

**МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОМОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ОСЕРДЯ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ**

**МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ
СЕРДЕЧНИКА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ**

METHOD OF OPTIMIZATION OF OPTIC CABLE MULTI-MODULAR CORE DESIGN

Анотація. Наведено метод оптимізації багатомодульної конструкції осердя оптичних кабелів та проведено розробку кількох їх моделей на 144, 216 та 288 оптичних волокон. Надана рекомендація з послідовності вибору конструктивних елементів осердя багатомодульних оптичних кабелів.

Аннотация. Приведен метод оптимизации многомодульной конструкции сердечника оптических кабелей и проведено разработку некоторых их моделей на 144, 216 и 288 оптических волокон. Дана рекомендация по последовательности выбора конструктивных элементов сердечника многомодульных оптических кабелей.

Summary. Given the method of optimization a multi-core optical cable construction and development of carried out some of their models for 144, 216 and 288 optical fibers. The recommendation of the selection sequence of structural elements of the core multi-modular optical cables are made.

Нині оптичні кабелі (ОК) отримали широке застосування на транспортних телекомунікаційних мережах зв'язку та на мережах абонентського доступу, і сприяють передачі заданого числа каналів на певні відстані. Як відомо, для передачі сигналів в певних напрямках та на задані відстані необхідно використовувати оптичні кабелі із заданим числом оптичних волокон (ОВ), що забезпечить велику пропускну інформаційну здатність для більшого числа працюючих волоконно-оптичних систем передачі.

На сьогодні для вирішення проблеми забезпечення пропускну здатності лінії зв'язку, як правило, виробляються ОК модульного типу (повивного скручення), що містять невелике число (до 12) одномодових волокон з малим затуханням, а кабелі для розподільних мереж – до 144 волокон як одномодових, так і багатомодових залежно від відстаней між сегментами мережі. Волокна в маловолоконних ОК поміщаються в оптичні модулі (ОМ) різного діаметра, що заповнені гідрофобним заповнювачем. У такому ОК осердя містить зазвичай від 2 до 12 ОМ або ОМ та певну кількість заповнювальних елементів (ЗЕ), які спіралью укладаються навколо центрального силового елемента (ЦСЕ), що виготовляється зі склопластикового стержня або сталевого троса в поліетиленовій оболонці. Діаметр ЦСЕ залежить від кількості елементів першого повиву осердя.

Особливе місце в кабельній техніці займають ОК багатомодульної конструкції та конструкції з профільованим осердям, які містять достатньо велике число ОВ (до 1000) [1]. Такі ОК можуть застосовуватися для побудови оптичних мереж абонентського доступу та забезпечення інтеграції технологій «волокно в дім» та «волокно в квартиру» [1, 2].

Проте в даний час в Україні відсутні керівні нормативно-технічні документи та наукові публікації для розробки конструкцій ОК, а існуючі матеріали є «ноу-хау» фірм-виробників. Тому методи, методики та методичні аспекти розрахунку та оптимізації параметрів конструкцій ОК, вибору матеріалів їх елементів є надто актуальними і необхідними.

Метою даної статті є обґрунтування методу оптимізації багатомодульної конструкції ОК на прикладі розробки осердя оптичного кабелю на 144, 216 та 288 ОВ.

Розробка конструкції ОК проводиться, в першу чергу, шляхом вибору моделі кабелю, його складових елементів та розрахунку максимально допустимого розтягувального навантаження F_k , і відповідності його очікуваним значенням [2, 3].

Допустиме розтягувальне навантаження F_k , яке забезпечуються лише силовими елементами (СЕ) (центральним та периферійним (ПСЕ) елементами у вигляді відповідно склопластикового стержня та арамідних ниток) можна визначити за виразом [3]

$$F_k = F_{ЦСЕ} + F_{ПСЕ} = \varepsilon_{дк} E_{сп} S_{ЦСЕ} + \frac{\varepsilon_{дк}}{\sin \beta} E_{ан} S_{ПСЕ}, \quad (1)$$

де $F_{\text{ЦСЕ}}, F_{\text{ПСЕ}}$ – розтягувальні навантаження, які можуть бути забезпечені ЦСЕ та ПСЕ відповідно, Н; $\varepsilon_{\text{дк}}$ – допустиме відносне видовження кабелю; $E_{\text{сп}}, E_{\text{ан}}$ – модуль пружності (модуль Юнга) склопластику та арамідних ниток відповідно, Н/мм²; $S_{\text{ЦСЕ}}, S_{\text{ПСЕ}}$ – площа поперечного перетину ЦСЕ та ПСЕ відповідно, мм²; β – кут укладання елементів ПСЕ, рад.

