

УДК 681.7.068

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗІ СТРІЧКОВИМ ОСЕРДЯМ

Скубак О. М., Манько О. О. (*Держ. унів-т інформац.-комунікаційних технологій*)

Отримано вираз для розрахунку радіусу кривизни волоконного світловоду у складі стрічкового осердя оптичного кабелю в залежності від його розташування відносно осі оптичного кабелю. Проведено обчислення втрат в оптичному волокні, визначених вигином волокна. Запропоновано вибирати крок зкручування осердя оптичного кабелю з урахуванням вимог до погонних втрат у кабелі.

Вступ. Одним з основних напрямків сучасного науково-технічного прогресу є всебічний розвиток волоконно-оптичних систем та мереж зв'язку, що забезпечують можливість доставки на значні відстані великого обсягу інформації з високою швидкістю. При цьому має місце поділ мереж зв'язку на дві підсистеми – транспортні мережі зв'язку та мережі доступу, що забезпечують під'єднання термінального обладнання абонента до транспортних мереж [1]. Серед типів мереж доступу на цей час найбільш прогресивною вважається мережа FTTH (волокно до дому), яка забезпечує підключення оптичного волокна безпосередньо до домашньої апаратури абонента. Перевагою цієї технології є високий рівень інформаційно-пропускної здатності. На даний період в Японії йде інтенсивне впровадження програми щодо повного переходу мережі доступу на технологію FTTH. Особливістю даної технології є використання конструкції багатоволоконного оптичного кабелю (ОК) з осердям стрічкового типу [2]. При цьому кількість оптичних волокон в ОК може досягати багатьох сотень і наближатись до тисячі. Обумовлено це тим, що до кожного абонента мережі має бути підведена як мінімум пара оптичних волокон.

Таким чином, оптичний кабель, що має багатоволоконне осердя стрічкового типу є основою для побудови мережі доступу типу FTTH.

Враховуючи той факт, що осердя ОК для підвищення механічних властивостей має бути скрученим, необхідно визначити такий важливий параметр конструкції осердя стрічкового кабелю, як крок скрутки та його залежність від кількості оптичних волокон та їх розташування у складі осердя. При скручуванні осердя ОК у волокні виникають вигини, що викликають так звані кабельні втрати. Рівень втрат залежить від радіусу вигину [3].

Таким чином, важливо визначити зв'язок кроку скрутки з радіусом вигину оптичного волокна та кабельними втратами з метою оптимізації конструктивних параметрів осердя ОК.

Розрахунок радіусу кривизни оптичних волокон кабельного осердя стрічкового типу. В якості прикладу наведемо розрахунок параметрів скрутки для осердя стрічкового типу оптичного кабелю виробництва компанії OFS (Японія) як типового. Осердя цього кабелю являє собою пакет, складений з стрічок, що містять оптичні волокна.

Для нашого конкретного випадку розрахунок проведемо для осердя ОК, що містить 12 стрічок, кожна з яких має 12 оптичних волокон.

Вигляд поперечного перерізу осердя стрічкового типу такого ОК наведено на рис.1.

Слід зауважити, що для запропонованої методики розрахунків немає значення ні кількість стрічок, ні кількість волокон в них.

Осердя даного ОК закручується для гнучкості та підвищення механічних параметрів [4]. Параметричне рівняння гвинтової лінії має вигляд [5]:

$$x = a \cos t; y = a \sin t; z = bt;$$

де a – радіус циліндра, по якому рухається точка гвинтової лінії; параметр b вказує, на скільки піднімається точка лінії, якщо проекція радіус-вектора на площині XOY повернеться на один радіан.

Тоді $h = 2b\pi$ – крок гвинтової лінії, який показує на скільки підніметься точка лінії, якщо проекція радіус-вектора опише повне коло (гвинтова лінія зробить один виток). Вигляд гвинтової лінії наведено на рис. 2.

