

УДК 621.315.2

**ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОМОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ОСЕРДЯ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ СОБІВАРТОСТІ**

Бондаренко О.В., Степанов Д.М., Ромащенко В.В., Боярова А.А.

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

65029, Україна, Одеса, вул. Ковальська, 1

vols@onat.edu.ua

**ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ
СЕРДЕЧНИКА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ
СЕБЕСТОИМОСТИ**

Бондаренко О.В., Степанов Д.М., Ромащенко В.В., Боярова А.А.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,

65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1

vols@onat.edu.ua

**OPTIMIZATION OF MULTI-MODULE DESIGN OF THE
OPTICAL CABLE CORE BY CRITERION OF MINIMUM COST**

Bondarenko O.V., Stepanov D.M., Romaschenko V.V., Boyarova A.A.

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,

1 Kovalska st., Odessa, 65029, Ukraine

vols@onat.edu.ua

Анотація. В даній роботі проведено дослідження щодо оптимізації багатомодульної конструкції осердя двоповивного оптичного кабелю на 144 ОВ за критерієм мінімальної собівартості. Для досягнення поставленої мети запропоновано два шляхи зміни значень параметрів елементів другого повиву – збільшення кроку спірального укладання та зменшення діаметра трубок оптичних модулів. За результатами проведених досліджень встановлено, що зменшення собівартості оптичних кабелів порівняно з неоптимізованою конструкцією за рахунок збільшення кроку спірального укладання елементів другого повиву становить 0,88 %, а за рахунок зменшення діаметра трубок оптичних модулів у другому повиві – на 8,75 %.

Ключові слова: оптичний кабель, собівартість, конструктивні елементи, геометричні розміри, трубка оптичного модуля, маса, ціна.

Аннотация. В данной работе проведено исследование по оптимизации многомодульной конструкции сердечника двоповивного оптического кабеля на 144 ОВ по критерию минимальной себестоимости. Для достижения поставленной цели предложено два пути изменения значений параметров элементов второго повива – увеличение шага спиральной укладки и уменьшения диаметра трубок оптических модулей. По результатам проведенных исследований было установлено, что уменьшение себестоимости оптических кабелей по сравнению с не оптимизированной конструкцией за счет увеличения шага спиральной укладки элементов второго повива составляет 0,88%, а за счет уменьшения диаметра трубок оптических модулей во втором повиве – на 8,75%.

Ключевые слова: оптический кабель, себестоимость, конструктивные элементы, геометрические размеры, трубка оптического модуля, масса, цена.

Abstract. In this work a study was carried out to optimize a multi-module core construction of double-layer optic cable on 144 optical fiber by criterion of minimum cost. To achieve the goal proposed two ways to change the values of the elements parameters of the second layer – increasing of helix packing step and decreasing of the tube diameter of the optical modules. The results of the research it was found that the decreasing of the cost of optic cables comparing to non-optimized design due to increasing of helix packing step of elements of the second layer is 0,88%, and by reducing the diameter of the optical modules tubes in the second layer – 8,75%.

Key words: optical cable, cost of construction elements, geometrical dimensions, tube optical module, weight and price.

Економічний розвиток країни повинен супроводжуватися стабільним підвищенням конкурентоспроможності політики в галузі виробництва новітньої якісної промислової

продукції. Це вимагає постійного удосконалення організації технологічних процесів, а також проведення необхідних наукових досліджень на етапі розробки виробу з одночасним розв'язанням задачі мінімізації економічних витрат на його виробництво.

Одним із важливих виробів виробництва засобів для галузі зв'язку є оптичний кабель (ОК). Його використання у сфері телекомунікаційних послуг дозволяє задовольнити вимоги споживачів по забезпеченню доступу до високошвидкісних інформаційних пристроїв волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП), інтернету, операторів кабельного телебачення та інше.