Вирази розрахунку $S_{\text{ЦСЕ}}$ та $S_{\text{ПСЕ}}$, що представлені у вигляді склопластикового стержня та повиву арамідних ниток, наведено в [3].

Розрахунок допустимого розтягувального навантаження $F_{\text{к}}$, яке забезпечується силовими елементами та іншими елементами кабелю, проводиться за виразом:

$$F_{\text{к}} = \varepsilon_{\text{дк}} E_{\text{ф}} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

де $F_{\text{к}}$ – допустиме розтягувальне навантаження ОК, Н; $\varepsilon_{\text{дк}}$ – допустиме відносне видовження кабелю; $E_{\text{ф}}$ – фіктивний модуль пружності ОК, Н/мм²; n – кількість елементів конструкції ОК; S_i – площа поперечного перетину i -го елемента ОК, мм².

Як відомо, оптичні волокна в трубках ОМ та пазах профільованого осердя (ПО) розташовуються по гелікоїді внаслідок усадки матеріалів трубки та ПО при виготовленні кабелю.

Розрахунок допустимого відносного видовження ОК тільки з урахуванням подовження уздовж його осі до початку прикладання механічних напруг до ОВ проводиться за виразом [3, 4]:

$$\varepsilon_{\text{дк}} = -1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{h^2} \cdot \left(\frac{2\Delta R}{R} - \frac{\Delta R^2}{R^2} \right)}, \quad (3)$$

де R – радіус спірального укладання ОМ навколо ЦСЕ, мм; ΔR – відстань між ОВ (або пучком ОВ) і внутрішньою поверхнею стінки ОМ, мм; h – крок спірального укладання елементів (ОМ або ЗЕ) осердя навколо ЦСЕ, мм.

Величини R та ΔR можна визначити за формулами [5]

$$R = \frac{d_{\text{ЦСЕ}} + d_{\text{ОМ}}}{2}; \quad \Delta R = \frac{d_{\text{ОМ}} - 2\Delta t_{\text{ОМ}} - d_{\text{СОВ}}}{2}, \quad (4)$$

де $d_{\text{ОМ}}$ – зовнішній діаметр ОМ, мм; $\Delta t_{\text{ОМ}}$ – радіальна товщина стінки трубки ОМ, мм; $d_{\text{СОВ}}$ – діаметр пучка оптичних волокон в ОМ, мм; $d_{\text{ЦСЕ}}$ – діаметр ЦСЕ, мм.

За такого допустимого відносного видовження ОК $\varepsilon_{\text{дк}}$ механічне навантаження до ОВ ще не прикладається, і, таким чином, забезпечується стабільність його передавальних характеристик, а також механічна стійкість всього кабелю. Як правило, значення $\varepsilon_{\text{дк}}$ знаходиться в межах (0,25...0,7) % [6].

При подальшому розтягуванні ОК вздовж осі оптичне волокно починає витягуватися (випрямлятися) із гелікоїди в трубці оптичного модуля до прямої лінії та прямувати до внутрішньої поверхні стінки ОМ, оберненої до ЦСЕ. Подальше видовження ОВ понад $\varepsilon_{\text{дк}}$ є допустимим до значення допустимого відносного видовження ОВ $\varepsilon_{\text{дОВ}} = 0,25$ % [3].

Розрахунок максимального допустимого відносного видовження кабелю з урахуванням допустимого відносного видовження ОВ проводиться за виразом

$$\varepsilon_{\text{мк}} = \varepsilon_{\text{дк}} + \varepsilon_{\text{дОВ}}, \quad (5)$$

де $\varepsilon_{\text{дОВ}}$ – допустиме відносне видовження ОВ.

Діаметр трубки оптичного модуля $d_{\text{ОМ}}$ потрібно вибирати виходячи з вимог до величини допустимого відносного видовження ОК, оскільки останнє залежить від величини відстані між оптичним волокном (або пучком ОВ) та внутрішньою поверхнею стінки трубки ОМ. Так, використовуючи (3) та (4), після перетворень отримаємо квадратне рівняння

$$d_{\text{ОМ}}^2 (2p - 1) ((2p - 1) + 2k) - 2d_{\text{ОМ}} d_{\text{СОВ}} (1 - k - 2p) + \frac{((\varepsilon_{\text{дк}} + 1)^2 - 1)h^2}{\pi^2} + d_{\text{СОВ}}^2 = 0, \quad (6)$$

де d_{OM} – діаметр ОМ, мм; p – коефіцієнт, що враховує товщину стінки ОМ, $p = (0,15...0,2)$; k – коефіцієнт, що залежить від кількості елементів (ОМ або ЗЕ) в першому повиві кабелю; $d_{\Sigma OB}$ – діаметр пучка ОВ, що розміщується в трубі ОМ; ε_{dk} – допустиме відносне видовження кабелю; h – крок спірального укладання елементів навколо ЦСЕ, мм.

