

УДК 621.315:396

О.В. Бондаренко

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
кафедра волоконно-оптических линий связи
E-mail: vols@onat.edu.ua

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ДО РОЗТЯГУЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Abstract

Bondarenko O.V *Development of a method for calculating the stability of dielectric optical cables to a tensile load. The method intended for the calculation of dielectric optical cables immunity to the stretching tension force concerning maximal allowed stretching deformation of their structure has been developed.*

Keywords: *method of calculation, stretching efforts, dielectric fiber optic cable.*

Анотація

Бондаренко О.В. *Розробка методу розрахунку стійкості діелектричних оптичних кабелів до розтягуючих навантажень. Розроблено метод розрахунку стійкості діелектричних оптичних кабелів до розтягуючих навантажень по максимальній допустимій розтягуючій деформації їх конструкцій.*

Ключові слова: *методика розрахунку, розтягуючі зусилля, діелектричний оптичний кабель.*

Аннотация

Бондаренко О.В. *Разработка метода расчета стойкости диэлектрических оптических кабелей к растягивающим нагрузкам. Разработано метод расчета стойкости диэлектрических оптических кабелей к растягивающим нагрузкам по максимально допустимой растягивающей деформации их конструкций.*

Ключевые слова: *методика расчёта, растягивающие усилия, диэлектрический оптический кабель.*

В дійсний час питання розробки та випробування конструкцій оптичних кабелів (ОК) в країнах СНД та Україні, зокрема, досліджені не в повній мірі. Актуальність вирішення цих питань обумовлена необхідністю широкого впровадження на мережах зв'язку ОК різних конструкцій, що мають високу надійність і довговічність.

Однією із проблем конструювання ОК являється відсутність в Україні керівних нормативних документів, що регламентують методику розробки конструкцій ОК. Ця методика повинна включати цілий ряд окремих методик та передбачати ряд розрахунків, серед яких визначаючим являється розрахунок допустимого розтягуючого зусилля ОК.

Метою даної роботи являється розробка методу розрахунку механічної міцності діелектричних ОК по заданим розтягуючим деформаціям, що забезпечують відсутність небажаних змін характеристик оптичних волокон (ОВ) під час усього терміну експлуатації кабелю.

Різні конструкції ОК можуть забезпечувати допустимі розтягуючі навантаження завдяки центральному силовому елементу (ЦСЕ), периферійному силовому елементу (ПСЕ) чи їх комбінації.

В якості матеріалів силових елементів (СЕ) діелектричних ОК використовуються склопластикові прутки та арамідні нитки.

При цьому в роботі прийняті наступні припущення:

- склопластикові стержні працюють у межах пружної деформації;
- відносно видовження повзучості арамідних ниток в розрахунку розтягуючого навантаження ПСЕ не враховується.

Величина допустимого розтягуючого навантаження, яке забезпечено конструкцією ОК, визначається виразом [1]:

$$F_{\partial} = \sum_{i=1}^n E_i S_i \varepsilon_{mk} , \quad (1)$$

де F_{∂} — допустиме розтягуюче навантаження ОК, Н; E_i — модуль Юнга i -го елемента ОК, МПа; S_i — площа поперечного перерізу i -го елемента ОК, мм²; ε_{mk} — максимальне допустиме видовження ОК, %.

В інженерних розрахунках F_{∂} допускається визначати розтягуючими навантаженнями, які забезпечують ЦСЕ і ПСЕ. Розтягуючі навантаження, що можуть забезпечити решта елементів ОК являються незначними. Тому їх сумарне значення враховується, як правило, в якості технологічного запасу конструкції ОК по розтягуючим навантаженням.

Тому F_{∂} визначається виразом [2]:

$$F_{\partial} = F_{ЦСЕ} + F_{ПСЕ}, \quad (2)$$

де $F_{ЦСЕ}$ — розтягуюче навантаження, яке сприймається ЦСЕ склопластиковим стержнем, Н; $F_{ПСЕ}$ — розтягуюче навантаження, яке сприймається ПСЕ — арамідними нитками, чи склопластиковими стержнями, Н.