Для забезпечення необхідної пропускної здатності транспортних телекомунікаційних мереж зв'язку в Україні, як правило, виробляються ОК модульного типу (повивного скручення), що містять невелике число (до 32 [1, 2]) одномодових волокон з малим затуханням. Волокна в маловолоконних ОК поміщаються в оптичні модулі (ОМ) різного діаметра, що заповнені гідрофобним заповнювачем. У такому ОК осердя містить зазвичай 5 [1] або 6 [2] ОМ або ОМ та певну кількість заповнювальних елементів (ЗЕ), які спіральні 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 [3].

Крім цього, фірми-виробники оптичних кабелів у прайсах своєї продукції вказують на можливість виготовлення ОК з набагато більшою кількістю оптичних волокон (ОВ). Наприклад, ОК на 144 оптичних волокон [1] та на 216 ОВ [2]. Такі багатоволоконні оптичні кабелі призначені для побудови мережі абонентського доступу та забезпечення роботи технологій Fiber To The House (волокно в дім) та Fiber To The Home (волокно в квартиру) [4].

Методика розробки та розрахунку параметрів елементів таких багатоволоконних ОК наведена, наприклад, в [5].

Проте з недоліків, що заважають впровадженню оптоволоконна у дім та квартиру, є ще

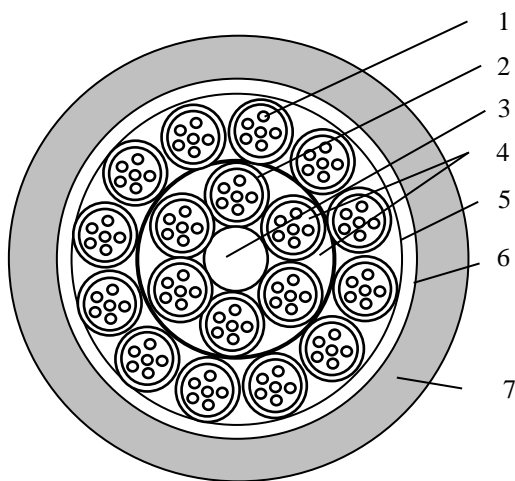


Рисунок 1 – Конструкція осердя багатоволоконного оптичного кабелю: 1 – ОВ; 2 – трубка модуля; 3 – центральний силовий елемент; 4 – заповнювальні компаунди; 5 – скріплюючий елемент; 6 – периферійний силовий елемент (арамідні нитки); 7 – захисний шланг

водоблокуюча стрічка, периферійний силовий елемент (арамідні нитки) (ПСЕ), захисний шланг.

недостатньо низька повна собівартість ОК. Це вимагає розв'язання низки задач щодо, в першу чергу, оптимізації конструкцій ОК мереж абонентського доступу за критерієм мінімальної собівартості, а також зменшенню цін на матеріали елементів кабелю, собівартості робіт на виготовлення елементів, кількості відходів виробництва та інше.

Тому, метою даної статті є оптимізація багатомодульної конструкції осердя оптичних кабелів за критерієм мінімальної собівартості.

У даній статті як об'єкт дослідження обрано двоповивний багатомодульний ОК, який був розроблений в роботі [5] (рис. 1). До елементів такого ОК, що були враховані в подальших розрахунках та дослідженнях, відносяться: ЦСЕ зі склопластикового стержня, оптичне волокно, полімерне покриття ОВ, модульна трубка (оптичний модуль), гідрофобний заповнювач ОМ, периферійний силовий елемент (арамідні нитки) (ПСЕ), захисний шланг.