Враховуючи [6], коефіцієнт k можливо визначити для різної кількості елементів у повиві ОК виходячи із прямопропорційної залежності $d_{ЦСЕ}$ від d_{OM} . Значення коефіцієнта k при кількості елементів у першому повиві ОК від 3 до 12 наведені в табл. 1 [5].

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта k , що залежить від кількості елементів у першому повиві ОК

Кількість елементів в першому повиві	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значення коефіцієнта k	1,155	1,414	1,701	2,000	2,305	2,613	2,924	3,236	3,549	3,864

На практиці часто [6, 7] застосовують, як правило, п’яти- або шестимодульні конструкції ОК з діаметрами модулів 2,5; 2,7 і 3,0 мм та рідше з діаметрами 1,8; 2,0 мм. Згідно з [7], рекомендована кількість волокон, які розміщені в ОМ з діаметром модульної трубки, наприклад, 3,0 мм, дорівнює 12. Проте, можливо розміщати й більшу кількість ОВ в ОМ, але при цьому буде зменшуватися величина допустимого відносного видовження кабелю. При цьому для забезпечення очікуваного значення поздовжніх розтягувальних навантажень F_k необхідно буде в конструкції кабелю застосовувати більшу кількість, наприклад, арамідних ниток.

Зменшення значення допустимого відносного видовження кабелю при збільшенні кількості ОВ в ОМ обумовлене обмеженням у пересуванні ОВ усередині оптичного модуля.

Внутрішній діаметр ОМ $d_{внОМ}$ можна визначити за виразом

$$d_{внОМ} = d_{ОМ} - 2\Delta t_{ОМ} \quad (7)$$

В роботі [5] були розраховані значення діаметрів пучків ОВ в залежності від $d_{внОМ}$ при діаметрі волокна в захисному покритті, що дорівнює 255 мкм. Враховуючи [6, 7] представимо дані щодо геометричних параметрів ОМ з діаметрами від 1,8 до 3,0 мм та пучків з різною кількістю ОВ (табл. 2).

Таблиця 2 – Геометричні параметри ОМ та пучків ОВ

Геометричні параметри ОМ						
Діаметр ОМ $d_{ОМ}$, мм	1,8	2,0	2,5	2,7	3,0	
Радіальна товщина стінки ОМ $\Delta t_{ОМ}$, мм	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	
Внутрішній діаметр ОМ $d_{внОМ}$, мм	1,2	1,4	1,8	2,0	2,2	
Геометричні параметри пучків ОВ						
Кількість ОВ в пучку	2	4	6	8	12	16
Діаметр пучка $d_{\Sigma OB}$, мм (для $d_{OB} = 255$ мкм)	0,510	0,615	0,765	1,059	1,059	1,199

З наведених у табл. 2 даних чітко видно яку максимальну кількість оптичних волокон можна розмістити в ОМ з певним діаметром.

Таким чином, розробка одноповивної конструкції ОК, наприклад, на 144 ОВ можлива при використанні 9-ти ОМ з діаметром $d_{ОМ} = 3$ мм. Проте при цьому діаметр ЦСЕ повинен складати 5,8 мм (на відміну від значення $d_{ЦСЕ} = 2,7$ мм, що зазвичай використовуються при виробництві [7, 8]), що є, очевидно, економічно не вигідним через значні витрати матеріалу на нього, збільшення діаметра ОК і, отже, значної витрати матеріалів на решту їх елементів. Крім того, гнучкість кабелю за такої конструкції викликатиме певні труднощі при його інсталяції.

Задачу розробки багатомодульних конструкцій ОК зі значною кількістю ОВ можна розв’язати застосовуючи багатоповивну структуру осердя оптичних кабелів, тобто розташовувати оптичні

модулі (елементи) послідовно концентричними шарами (повивами) навколо ЦСЕ. Суміжні повиви повинні спірально укладатися в протилежні сторони з метою надання кабельному осердю більшої механічної стійкості, а також для полегшення монтажу кабелів. При повивному спіральному укладанні кількість ОМ в кожному подальшому повиві збільшується на шість порівняно з попереднім згідно з правилом «шестірки» [4].