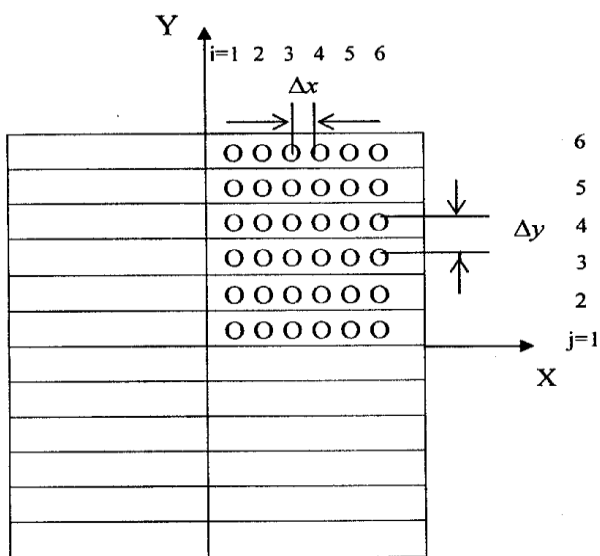


Рис. 1. Осердя ОК стрічкового типу

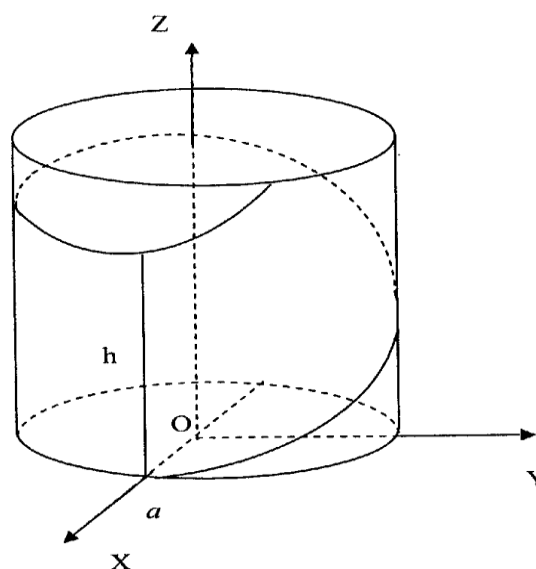


Рис. 2. Вид гвинтової лінії

Враховуючи той факт, що при скручуванні оптичні волокна будуть розміщені по гвинтовій лінії, необхідно визначити радіус кривизни R гвинтової кривої, який пов'язаний з кабельними втратами у волокні.

Згідно з [6] кривизна для гвинтової лінії дорівнює

$$K = \frac{1}{R} = \frac{a}{a^2 + b^2}. \quad \text{Звідси } R = \frac{a^2 + b^2}{a}.$$

Враховуючи, що $b = \frac{h}{2\pi}$, то $R = \frac{4a^2\pi^2 + h^2}{4a\pi^2}$.

Оскільки осердя ОК симетричне відносно осей OX та OY , то розглянемо перший квадрант (рис. 1). Радіус кривизни R для кожного OB буде визначатись його положенням та кроком гвинтової лінії h . Координати оптичних волокон будемо задавати парю чисел $(i; j)$, де $i = 1, \dots, 6$; $j = 1, \dots, 6$.

Кожне OB буде мати свою гвинтову лінію, для якої параметр a буде дорівнювати відстані від початку координат до центру OB . Цю відстань в загальному випадку можна знайти за формулою:

$$a = \sqrt{(i-0,5)^2 \Delta x^2 + (j-0,5)^2 \Delta y^2}.$$

Тут Δx – відстань між осями двох сусідніх оптичних волокон, що розміщені в одній стрічці, Δy - відстань між осями двох сусідніх оптичних волокон, що розміщені в сусідніх стрічках.

З метою визначення радіуса кривизни оптичного волокна R в залежності від параметрів гвинтової лінії в роботі було проведено розрахунки для певних значень a та h і розміщення волокна в осерді ОК. При цьому покладаємо, що дискретний крок розміщення волокон складає $\Delta x = \Delta y = 0,25$ мм. Результати обчислень для значень $a_{min} \leq a \leq a_{max}$ ($a_{min} \approx 0,33$; $a_{max} \approx 4$) та величини параметра ($20 \leq h \leq 200$) представлено на рис. 3 і 4 (усі розміри на графіках задано в мм).

