УДК 681.7.068

Скубак О.М., к.т.н. (*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*

КОМПОНЕНТИ ДЕФОРМАЦІЇ ОСЕРДЯ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

Скубак О.М. Компоненти деформації осердя оптичного кабеля мереж доступу. В роботі розглянуто поведінку оптичного кабелю при зовнішніх навантаженнях. Отримано компоненти деформованого стану осердя оптичного кабеля мереж доступу.

Ключові слова: МЕРЕЖА ДОСТУПУ, ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ, ДЕФОРМАЦІЯ

Скубак А.Н. Компоненты деформации сердечника оптического кабеля сетей доступа. В работе рассмотрено поведение оптического кабеля при внешних воздействиях. Получены компоненты деформированного состояния сердечника оптического кабеля сетей доступа.

Ключевые слова: СЕТЬ ДОСТУПА, ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ, ДЕФОРМАЦИЯ

Skubak O.M. Components of the core deformation of the optical cable access networks. In this paper the behavior of the optical cable by external actions is considered. The components of the strain state of core of access networks optical cable are produced.

Keywords: ACCESS NETWORK, OPTICAL CABLE, DEFORMATION

Оскільки в мережах доступу FTTH використовують оптичний кабель (ОК) з осердям стрічкового типу, у якого осердя закручене [1, 2], то для дослідження механічних характеристик даного типу кабелю скористаємось методами нелінійної теорії закручених стержнів. В даній статті розглядається ОК, що містить осердя стрічкового типу. Дане осердя можна розглядати як суцільний стержень з квадратним поперечним перерізом та природною круткою (рис. 1).

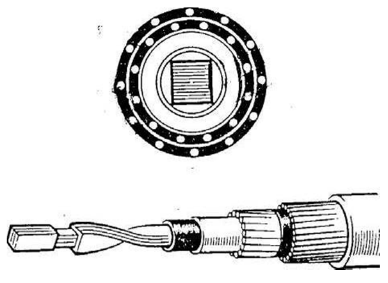

Рис.1. Поперечний переріз та загальний вид ОК

Розглянемо довільну просторову криву Г, векторне рівняння якої має вигляд: $\vec{r} = \vec{r}(s)$, де s – довжина дуги.

В прямокутній декартовій системі координат:

$$\vec{r}(s) = x(s)\vec{i} + y(s)\vec{j} + z(s)\vec{k}\,.$$

Умовимося: *додатній* відлік дуги s беремо в напрямку зростання s; *система* координат (x, y, z) і всі наступні вважаємо правими системами координат; *форма* заданого профілю поперечного перерізу незмінна по всій його довжині; *поперечний* переріз перпендикулярний в кожній точці кривої $\vec{r} = \vec{r}(s)$ має дві осі симетрії.

Континуальна множина профілів “нанизаних” на криву $\vec{r} = \vec{r}(s)$ своїм геометричним центром представляє собою стержень з певним профілем поперечного перерізу. Особливістю нашого стержня є наявність природної крутки. Іншими словами, під просторово викривленим стержнем з природною круткою будемо розуміти такий, що отримуємо в результаті руху по заданій кривій **Г** профілю заданої форми, що рухається по цій кривій з певними лінійною та кутовою швидкостями.

Для визначення міри закрученості стержня розглянемо в площині поперечного перерізу дві ортонормовані системи координат, центри яких співпадають з центром профілю. Ортами однієї них є базис Френе $(\vec{\tau},\vec{\upsilon},\vec{\beta})$, а другої – локальний базис $(\vec{\tau}\,,\vec{\upsilon}_1,\vec{\beta}_1)$, рис. 2. Тоді мірою закрученості стержня будемо вважати кут φ між ортами $\vec{\upsilon}$ та $\vec{\upsilon}_1$. Додатній напрям відліку φ вважаємо проти годинникової стрілки.

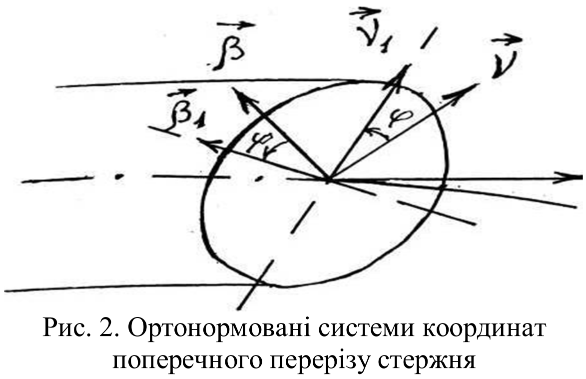

Рис. 2. Ортонормовані системи координат поперечного перерізу стержня

Інколи замість кута φ використовують поняття відносної закрученості стержня $\psi_0 = \dfrac{d\phi}{ds}$.

Для прямолінійного стержня кут крутки можна ввести як кут між двома осями нерухомої системи координат та головними центральними осями поперечного перерізу.

Зі зміною s базис $\left(\vec{\tau}, \vec{\upsilon}_1, \vec{\beta}_1\right)$ буде обертатись по відношенню до попереднього положення.