Структуру осердя багатомодульних багатоволоконних ОК, наприкладі триповивного осердя кабелю, показано на рис. 1.

Осердя багатомодульного кабелю вмщатиме у собі ОМ, кількість яких в кожному повиві залежатиме від геометричних розмірів ЦСЕ [1]. Кількість ОМ повинна вибиратися з умови повного допустимого заповнення всіх трубок модулів оптичними волокнами та виходячи з його розміру шляхом поділу необхідної кількості всіх ОВ, що поміщаються в ОК, на максимально допустиму кількість волокон, що розміщуються в трубці модуля.

Слід зазначити, що в класичній повивній конструкції кабелю можливі кілька варіантів розміщення елементів (ОМ та ЗЕ) в повивах. Так, кількість елементів в першому повиві визначається діаметром ЦСЕ. Кількість елементів в наступних повивах визначається з числа елементів в попередніх за правилом «шестірки». Отже, величина діаметра ЦСЕ визначає кількість елементів в кожному повиві. Крім того, кожен повив елементів осердя ОК має свій радіус спірального укладання навколо ЦСЕ, що визначає величину допустимого відносного видовження цього повиву.

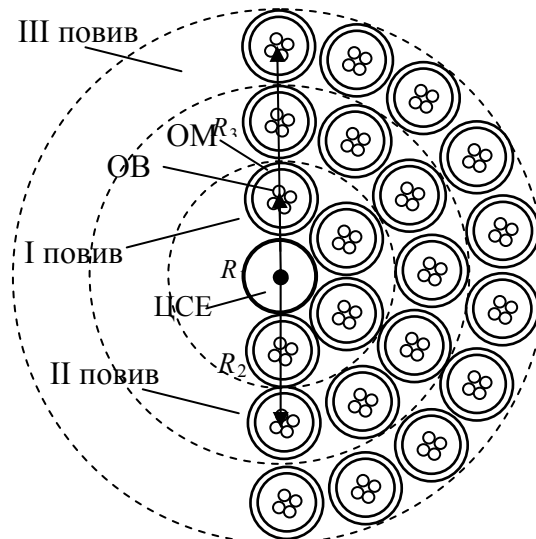


Рисунок 1 – Спіральне укладання ОМ навколо ЦСЕ в осерді багатоповивних ОК

В даній роботі проведено розробку кількох моделей багатоповивних оптичних кабелів на 144, 216 та 288 ОВ. Запропоновані моделі осердя цих ОК конструктивно відрізняються кількістю ОВ, повивів та діаметрами ОМ (табл. 3).

Для оцінки величини механічної міцності кабелів, що розроблюються, за виразами (1), (3), (4) були розраховані значення поздовжнього відносного видовження $\epsilon_{дк}$ за його повивами та максимально допустиме розтягувальне навантаження F_k . За даними розрахунками було прийнято: крок спірального укладання елементів першого повиву $h = 90$ мм, модуль Юнга склопластикових стержнів $E_{сп} = 50000$ Н/мм², модуль Юнга арамідних ниток $E_{ан} = 104000$ Н/мм², кількість арамідних ниток типу «Тварон D1052 8050» в повиві ПСЕ – 18, щільність та лінійна щільність арамідних ниток відповідно 1,45 г/см³ та 8750 дтекс.

Таблиця 3 – Моделі розроблених багатомодульних ОК на 144, 216 та 288 ОВ

Параметр елементів осердя ОК		№ моделі			
		1	2	3	4
Кількість ОВ в ОК		144	216	288	288
Діаметр ЦСЕ $d_{\text{ЦСЕ}}$, мм		1,8	2,0	2,5	3,0
Діаметр ОМ, $d_{\text{ОМ}}$, мм		1,8	2,0	2,5	3,0
Максимальна кількість ОВ в ОМ $n_{\text{ОВ}}$		4	6	8	16
Діаметр осердя, мм		17,1	18,5	22	19,5
Кількість елементів	в I повиві	6 ОМ	6 ОМ	6 ОМ	6 ОМ
	в II повиві	12 ОМ	12 ОМ	12 ОМ	12 ОМ
	в III повиві	18 ОМ	18 ОМ	18 ОМ	–
Кількість ОВ	за I повивом	$6 \times 4 = 24$	$6 \times 6 = 36$	$6 \times 8 = 48$	$6 \times 16 = 96$
	за II повивом	$12 \times 4 = 48$	$12 \times 6 = 72$	$12 \times 8 = 96$	$12 \times 16 = 192$
	за III повивом	$18 \times 4 = 72$	$18 \times 6 = 108$	$18 \times 8 = 144$	–
Відносне видовження кабелю $\varepsilon_{\text{дк}}$, %	за I повивом	0,23	0,28	0,41	0,67
	за II повивом	0,48	0,59	0,86	1,40
	за III повивом	0,74	0,89	1,30	–
Максимально допустиме розтягувальне навантаження кабелю $F_{\text{к}}$, Н		2915	3062	3628	4989