Розглянемо забезпечення конструкцією ОК розтягуючого навантаження діелектричними силовими елементами виходячи з досягнення кабелем граничного видовження, яке може виникнути під час його прокладки і експлуатації.

В якості прикладів використаємо ОК з різними силовими елементами (рис.1). Для цього при розрахунках F_{∂} його складові (2) визначаються в залежності від їх матеріалу.

В зв'язку з вище викладеним розглянемо метод розрахунку розтягуючих навантажень, які сприймають на себе СЕ ОК із різних діелектричних матеріалів.

Як правило, критерієм розрахунку розтягуючого навантаження ОК вважається досягнення його конструкцією видовження (деформації) ε_{mk} , при якій ОВ втрачають свободу переміщення в трубці оптичного модуля чи пазі профільованого осердя до певної допустимої величини $\varepsilon_{\partial\partial}$. В залежності від конструкції ОК величина ε_{mk} складає від 0,25 до 1 %. При такому видовженні ОК склопластикові стержні знаходяться у межах пружної деформації. Таким чином, розрахунок розтягуючого навантаження СЕ із склопластикового стержня F_{cn} проводиться виходячи з заданого досягнення оптичним кабелем граничного видовження ε_{mk} .

Навантаження, яке забезпечується склопластиковим стержнем ЦСЕ (F_{cn}) при видовженні кабелю на величину ε_{mk} , може визначитися за формулою:

$$F_{cn} = \frac{\varepsilon_{mk}}{\varepsilon_{cn}^p} \cdot F_{cn}^p , \quad (3)$$

де ε_{cn}^p — видовження склопластикового стержня при розриві, %; F_{cn}^p — навантаження при розриві склопластикового стержня, Н.