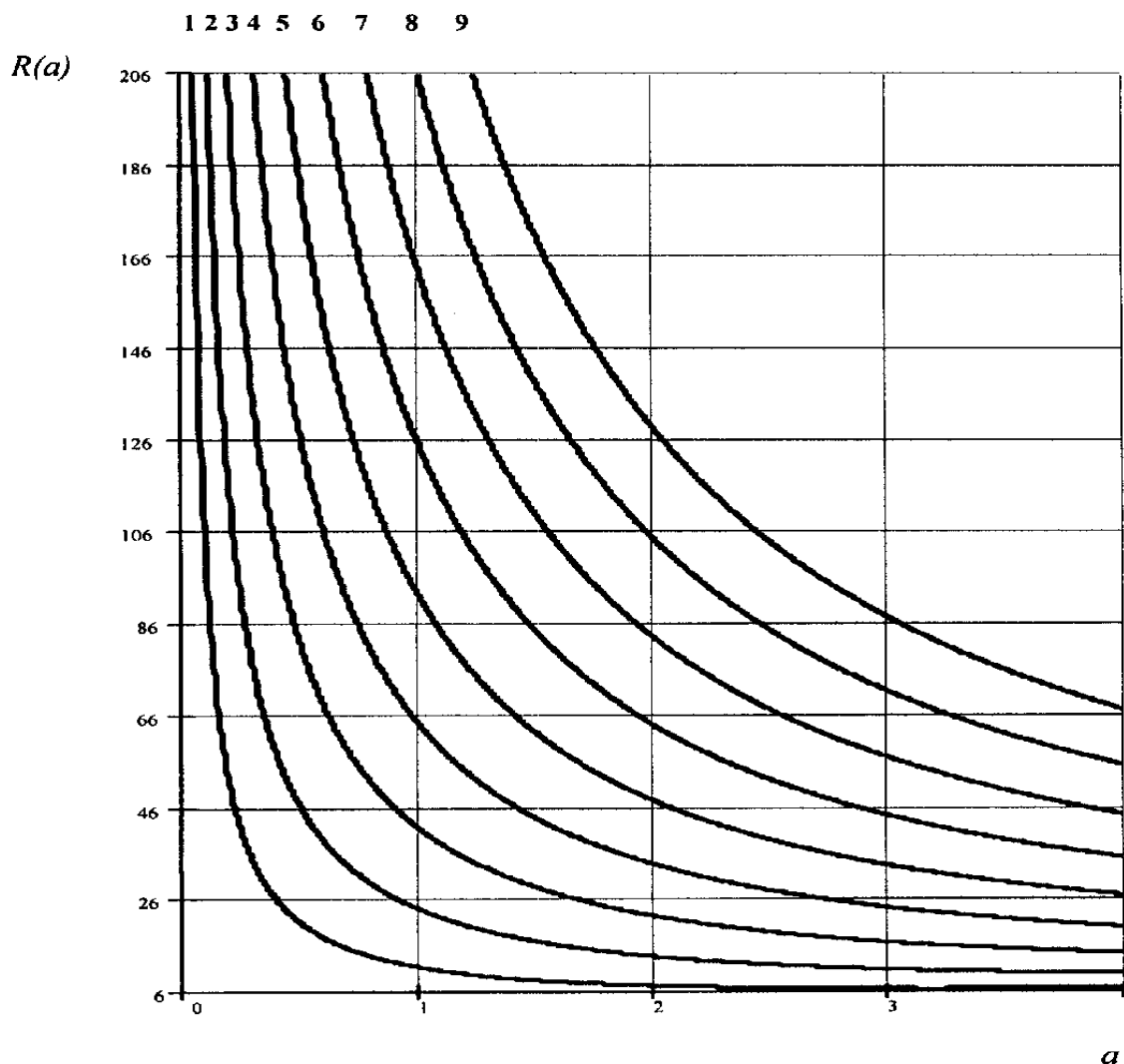


Рис. 3. Залежність радіусу кривизни OB від відстані до осі осердя, мм

На рис. 3 номерам ліній відповідають такі значення h : 1 – $h=20$; 2 – $h=30$; 3 – $h=40$; 4 – $h=50$; 5 – $h=60$; 6 – $h=70$; 7 – $h=80$; 8 – $h=90$; 9 – $h=100$.