Розрахунок собівартості ОК базується на визначенні маси його конструктивних елементів та ціни матеріалу на їх виготовлення. Основні конструктивні елементи ОК мають циліндричну форму та є суцільними стержнями (наприклад, ОВ, ЦСЕ, ЗЕ) або трубчатими (ОМ, захисний шланг). Формули для розрахунку мас конструктивних елементів у загальному виді мають відповідно вигляд [6]:

$$M_{c\delta} = \frac{\pi d^2}{4} \gamma l K ; \quad M_{\delta\delta} = \pi D_{\text{н\ddot{a}}} \delta \gamma l K , \quad (1)$$

де $M_{c\delta}$, $M_{\delta\delta}$ – маса елемента у вигляді стержня або трубки, відповідно, кг/км; d – діаметр суцільного елемента, мм; $D_{\text{н\ddot{a}}}$ – середній діаметр трубчатого елемента, мм; δ – товщина стінки трубчатого елемента, мм; l – довжина елемента, км; γ – щільність матеріалу, з якого складається конструктивний елемент, кг/мм³; K – конструктивно-технологічні коефіцієнти (укрутки, спіральності та інше).

У формулу (1) підставляються номінальні розміри елементів (без урахування допусків) та розраховується номінальна маса (без урахування відходів) [6].

Маса гідрофобного заповнювача ОМ кабелю визначається за виразом [6]:

$$M_{\text{а\ddot{c}}} = \frac{\pi}{4} \left(D_{\text{а\ddot{i} \text{ \textcircled{1}}} }^2 - d_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }^2 K_{\text{а}} n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} } \right) \gamma_{\text{а\ddot{c}}} l K_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} } n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} } , \quad (2)$$

де $M_{\text{а\ddot{c}}}$ – маса гідрофобного заповнювача в усіх ОМ, кг; $D_{\text{а\ddot{i} \text{ \textcircled{1}}} }$ – зовнішній діаметр ОМ, мм; $d_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$ – діаметр одного ОВ, мм; $K_{\text{а}}$ – коефіцієнт гелікоїдального укладання ОВ; $n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$ – кількість ОВ в одній трубці ОМ; $\gamma_{\text{а\ddot{c}}}$ – щільність матеріалу гідрофобного заповнювача, кг/мм³; $K_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$ – конструктивно-технологічні коефіцієнти, що враховує спіральне укладання ОМ навколо ЦСЕ; $n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$ – кількість ОМ в осерді ОК.

Масу арамідних ниток $\dot{I}_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$, кг, можна розрахувати за виразом:

$$\dot{I}_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} } = LD \cdot n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} } 10^{-4} , \quad (3)$$

де LD – лінійна щільність арамідних ниток, дтекс; $n_{\text{ \textcircled{1} \text{ \textcircled{1}}} }$ – кількість ниток в повиві ПСЕ.

Далі за визначеними масами елементів кабелю, цінами на їх матеріали розраховуються вартості матеріалів, що йдуть на виготовлення окремих елементів і загальна вартість матеріалів усіх елементів кабелю.

Вартість елемента кабелю розраховується за виразом [6]:

$$C_{e\ddot{e}} = C_1 M \left(\frac{100 + K_{\text{а}}}{100} \right) , \quad (4)$$

де $C_{e\ddot{e}}$ – вартість елемента ОК, грн/км; C_1 – вартість одного кілометра або одиниці матеріалу елемента кабелю, грн/кг; M – маса елемента, кг/км; $K_{\text{а}}$ – норма відходів при виготовленні елемента ОК, %.

Загальна вартість матеріалів усіх елементів ОК визначається за виразом [6]:

$$C = \sum_{i=1}^n C_{ei} , \quad (5)$$

де C – загальна вартість кабелю, грн/км; C_{ei} – вартість i -го елемента ОК, грн/км; n – кількість елементів конструкції ОК.

З наведених вище виразів (4) та (5) видно, що зменшення загальної ціни кабелю

можливо, в першу чергу, за рахунок зменшення маси його конструктивних елементів.

Зменшення маси конструктивних елементів можливе за рахунок зменшення їх габаритних розмірів, зокрема, трубок ОМ, в яких оптичні волокна вільно укладені всередині. Проте діаметр трубки оптичного модуля D_{OM} вибирається, виходячи з вимог до величини допустимого відносного видовження конструкції ОК [3]. Останнє залежить від величини відстані між оптичним волокном (або пучком ОВ) та внутрішньою поверхнею стінки ОМ, що визначається кількістю оптичних волокон у трубці модуля [3].