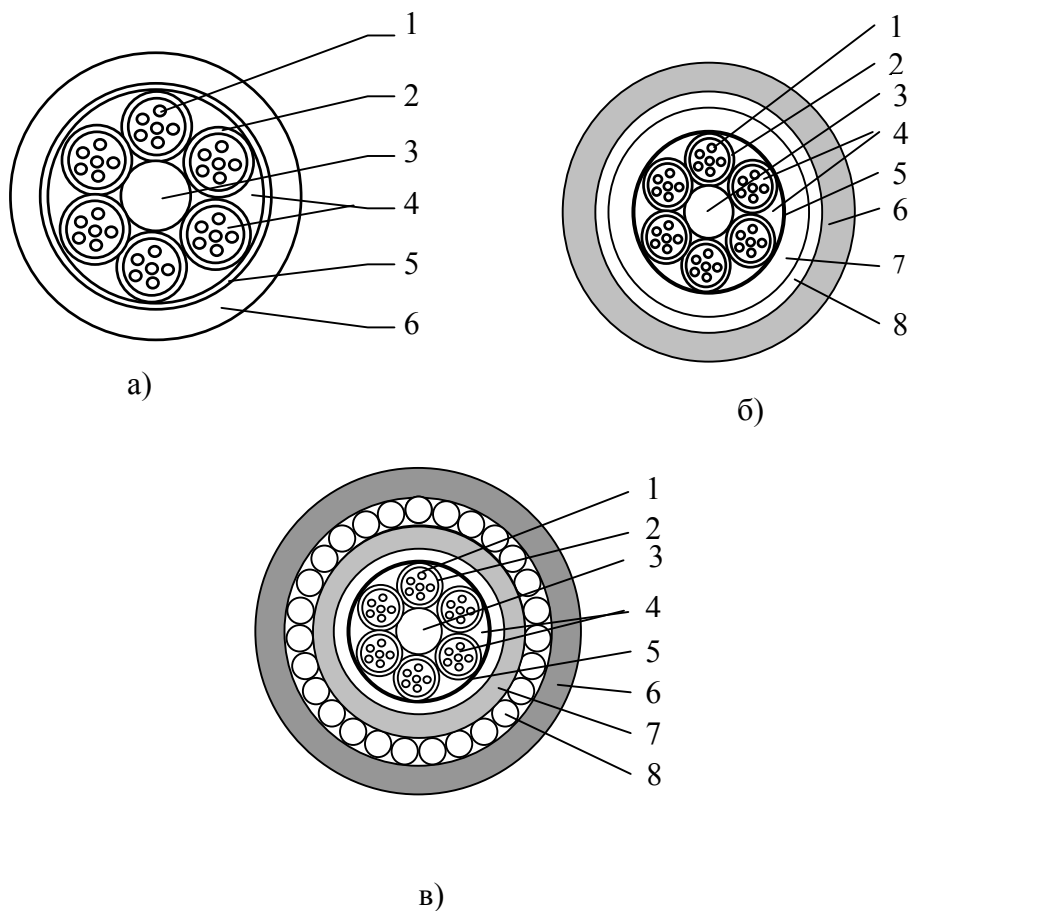


Рисунок 1 — Конструкція оптичних кабелів марок:

а) ОКЛ-3-Д1; б) ОКЛ-3-ДА1; в) ОКЛС-3-Д10;

1 — ОВ; 2 — трубка модуля; 3 — центральний силовий елемент; 4 — заповнюючий компаунд; 5 — скріплюючий елемент; 6 — захисний шланг з ПЕ; 7 — ПЕ оболонка; 8 — периферійний силовий елемент (арамідні нитки чи склопластиковий стержень)

Навантаження при розриві склопластикового стержня розраховується за формулою:

$$F_{cn}^p = S_{cn} \cdot \sigma_{cn}^p, \tag{4}$$

де S_{cn} — площа поперечного перерізу склопластикового стержня, мм^2 ; σ_{cn}^p — границя міцності при розтягуванні склопластикового стержня (розривна міцність), МПа.

В нормативній документації на склопластикові стержні ε_{cn}^p різних фірм складає від 2,5 до 3 %, а величина σ_{cn}^p — від 900 до 1500 МПа [1,2].

При наявності в конструкції ОК ПСЕ із n склопластикових стержнів, розташованих концентрично, розрахунок $F_{ПСЕ}$ виконується за виразом [1]:

$$F_{ПСЕ(СП)} = \frac{n \cdot F_{СП}}{\sin \beta_1}, \tag{5}$$

де $F_{ПСЕ(СП)}$ — розтягуюче навантаження одноповивного ПСЕ, Н; β_1 — кут скрутки склопластикових стержнів, град.

Цей кут скрутки визначається за виразом [1]:

$$\beta_1 = \arctg \frac{h_1}{2\pi R_1}, \quad (6)$$

де h_1 — крок скрутки склопластикових стержнів, мм; R_1 — радіус скрутки склопластикових стержнів, мм.

При наявності в конструкції ПСЕ декількох повивів склопластикових стержнів їх сумарне розтягуюче навантаження $F_{\Sigma ПСЕ(СП)}$ визначається за виразом:

$$F_{\Sigma ПСЕ(СП)} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i \cdot F_{cni}}{\sin \beta_i}, \quad (7)$$

де F_{cni} — розтягуюче навантаження склопластикового стержня i -го повиву, Н; n_i — кількість склопластикових стержнів в i -му повиві; β_i — кут скрутки склопластикових стержнів i -го повиву.

Для розрахунку розтягуючого навантаження ПСЕ ($F_{ПСВ(Н)}$), яке забезпечується за допомогою арамідних ниток, необхідно знати площу арамідних ниток повиву, які використовуються в кабелі, значення їх модуля Юнга і максимальне допустиме видовження кабелю. Тоді $F_{ПСВ(Н)}$ буде дорівнювати:

$$F_{ПСВ(Н)} = E \cdot S_H \cdot \varepsilon_{mk}, \quad (8)$$

де $F_{ПСВ(Н)}$ — розтягуюче зусилля, яке забезпечують арамідні нитки повиву, Н; S_H — площа ниток, мм²; E — модуль Юнга арамідних ниток, МПа.

Площа ниток визначається за формулою:

$$S_H = \frac{LD}{\rho} \cdot n \cdot 10^{-4}, \quad (9)$$

де S_H — площа ниток, мм²; LD — лінійна густина однієї нитки, дтекс; ρ — густина арамідних ниток, г/см³; n — кількість арамідних ниток у повиві, шт.