На рис. 4 номерам ліній відповідають такі положення волокна: 1 – волокну з координатою (1; 1); 2 – (1; 2); 3 – (1; 3); 4 – (1; 4); 5 – (1; 5); 6 – (1; 6) та (6; 1); 7 – (6; 2); 8 – (6; 3); 9 – (6; 4); 10 – (6; 5); 11 – (6; 6).

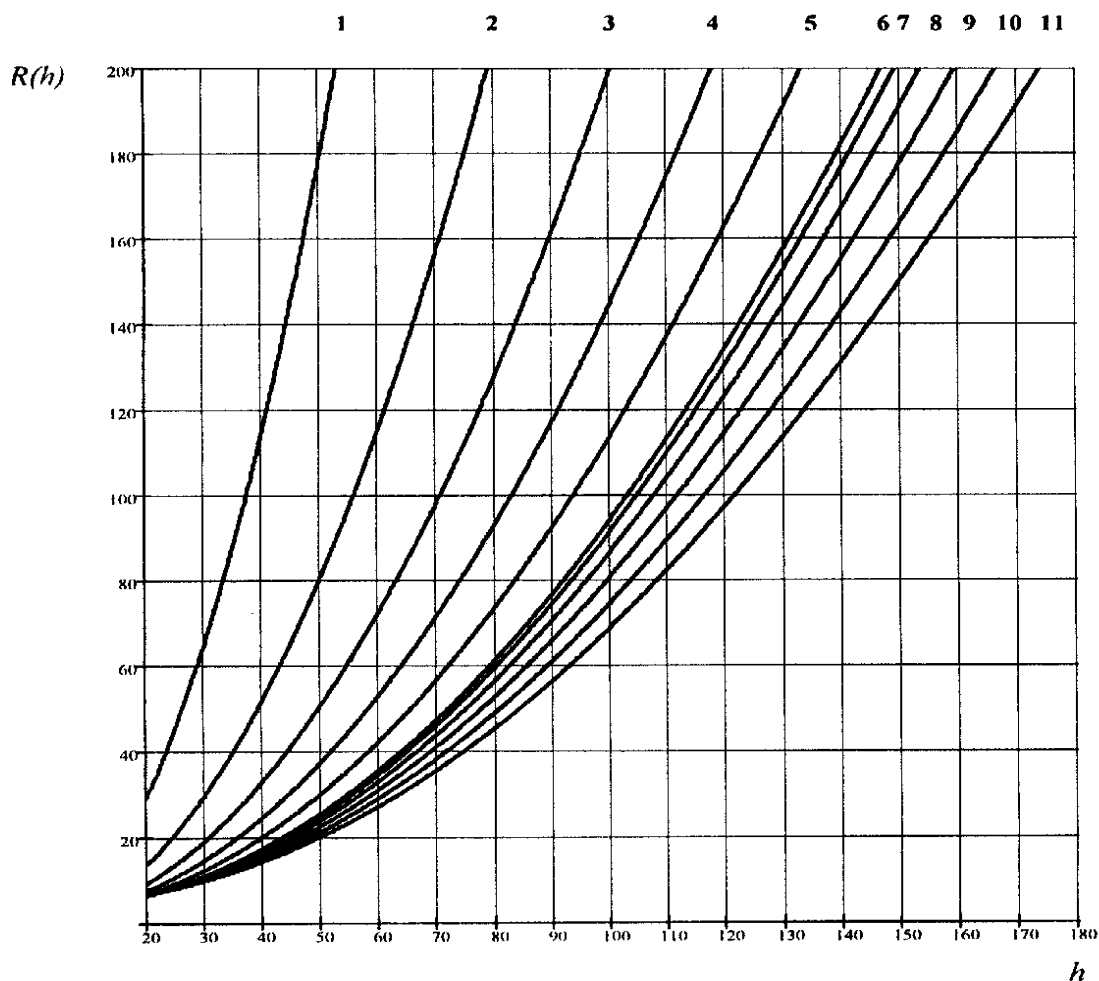


Рис. 4. Залежність радіусу кривизни ОВ від кроку скрутки, мм

Як видно з отриманих графіків, збільшення відстані від волокна досі осердя та зменшення кроку скрутки призводить до пониження радіусу кривизни, а отже до збільшення кабельних втрат. Таким чином необхідно визначити граничні значення радіусу та кроку скрутки, які дозволяють не виходити за межі допустимого загасання при конструюванні ОК. З цією метою необхідно провести розрахунки кабельних втрат у волокні в залежності від параметрів волокна та радіусу кривизни ОВ.