Як видно з результатів розрахунку, наведених у табл. 3, відносні видовження ОК за першими повивами усіх розроблених моделей менші, ніж відносні видовження наступних повивів. Більше значення максимального видовження наступних після першого повивів обумовлене більшим радіусом вигину оптичного модуля, що створює більшу надлишкову довжину ОВ в ОМ та одночасно потребує більших витрат їх матеріалів.

Аналіз результатів розрахунків моделей розроблених багатомодульних ОК показав, що забезпечення максимального відносного видовження ОК при радіусах спірального укладання R від 1,8 до 3,0 мм для наступних після першого повивів є недоцільним. Це призводить до більшого розрахункового значення $F > F_{\text{доп}}$ та значних матеріальних витрат, в першу чергу, на СЕ кабелю.

Тому розрахунок допустимого розтягувального навантаження $F_{\text{доп}}$ необхідно проводити за параметрами першого повиву ОК.

Задля зменшення витрат матеріалів елементів кабелю у наступних після першого повивах пропонується збільшувати крок спірального укладання елементів h_i (при $i > 1$) цих повивів навколо попереднього. При виборі h_i слід прийняти значення відносного видовження повиву, рівного ε_1 першого повиву. При цьому зменшуються довжини ОВ та ОМ цих повивів, що вказує на зменшення витрат на їх матеріали.

Розрахунок кроку спірального укладання елементів i -го повиву при відомому значенні відносного видовження кабелю за першим повивом ε_1 проводиться за формулою, отриманою аналітично з виразу (3)

$$h_{i\text{пов}} = \sqrt{\frac{4\pi^2}{(\varepsilon_1 + 1)^2 - 1} (2R_i \Delta R - \Delta R^2)}, \quad (8)$$

де $h_{i\text{пов}}$ – крок спірального укладання елементів i -го повиву, мм; ε_1 – відносне видовження кабелю за першим повивом; R_i – радіус спірального укладання елементів i -го повиву, мм; ΔR – відстань між пучком ОВ та внутрішньою поверхнею стінки ОМ, мм.

Як приклад, за формулою (8) були розраховані кроки спірального укладання елементів другого та третього повивів розглянутих чотирьох моделей осердя багатоповивного ОК при значеннях R від 1,8 до 3,0 мм, результати яких наведені в табл. 4.

Як видно з проведених розрахунків кроків спірального укладання повивів, наведених в табл. 4, для отримання необхідного відносного видовження ОК необхідно збільшувати крок спірального

укладання його елементів у наступних після першого повивах. Порівняно з h_1 за першим повивом крок спірального укладання елементів наступних повивів h_i може збільшуватися понад 45 %.

Таблиця 4 – Результати розрахунку кроку спірального укладання елементів другого та третього повивів багатоповивного ОК

Параметри осердя ОК		№ моделі			
		1	2	3	4
Відносне видовження кабелю $\epsilon_{\text{дк}}$, %	за I повивом	0,23	0,28	0,41	0,67
	за II повивом	0,48	0,59	0,86	1,40
	за III повивом	0,74	0,89	1,30	–
Крок спірального укладання h , мм	за I повивом	90			
	за II повивом	131	131	131	130
	за III повивом	162	161	161	–

Крім того, для визначення оптимальної за механічними та геометричними характеристиками моделі осердя ОК, необхідно враховувати технічні характеристики навивного обладнання, в першу чергу, за кроком спірального укладання елементів.

Отже, розробка багатоповивної конструкції осердя кабелів за величиною поздовжнього навантаження повинна визначатися геометричними параметрами першого повиву з корегуванням (збільшенням) кроку спірального укладання елементів інших повивів [9].