В роботі [5] сказано, що розробка багатоповивної конструкції осердя кабелю за величиною поздовжнього навантаження повинна визначатися геометричними параметрами елементів першого повиву. Виходячи з цього в даній роботі пропонується провести оптимізацію конструкції двоповивного ОК, що показаний на рис. 1, за рахунок зміни параметрів елементів другого повиву, а саме: збільшення кроку спірального укладання елементів, як це запропоновано в [5], та зменшенням діаметра трубки модуля та кількості ОВ в них.

Задля зменшення витрат матеріалів елементів кабелю у другому повиві крок спірального укладання елементів h_2 можна збільшувати доти, поки відносне видовження кабелю за другим повивом буде більше, ніж за першим, тобто $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$.

Розрахунок кроку спірального укладання елементів другого повиву h_2 при відомому значенні відносного видовження кабелю за першим повивом ε_1 проводиться за формулою [5]

$$h_2 = \sqrt{\frac{4\pi^2}{(\varepsilon_1 + 1)^2 - 1} (2R_2\Delta R_2 - \Delta R_2^2)}, \quad (6)$$

де h_2 – крок спірального укладання елементів другого повиву, мм; ε_1 – відносне видовження кабелю за першим повивом; R_2 – радіус спірального укладання елементів другого повиву, мм; ΔR_2 – відстань між пучком ОВ та внутрішньою поверхнею стінки ОМ другого повиву, мм.

Зменшення діаметра ОМ у другому повиві осердя ОК призводить до зменшення поздовжнього відносного видовження кабелю за другим повивом ε_2 , а також до збільшення кількості елементів у цьому повиві. Визначивши діаметр осердя ОК за першим повивом D_1 та задавшись кількістю елементів у другому повиві можна розрахувати діаметр ОМ цього повиву [7]

$$d_{i2} = \frac{D_1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \theta} \left[\frac{1}{\sin^2 \frac{\pi}{n}} - 1 \right] - 1}}, \quad (7)$$

де d_{i2} – діаметр ОМ в другому повиві ОК, мм; D_1 – діаметр осердя ОК за першим повивом, мм, $D_1 = d_{ON} + 2d_{i1}$; d_{ON} – діаметр ЦСЕ, мм; d_{i1} – діаметр ОМ (ОМ та ЗЕ) в першому повиві, мм; θ – кут спірального укладання елементів другого повиву, рад; n – кількість елементів у другому повиві осердя ОК.

Виходячи з отриманого значення діаметра ОМ другого повиву d_{i2} відносне видовження ОК за другим повивом $\varepsilon_{\hat{\varepsilon}2}$ можна знайти за виразом [8]

$$\varepsilon_{e2} = -1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R_2^2}{h_2^2} \cdot \left(\frac{2\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_2^2}{R_2^2} \right)}, \quad (8)$$

де R_2 – радіус спірального укладання елементів у другому повиві осердя ОК, мм; h_2 – крок спірального укладання елементів другого повиву осердя ОК, мм; ΔR_2 – відстань між пучком ОВ в трубці ОМ другого повиву та внутрішньою поверхнею його стінки, мм.

Вираз розрахунку величини ΔR наданий в літературі, наприклад [3, 5, 8].

Радіус спірального укладання елементів в другому повиві осердя ОК можна визначити за виразом

$$R_2 = \frac{d_{\text{ОНА}} + 2d_{i1} + d_{i2}}{2} \quad \text{або} \quad R_2 = \frac{d_{i2}(k+1)}{2}, \quad (9)$$

де $d_{\text{ОНА}}$ – діаметр ЦСЕ, мм; d_{i1} , d_{i2} – діаметри ОМ (ОМ та ЗЕ) в першому та другому повивах осердя ОК відповідно, мм; k – знаменник виразу (7), що показує зв'язок між діаметром елементів повиву та діаметром елемента, навколо якого вони укладені.