Розрахунок втрат на вигині оптичного волокна в залежності від його параметрів та радіусу кривизни. В даній роботі для розрахунку втрат на вигинах оптичного світловоду було використано метод розглянутий в [7].

При розрахунках припускалось, що поперечні розміри світловодних елементів d відповідають співвідношенню $d \gg \lambda$, де λ - робоча довжина хвилі. При цьому доцільно використовувати методи геометричної оптики. А сам сигнал на вході оптичного елемента можна представити у вигляді групи чи потоку фотонів.

Оптичний елемент (оптичний світловод) описувався шляхом завдання його геометричних границь і показників заломлення матеріалів елемента і навколишнього середовища. Кут і координати входу кожного світлового кванта визначались випадковим образом у межах числової апертури направляючої системи на вході елемента і відповідно до закону розподілу світлового пучка. З урахуванням цих

параметрів розраховувалась траєкторія прямування кванта в межах оптичного елемента аж до перетинання із границею елемента.

Оскільки розміри інтегрально-оптичних пристроїв порівняно невеликі, основний внесок вносять втрати, що виникають за рахунок виходу фотонів за межі оптичних елементів при невиконанні умов повного внутрішнього відбиття. У цьому випадку виконується розрахунок відбивної здатності на границі розділу з наступним визначенням імовірності відбиття чи проходження світлового кванта через границю розділу оптичних середовищ. Остаточний результат (відбиття чи проходження) визначається за допомогою генератора випадкових чисел і з урахуванням імовірності відбиття/проходження. При виконанні умов повного внутрішнього відбиття, а також при частковому відбитті, будується наступна траєкторія руху фотона від точки відбиття до перетинання з границею розділу оптичних елементів. У наступній точці перетинання алгоритм розрахунку повторюється. Такий процес продовжується до досягнення світловим квантом виходу оптичного елемента.

Величина втрат оптичного елемента α визначається відповідно до співвідношення $\alpha = 10 \lg \frac{N_{IN}}{N_T}$, де N_{IN} – число квантів на вході оптичного елемента, а

N_T – число квантів, що досягли його виходу.

В роботі був проведений розрахунок втрат на вигині двовимірного оптичного хвилеводу. Форма ділянки вигину була обрана у вигляді кола. При цьому, розмір сектора, у межах якого розглядалась ділянка кола, становив $\pi/2$ радіан.

Розміри зовнішнього R_2 і внутрішнього R_1 радіусів були нормовані стосовно поперечного розміру хвилеводу, що прийнятий рівним одиниці. Величина показника заломлення хвилеводу позначалась як n_1 , а навколишнього середовища – як n_2 . При цьому виконувалося співвідношення $n_1 > n_2$.

Як співвідношення, що описує границі оптичного хвилеводу, було обрано рівняння кола $x^2 + y^2 = R^2$

У якості вхідної і вихідної ділянок були обрані прямі відрізки хвилеводів, що мають ті ж параметри, що і досліджуваний хвилевід.

При визначенні параметрів вхідного кванта двічі використовується генератор випадкових чисел. Один раз – для визначення кута введення фотона (у межах числової апертури). А другий – для визначення координати введення фотона (у межах поперечного перерізу). Ці два параметри визначають траєкторію руху кванта (рівняння прямої лінії) до перетинання з границею хвилеводу. При перетинанні з границею визначається виконання умови повного внутрішнього відбиття. Якщо воно не виконується, розраховується імовірність відбиття, а також, за допомогою генератора випадкових чисел, наявність чи відсутність відбиття в конкретному випадку. При наявності відбиття з урахуванням його законів будується нова траєкторія руху кванта (визначається нове рівняння прямої лінії).