Таким чином, для розробки модульної конструкції багатоповивних ОК за допустимими поздовжніми навантаженнями пропонується наступна рекомендація з вибору конструктивних елементів осердя кабелів:

1. Вибрати кількість ОВ, що буде розміщуватися в кабелі $n_{\text{ОВ}}$.
2. Виходячи з загальної кількості ОВ $n_{\text{ОВ}}$ та максимальної заповнюваності ОМ, розробити передбачувані моделі кабелю.
3. Задатися конструктивними параметрами чергової моделі ОК (типом та розмірами силових елементів, діаметром та радіусом спірального укладання ОМ, кількістю оптичних модулів та ЗЕ, кількістю повивів).
4. Розрахувати кількість ОВ, що поміщаються в трубі одного ОМ.
5. Розрахувати величину допустимого відносного видовження кабелів $\epsilon_{\text{дк}}$ за укладанням першого повиву за формулою (3).
6. Виходячи зі значення відносного видовження ОК за укладанням ОМ першого повиву розрахувати крок спірального укладання елементів інших повивів за формулою (8).
7. Розрахувати величину максимально допустимого розтягувального навантаження кабелю та перевірити її відповідність очікуваним значенням.
8. У разі невідповідності максимально допустимого розтягувального навантаження кабелю очікуваним значенням необхідно повернутися до п. 3.

Результати досліджень, виконаних в даній роботі дозволили дійти таких висновків:

1. В даній роботі наведено метод оптимізації багатомодульної конструкції осердя оптичних кабелів, що можуть застосовуватися на оптичних мережах абонентського доступу. Як приклад, проведено розробку багатомодульних конструкцій осердя ОК на 144, 216 та 288 ОВ.
2. В ході оптимізації багатомодульних конструкцій осердя оптичних кабелів встановлено, що розрахунок їх механічної міцності потрібно проводити за геометричними параметрами першого повиву з подальшим перерахунком (збільшенням) кроку спірального укладання елементів інших повивів задля зменшення матеріаломісткості ОК.
3. Наведений метод оптимізації осердя багатоповивного ОК модульної конструкції може бути використаний в кабельній промисловості для оптимального вибору та розрахунку конструктивних елементів кабелів мереж абонентського доступу та зменшення їх матеріаломісткості.

Література

1. Бондаренко О.В. Внутриобъектовые оптические кабели / О.В. Бондаренко, Д.В. Иоргачев, Л.П. Мурадьян // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001. – Вып. № 4 – 5. – С. 23 – 29.
2. Бондаренко О.В. Особливості розробки багатоповивних оптичних кабелів / О.В. Бондаренко, Д.М. Степанов // 63-тя наук.-тех. конф. проф.-викл. складу, науковців, аспірантів та студентів, 26 лис. – 02 груд. 2008 р.: тези доп. – Одеса, 2009. – С. 13 – 15.
3. Бондаренко О.В. Розробка методу розрахунку стійкості діелектричних оптичних кабелів до розтягуючих навантажень / О.В. Бондаренко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк, 2009. – Вып. 17(148). – С. 64 – 68.
4. Мальке Г. Волоконно-оптические кабели: Основы проектирования кабелей, планирование систем / Г. Мальке, П. Гессинг. – Новосибирск: Издатель, 1997. – 264 с.
5. Bondarenko O.V. / Technique of determination of modules tube diameter and possible lengthening of optical cables construction / O.V. Bondarenko, D.M. Stepanov, O.M. Stastchuk // Фотоелектроніка. – 2011. – Вып. 20. – С. 76 – 80.
6. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация: монографія / [Д.В. Иоргачев, О.В. Бондаренко, А.Ф. Дашенко, А.В. Усов]. – Одесса: Астропринт, 2000.
7. Кабелі зв'язку оптичні для магістральних, зонових та міських мереж зв'язку. Технічні умови. ТУ-У 05758730.007-97: 1997. – [Чинні від 1997-12-10]. – Одеса.: УРУ Держстандарту Одеський центр стандартизації і метрології 1997. – 69 с.: табл. 12. – (Технічні умови ВАТ «Одескабель»).
8. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: Методы расчета конструкции. Материалы. Надежность по ионизирующему излучению / Ларин Ю.Т. – М.: Престиж, 2006.
9. Бондаренко О.В. Последовательность выбора конструкции элементов оптического кабеля / О.В. Бондаренко, Н.В. Захарченко, Д.Н. Степанов // Сенсорна електроніка «Сенсор-2009»: наук.-прак. конф., 1 – 4 чер. 2009 р.: тези доп. – Одеса, 2009. – С. 23 – 24.