Значення параметра k при кількості елементів повиву від 2 до 12, що відповідає одноповивній конструкції осердя ОК, подані в [7]. Проте двоповивна конструкція осердя ОК потребує значення параметра k при більшій кількості елементів другого повиву. В табл. 1 подано значення параметра k при кількості елементів повиву, наприклад, від 13 до 22.

Таблиця 1 – Значення параметру k , який враховує кількість елементів в повиві осердя ОК

Кількість елементів повиві	y	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Значення коефіцієнта k		3,179	3,494	3,810	4,126	4,442	4,759	5,076	5,392	5,710	6,027

У даній роботі, використовуючи все вищесказане та вирази (6)...(9), розроблено дві оптимізовані моделі двоповивного ОК на 144 ОВ – модель №2 (зі збільшеним кроком спірального укладання елементів у другому повиві осердя кабелю) та модель № 3 (зі зменшеним діаметром ОМ в другому повиву осердя ОК) (рис. 2). Параметри елементів моделі № 1, що взята за основу розробок з [5] та двох розроблених моделей ОК, подані в табл. 2. В розроблених моделях конструкцій двоповивного ОК прийнято: ОМ першого повиву містять 8 ОВ, ОМ першого повиву моделі № 3 містять 6 ОВ, діаметр пучка з 8 ОВ $d_{iA8} = 0,843$ мм [3], діаметр пучка з 6 ОВ $d_{iA6} = 0,765$ мм [3], радіальна товщина стінки ОМ $\Delta t_{i1} = (0,15 \dots 0,2) d_{i1}$; кількість арамідних ниток типу «Тварон D 1052 8050» – 12 шт, радіальна товщина

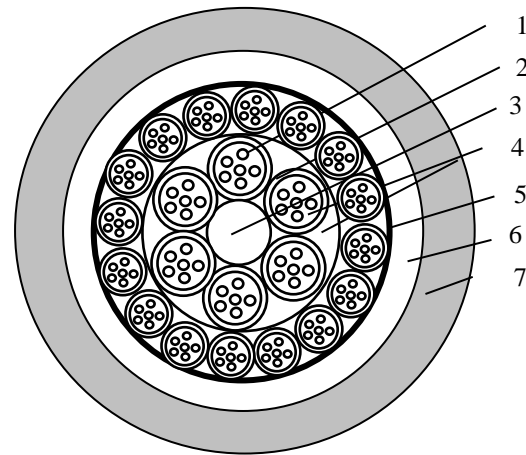


Рисунок 2 – Конструкція осердя оптимізованого багатОВОконного оптичного кабелю: 1 – ОВ; 2 – трубка модуля; 3 – центральний силовий елемент; 4 – заповнювальні компаунди; 5 – скріплюючий елемент; 6 – периферійний силовий елемент (арамідні нитки); 7 – захисний шланг

захисного шланга $\Delta t_{\infty} = 1,6$ мм [5]. Щільність матеріалів усіх елементів ОК взяті з [9], конструктивно-технологічні коефіцієнти та коефіцієнти обліку технологічних відходів взяті з [6]. Ціни на матеріали конструктивних елементів взяті з [6, 10].

В табл. 3 наводяться результати розрахунку вартості матеріалів та напівфабрикатів для конструктивних елементів трьох розглянутих моделей ОК з урахуванням конструктивно-технологічних коефіцієнтів та коефіцієнтів обліку технологічних відходів.