У наступних точках перетинання з границею оптичного хвилеводу алгоритм розрахунку повторюється до повного проходження фотоном розглянутої ділянки вигину, або ж до виходу фотона за межі оптичного хвилеводу внаслідок невиконання закону повного внутрішнього відбиття.

При розрахунку коефіцієнта відбиття передбачалося, що квант має нормальну поляризацію стосовно площини падіння. Крім того, передбачалося, що фотони рухаються в площині паралельній широкій стінці хвилеводу. Таким чином,

вирішувалася двовимірною задачею. З урахуванням співвідношення між числом квантів, що пройшли вигин хвилеводу, і загальною кількістю квантів було розраховане значення втрат на згині. При цьому величина загасання була приведена до значення кута сектора, у межах якого провадилися розрахунки. Представлення результатів розрахунку в такому вигляді дозволяє при відомому радіусі і куті вигину просто визначити величину загасання.

На рис. 5 представлені результати розрахунку залежності загасання на вигині оптичного хвилеводу від радіуса вигину для різних значень різниці показників заломлення n_1 і n_2 : $\Delta n = n_1 - n_2$.

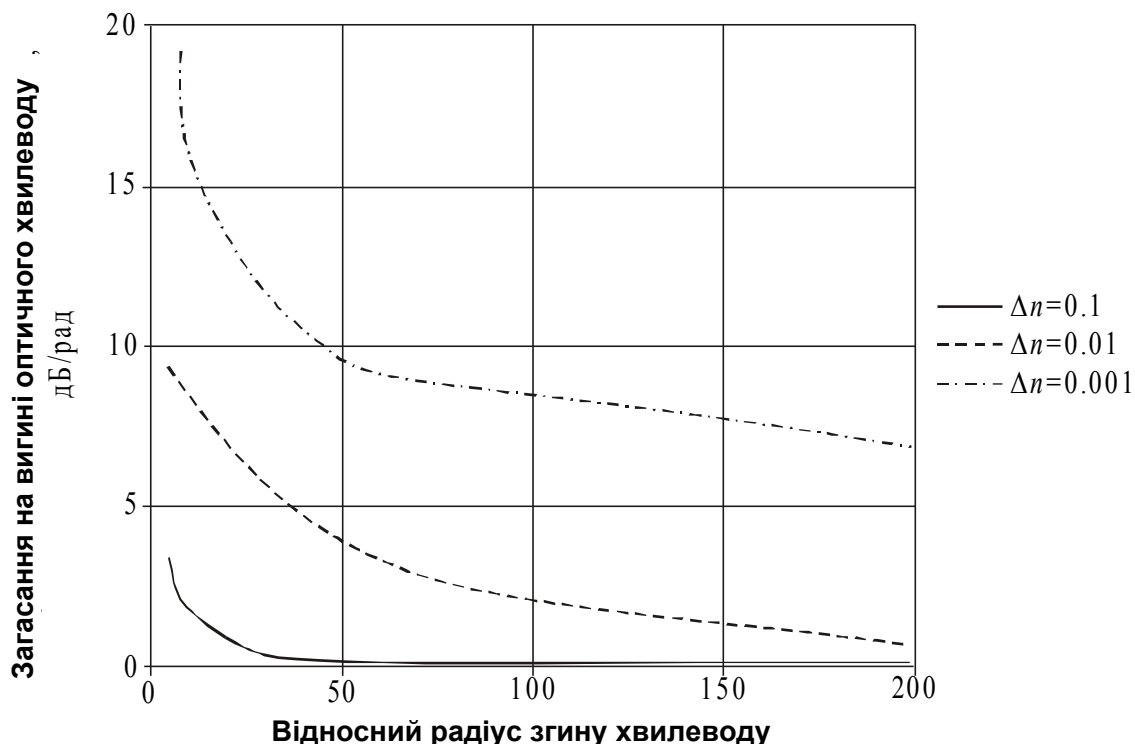


Рис. 5. Залежність загасання на вигині оптичного хвилеводу

При цьому значення n_1 передбачалося постійним і рівним $n_1 = 1,46$. Як видно з графіків, з зростом радіуса вигину загасання зменшується. Крім того, рівень втрат сильно залежить від різниці показників заломлення. При зменшенні різниці його величина різко зростає. Таким чином, при відомих значеннях показників заломлення сердцевини та оболонки ОВ можна визначити втрати на вигині волокна в залежності від його радіуса.

