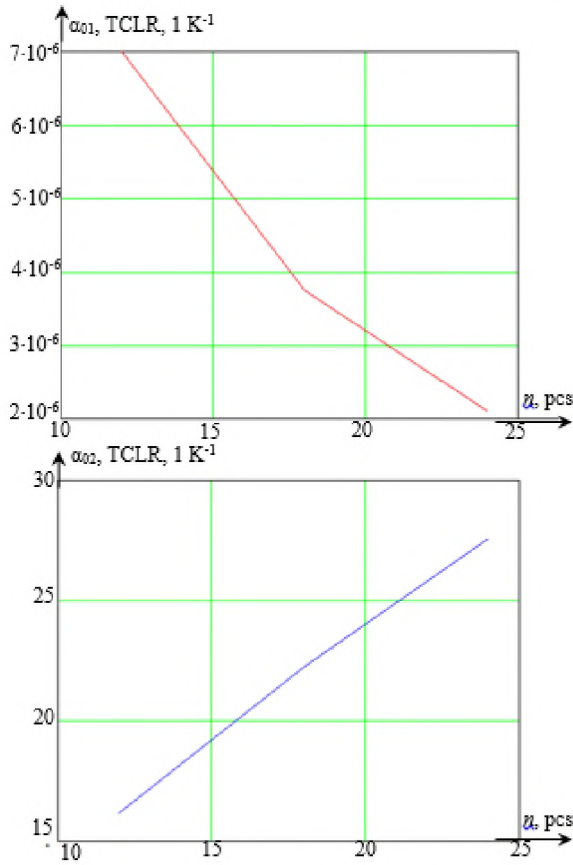


Figure 2 – Dependence graph of TCLR and Young's fictive modulus of the OЦApII cable on the quantity of aramid threads

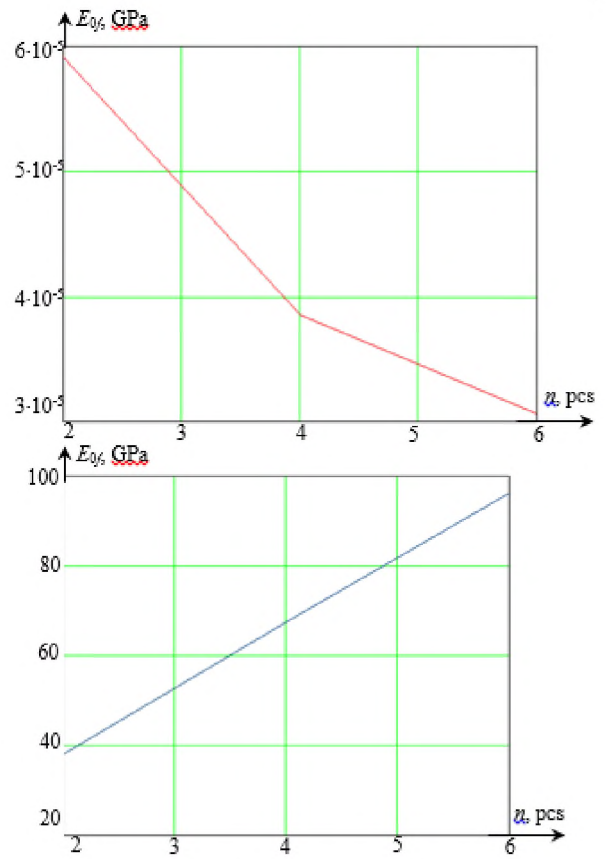


Figure 3 – Dependence graph of TCLR and Young's fictive modulus of the OЦII cable on the quantity of steel wires

Conclusions:

1. In this paper, based on the method [1] for the determination of the TCLR and Young's fictive modulus in the SSOC, calculations of these parameters for the SSOC with aramid threads in the PSE or with the steel wires were performed. Based on the obtained calculations results with these parameters, the dependence graphs of TCLR and Young's fictive modulus on the quantity of aramid threads in the OЦApII cable and the steel wires in the OЦII cable were constructed accordingly.

2. The results of the research of α_0 and E_{0f} structures of these cables with different quantity of aramid threads or steel wires allowed establishing that:

- increasing the quantity of aramid threads in PSE of OЦApII cable from 12 to 24 pcs. α_0 decreases 70,6%, and E_{0f} increases 70%.

- the increasing of the wires' quantity in the plastic shell from 2 to 6 pieces, α_{02} decreases 48%, and E_{0f} increases 154%.

3. From the presented results of the calculations α_0 and E_{0f} , the following conclusions are:

- SSOC construction OЦII in comparison with OЦApII has more value of Young's fictive modulus, which in its turn means that it is acceptable the extended elongation of OЦII cable will be more than OЦApII, at the same value as the maximum acceptable elongation of the cable.

4. The obtained results of the determination of α_0 and E_{of} for the selected SSOC structures can be used by the designers of OFOCL

REFERENCES:

1. Bondarenko O.V. "Metod opredeleniya temperaturnogo koeffitsienta lineynogo rasshireniya i modulya Yunga dielektricheskogo opticheskogo kabelya" / Bondarenko O.V. // Naukovl pratsl Donetskogo natslionalnogo tehnichnogo unlvrsitetu. Seriya «Elektrotehnika I energetika». Donetsk, 2009. Vip. № 9 (158): 25-29.
2. Bondarenko O.V. "Rozrobka metodu rozrahunku stlykosti dlelektrichnih optichnih kabellv do roztyaguyuchih navantazhen" / Bondarenko O.V. // Naukovl pratsl Donetskogo natslionalnogo tehnichnogo unlvrsitetu. Seriya «Obchislyvalna tehnika ta avtomatizatsiya». Donec'k 2009. Vyp. 17 (148): 64-68.
3. Bondarenko O.V. "Doslidzhennja mehanichnoi' naprugi v dielektrychnomu samonesuchomu volokonno-optychnomu kabeli pid dijeju roztyaguval'nyh zusyl' ta temperatury" / O.V. Bondarenko, D.M. Stepanov, O.M. Vlasov, A.F. Nazarenko // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnichnogo universytetu. Serija: "Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija". Donec'k, 2011. Vyp. 20 (182): 174-179.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бондаренко О.В. Метод определения температурного коэффициента линейного расширения и модуля Юнга диэлектрического оптического кабеля / Бондаренко О.В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – (Серія: «Електротехніка і енергетика»). – Донецьк, 2009. – Вип. № 9 (158). – С. 25 – 29.
2. Бондаренко О.В. Розробка методу розрахунку стійкості діелектричних оптичних кабелів до розтягуючих навантажень / Бондаренко О.В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – (Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація»). – Донецьк, 2009. – Вип. 17 (148). – С. 64 – 68.
3. Бондаренко О.В. Дослідження механічної напруги в діелектричному самонесучому волоконно-оптичному кабелі під дією розтягувальних зусиль та температури / О.В. Бондаренко, Д.М. Степанов, О.М. Власов, А.Ф. Назаренко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – (Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація). – Донецьк, 2011. – Вип. 20 (182). – С. 174 – 179.

DOI: 10.33243/2518-7139-2019-1-2-30-36