Таблиця 2 – Параметри елементів моделей багатомодульних двоповивних ОК

Параметр елементів осердя ОК		№ моделі		
		1	2	3
Кількість ОВ в ОК		144	144	144
Діаметр ЦСЕ $d_{\text{ЦСЕ}}$, мм		2,70	2,70	2,70
Діаметр ОМ, $d_{\text{ОМ}}$, мм	у I повиві	2,50	2,50	2,50
	у II повиві	2,50	2,50	1,85
Кількість ОВ в ОМ $n_{\text{ОВ}}$	у I повиві	8	8	8
	у II повиві	8	8	6
Кількість елементів	у I повиві	6 ОМ	6 ОМ	6 ОМ
	у II повиві	12 ОМ	12 ОМ	16 ОМ
Загальна кількість ОВ	у I повиві	$6 \times 8 = 48$	$6 \times 8 = 48$	$6 \times 8 = 48$
	у II повиві	$12 \times 8 = 96$	$12 \times 8 = 96$	$16 \times 6 = 96$
Відносне видовження кабелю $\epsilon_{\hat{\epsilon}}$, %	за I повивом	0,52	0,52	0,52
	за II повивом	0,82	0,53	0,60
Крок спірального укладання елементів, мм	у I повиві	90	90	90
	у II повиві	90	131	90
Діаметр ОК, мм		16,6	16,4	15,1
Максимально допустиме розтягувальне навантаження кабелю F_k , Н		5 469		

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. В даній роботі проведено оптимізацію багатомодульної конструкції осердя двоповивного ОК за критерієм мінімальної собівартості шляхом зміни значень параметрів елементів другого повиву.

2. В результаті проведених розрахунків та досліджень встановлено, що оптимізація конструкції осердя двоповивного ОК за рахунок збільшення кроку спірального укладання елементів другого повиву (модель II) на 45 % (від 90 мм до 131 мм) дала можливість зменшити собівартість кабелю, порівняно з неоптимізованою конструкцією на 0,88 %, а за рахунок зменшення діаметра трубок ОМ в другому повиві ОК (модель III) на 26 % (від 2,5 мм до 1,85 мм) – на 8,75 %. Це дає можливість стверджувати, що спосіб оптимізації конструкції осердя двоповивного ОК, застосований для моделі III, є рентабельним.

3. Даний спосіб оптимізації конструкції осердя двоповивних ОК може бути рекомендований для застосування на етапі розробки кабелів мереж абонентського доступу з метою мінімізації їх собівартості.

Таблиця 3 – Результати розрахунку вартості матеріалів та напівфабрикатів для конструктивних елементів ОК

№ з/п	Назва елемента ОК/ його сировина	Конструктивно-технологічний коефіцієнт / коефіцієнт обліку технологічних відходів		Од. вим.	Ціна, грн.	Маси матеріалів елементів конструкції кабелю, кг			Вартість матеріалів та напівфабрикатів, в конструкції кабелю, грн.		
		Назва	Значення			Модель I	Модель II	Модель III	Модель I	Модель II	Модель III
1	ОВ/кварц-кварц	Коефіцієнт геліко-їдального укладання ОВ в ОМ (K_{Γ}) / норма відходів для ОВ при виготовленні ОК ($K_{\text{вОВ}}$)	1,029/ 0,055	кг	54,39	16,83	16,83	16,83	916,04	916,04	916,04
2	ОМ/ полібутилен-терефталат	-/норма відходів для ОМ ($K_{\text{вДМТ}}$)	-/0,061	кг	16,72	74,89	73,37	59,37	1253	1227	993,35
3	Гідрофобний заповнювач ОМ/ тиксотропний гель	Коефіцієнт геліко-їдального укладання ОВ (K_{Γ}) / норма відходів	1,029/ 0,061	кг	44,99	31,09	30,46	26,40	1400	1371	1189
4	ЦСЕ/ склопластиковий стержень	-	-	кг	5,85	11,45	11,45	11,45	67,03	67,03	67,03
5	Водоблокуюча стрічка/водо-блокуючий матеріал	Коефіцієнт укладання стрічок внаклад (K_{ϵ})/Норма відходів	-/0,061	кг	91,46	3,64	3,64	3,44	243,88	243,88	231,14
6	ПСЕ/Арамідні нитки	-/Норма відходів для кевларових ниток	-/0,015	кг	163,8	10,5	10,5	10,5	1720	2581	1720
7	Захисний шланг / поліетилен середнього тиску	-/норма відходів для захисного шланга ($K_{\text{зш}}$)	-/0,061	кг	7,27	70,87	70,87	63,79	515,57	515,57	464,02
8	Всього					219,27	217,20	191,78	6115,50	6061,40	5580,60