При розробці конструкції осердя оптичного кабелю стрічкового типу та виборі параметрів скрутки можна також користуватись даними щодо залежності втрат на вигинах ОВ від їх радіуса, наведеними в [8] (рис. 6). Ці дані отримані для стандартних оптичних волокон для другого та третього вікна прозорості.

Висновки. В роботі наведено методику розрахунку кривизни оптичного волокна у складі кабельного осердя стрічкового типу. Наведена методика дозволяє провести раціональний вибір таких конструктивних параметрів осердя, як геометричні розміри поперечного перерізу та крок скрутки. В сукупності з методикою розрахунку втрат на

вигині оптичного волокна результати роботи дають можливість узгодити конструктивні параметри з вимогами до оптичних параметрів ОК.

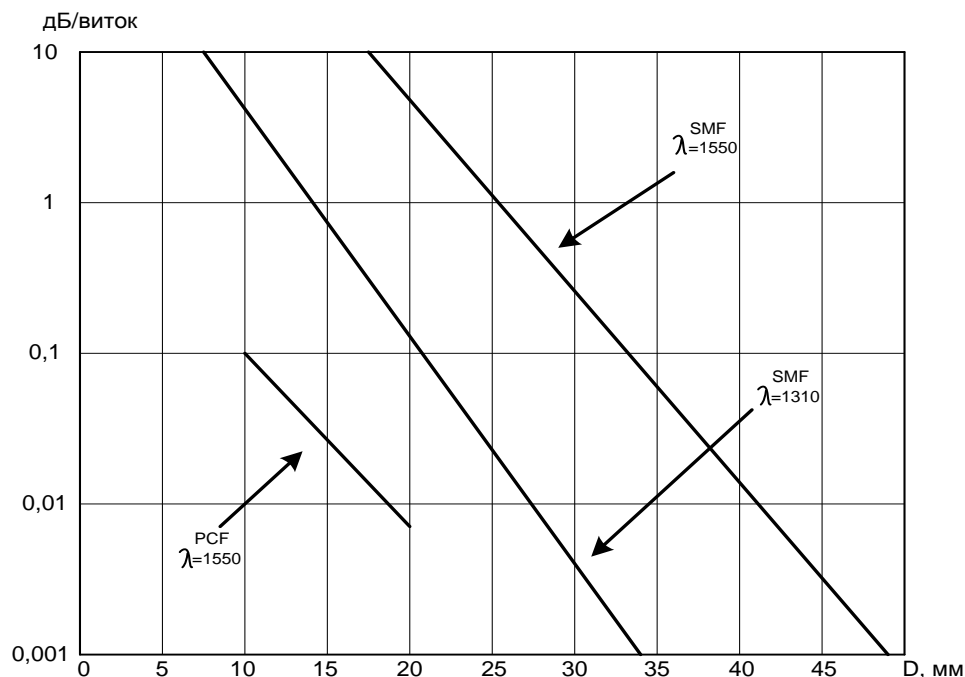


Рис. 6. Типова залежність втрат на вигинах стандартних оптичних волокон від діаметру намотування

Література

1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001. – 262 с.
2. Стерлинг Д. Дж. Техническое руководство по волоконной оптике / Стерлинг Д. Дж.; пер. с англ. – М.: Лори, 1998. – 288 с.
3. Гроднев И. И. Линии связи / И. И. Гроднев, С. М. Верник. М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.
4. Семенов Н. А. Оптические кабели связи: Теория и расчет / Н. А. Семенов. – М.: Радио и связь, 1981. – 152с.
5. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗ-ов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
6. Погорелов А. В. Дифференциальная геометрия / А. В. Погорелов. – М.: Наука, 1974. – 90 с.
7. T. Gerasimchuk, V. Katok, A. Manko. Application of the Monte-Carlo method for account of losses in integral-optical devices, 4th International Conference on Transparent Optical Networks ICTON 2002, Warsaw, Poland, 2002, p. 222-224.
8. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. – М.: ЛЕСАРарт, 2005. – 208 с.