Розтягуюче навантаження, яке забезпечують n ниток повиву накладені на осердя ОК під кутом β_1 визначаються виразом:

$$F_{ПСВ(Н)\beta_1} = \frac{F_{ПСВ(Н)}}{\beta_1}. \quad (10)$$

При наявності в ПСЕ декількох повивів ниток сумарне розтягуюче навантаження $F_{\Sigma ПСЕ(Н)}$ визначається за виразом:

$$F_{\Sigma ПСЕ(Н)} = \sum_{i=1}^m \frac{F_{ПСВ(Н)i}}{\sin \beta_i}, \quad (11)$$

де $F_{ПСВ(Н)i}$ — розтягуюче навантаження ниток i -го повиву ПСЕ, Н; β_i — кут скрутки арамідних ниток i -го повиву, град; m — кількість повивів в ПСЕ.

В даній роботі в якості прикладу були визначені розтягуючі навантаження різних конструкцій діелектричних ОК, приведених на рис.1. У всіх конструкціях розтягуюче навантаження визначалося при $\varepsilon_{mk} = 0,7\%$ та при ЦСЕ із склопластикового стержня фірми «ІРТ» діаметром 2,7 мм. В конструкціях ОК марки ОКЛ-3-ДА1, в якості ПСЕ було використано 12 ниток із Тварону типу 1052 фірми «Acordis Twaron Product», а марки ОКЛС-3-Д10 — 18 склопластикових стержнів фірми «ІРТ» діаметром 2 мм.

В табл.1 приведені основні характеристики матеріалів СЕ кабелів [1,2], а в табл.2 — результати розрахунків $F_{ЦСЕ}$, $F_{ПСЕ}$ та F_{∂} .

Таблиця 1 — Основні технічні характеристики матеріалів силових елементів ОК

Параметр	Одиниця виміру	Матеріал	
		склопластиковий стержень фірми «ІРТ»	арамідні нитки Тварон 1052 фірми «Acordis Twaron Product»
щільність	г/см ²	2,1	1,45
видовження при розриві	%	> 2,5	2,00
модуль пружності	ГПа	> 50,0	107,00
границя міцності при розтягуванні	МПа	1400±100	2900,00
лінійна щільність	дтекс	—	2625,00

Таблиця 2 — Результати розрахунків розтягуючи навантажень $F_{ЦСЕ}$, $F_{ПСЕ}$ та F_{ϕ} різних конструкцій ОК

Тип кабелю	Значення розтягую чого навантаження, Н		
	$F_{ЦСЕ}$	$F_{ПСЕ}$	F_{ϕ}
ОКЛ-3-Д1	2242	—	2242
ОКЛ-3-ДА1	2242	1632	3874
ОКЛС-3-Д10	2242	22156	24398

Таким чином, згідно до розробленого методу, проведені розрахунки стійкості ОК трьох конструкцій до розтягуючих навантажень, які забезпечуються різними діелектричними силовими елементами із склопластикових стержнів і арамідних ниток Тварон (фірми «ІРТ» та «Acordis Twaron Product», відповідно) показали, що:

- конструкції кабелів ОКЛ-3-Д1 з ЦСЕ із склопластикового стержня і ОКЛ-3-ДА1 з ЦСЕ із склопластикового стержня та ПСЕ із арамідних ниток Тварон забезпечують допустиме розтягуюче навантаження від 2 до 4 кН;
- конструкція кабелю ОКЛС-3-Д10 з ЦСЕ та ПСЕ із склопластикових стержнів різного діаметра забезпечують допустиме розтягуюче навантаження близько 24 кН.

Висновки

- 1 В даній роботі розроблено метод розрахунку стійкості діелектричних ОК до розтягуючого навантаження, яке сприймають на себе їх силові елементи із склопластикових стержнів і арамідних ниток Тварон.
- 2 Представлений метод розрахунку стійкості діелектричних ОК до розтягуючих навантажень може бути використаний в кабельній промисловості при розробці керівного нормативного документу по конструюванню ОК.

Література

1. 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.
2. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению. / Ларин Ю.Т. — М.: Престиж, 2006.

Здано в редакцію:
24.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.