ЛІТЕРАТУРА:

1. Каталог кабелів ПАТ «Завод «Южкабель», 2014.
2. Каталог кабелів ПАТ «Одескабель», 2014.
3. 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.
4. Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) / И. Гасымов. – Режим доступу до видання https://www.cisco.com/web/RU/downloads/Cisco_FTTH_architecture.pdf.
5. Бондаренко О.В. Метод оптимізації багатомодульної конструкції осердя оптичних кабелів / Бондаренко О.В., Степанов Д.М., Боярова А.А. // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2013. – Вип. № 1. – С. 99 – 106.
6. Бондаренко О.В. Особливості розрахунку повної собівартості і оптової ціни волоконно-оптичного кабелю в умовах ринкових відносин в економіці країни / Бондаренко О.В. // Журнал ННІПЕтаМ ім. Г.Е. Вейнштейна ОНАХТ. – Одеса, 2013. – С.
7. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, проектирование и расчет, технология производства и эксплуатация: монография / Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дашченко А.Ф., Усов А.В. – Одесса: Астропринт, 2000. – 536 с.
8. Мальке Г. Волоконно-оптические кабели: Основы проектирования кабелей, планирование систем / Г. Мальке, П. Гессинг. – Новосибирск: Издатель, 1997. – 264 с.
9. Основные материалы, используемые при изготовлении оптических кабелей / Electro House. – Режим доступу до видання <http://eh-electro-house.ua/spravochnik/osnovnye-materialy-ispolzuemye-pri-izgotovlenii-opticheskikh-kabelej/>.
10. Detailed Import Data of twaron. – Режим доступу: <https://www.zauba.com/import-twaron-hs-code.html>.

REFERENCES:

1. Kataloh kabeliv PAT «Zavod «Yuzhkabel'», 2014.
2. Kataloh kabeliv PAT «Odeskabel'», 2014.
3. 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.
4. Arkhytektura optycheskykh setey dostupa FTTH (Fiber-to-the-Home) / Y. Nasyimov. – Rezhym dostupu do vydannya https://www.cisco.com/web/RU/downloads/Cisco_FTTH_architecture.pdf.
5. Bondarenko O.V. Metod optymizatsiyi bahatomodul'noyi konstruktsiyi oserdya optychnykh kabeliv / Bondarenko O.V., Stepanov D.M., Boyarova A.A. // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – Odesa, 2013. – Vyp. № 1. – S. 99 – 106.
6. Bondarenko O.V. Osoblyvosti rozrakhunku povnoyi sobivartosti i optovoyi tsiny volokonno-optychnoho kabelyu v umovakh rynkovykh vidnosyn v ekonomitsi krayiny / Bondarenko O.V. // Zhurnal NNIPETAМ im. H.E. Veynshteyna ONAKhT. – Odesa, 2013. – S.
7. Volokonno-opticheskie kabeli. Teoreticheskie osnovy, konstruktirovanie i raschet, tehnologiya proizvodstva i ekspluatatsiya: monografiya / Iorgachev D.V., Bondarenko O.V., Daschenko A.F., Usov A.V. – Odessa: Astroprint, 2000. – 536 s.
8. Malke G. Volokonno-opticheskie kabeli: Osnovi proektirovaniya kabeley, planirovanie sistem / G. Malke, P. Gessing. – Novosibirsk: Izdatel, 1997. – 264 s.
9. Osnovnye materialyi, ispolzuemye pri izgotovlenii opticheskikh kabeley / Electro House. – Rezhim dostupu do vidannya <http://eh-electro-house.ua/spravochnik/osnovnye-materialy-ispolzuemye-pri-izgotovlenii-opticheskikh-kabelej/>.
10. Detailed Import Data of twaron. – Режим доступу: <https://www.zauba.com/import-twaron-hs-code.html>