Позначимо через $\vec{\Omega} = \vec{\Omega}(s)$ миттєву кутову швидкість вказаного повороту та покладаємо:

$$\vec{\Omega} = p_1\vec{\tau} + q_1\vec{\upsilon}_1 + r_1\vec{\beta}_1. \tag{1}$$

Очевидно, що вектор $\vec{\Omega}$ залежить від кручення просторової кривої $\vec{r}(s)$ та від природної крутки φ.

Встановимо геометричний зміст компонент $p_1; q_1; r_1$. Розглянемо відомі формули Серре-Френе:

$$\frac{d\vec{\upsilon}_1}{ds} = \frac{\vec{\beta}}{T} - \frac{\vec{\tau}}{R}; \frac{d\vec{\beta}}{ds} = -\frac{\vec{\upsilon}}{T}, \tag{2}$$

де R – радіус кривизни; T – радіус кручення кривої.

З відомої формули Ейлера маємо:

$$\frac{d\vec{\tau}}{ds} = \vec{\Omega} \times \vec{\tau}; \frac{d\vec{\upsilon}_1}{ds} = \vec{\Omega} \times \vec{\upsilon}_1; \frac{d\vec{\beta}_1}{ds} = \vec{\Omega} \times \vec{\beta}_1; \tag{3}$$

Після підстановки (1) в (3) маємо:

$$\frac{d\vec{\tau}}{ds} = r_1\vec{\upsilon}_1 - q_1\beta_1; \frac{d\vec{\upsilon}_1}{ds} = p_1\vec{\beta}_1 - r_1\vec{\tau}; \frac{d\vec{\beta}_1}{ds} = q_1\vec{\tau} - p_1\vec{\upsilon}_1 \tag{4}$$

З рис. 2 бачимо, що $\quad \vec{\upsilon}_1 = \cos\varphi \cdot \vec{\upsilon} + \sin\varphi \cdot \vec{\beta}; \quad \vec{\beta}_1 = -\sin\varphi \cdot \vec{\upsilon} + \cos\varphi \cdot \vec{\beta}.$ **(5)**

Використовуючи формули Френе (2) та співвідношення (4), (5) одержимо:

$$p_1 = \frac{1}{T} + \frac{d\phi}{ds}; \quad q_1 = \frac{\sin\phi}{R}; \quad r_1 = \frac{\cos\phi}{R}. \tag{6}$$

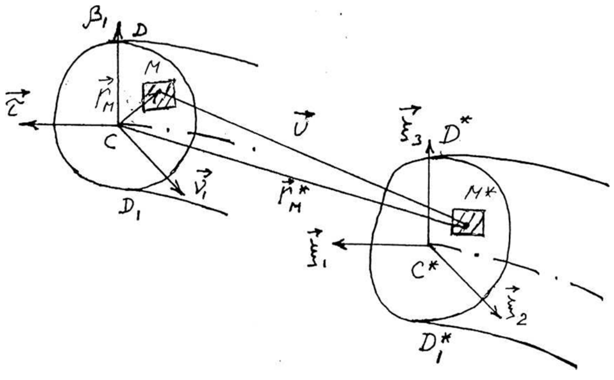

Рис. 3. Ортонормовані базиси перерізу в недеформованому та деформованому стані

Розглянемо стержень в початковій недеформованій конфігурації. Вибираємо довільну точку перерізу M, координати якої в базисі $\left(\vec{\tau}, \vec{\upsilon}_1, \vec{\beta}_1\right)$ позначимо $M(0, \eta, \varsigma)$ (рис. 3). $\vec{R}$ – радіус-вектор точки M в нерухомій системі координат. Очевидно, що

$$\vec{R} = \vec{r} + \eta\vec{\upsilon}_1 + \varsigma\vec{\beta}_1. \tag{7}$$

Під дією деякої системи зовнішніх сил відбувається деформація стержня. Точка M переходить в M^* з радіусом-вектором R^*.

Позначимо через $\vec{U}$ – вектор переміщення точки M.

Тоді $\quad \vec{R}^* = \vec{R} + \vec{U}; \quad d\vec{R}^* = d\vec{R} + d\vec{U}.;$ **(8)**

$$d\vec{R} = \frac{\partial\vec{R}}{\partial s}ds + \frac{\partial\vec{R}}{\partial\eta}d\eta + \frac{\partial\vec{R}}{\partial\varsigma}d\varsigma.$$

Нехай $\quad \vec{U} = U_1\vec{\tau} + U_2\vec{\upsilon}_1 + U_3\vec{\beta}_1;$ **(9)**

$$d\vec{U} = \frac{\partial\vec{U}}{ds}ds + \frac{\partial\vec{U}}{\partial\eta}d\eta + \frac{\partial\vec{U}}{\partial\varsigma}d\varsigma.$$

Продиференціювавши (7), (9) з урахуванням співвідношень (4), (8) одержимо:

$$d\vec{R} = (1 + m_{11})ds\,\vec{\tau} + (m_{12}ds + d\eta)\vec{\upsilon}_1 + (m_{13}ds + d\varsigma)\vec{\beta}_1;$$

$$d\vec{U}=\left(e_{11}ds+\frac{\partial U_1}{\partial\eta}d\eta+\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}d\varsigma+\right)\vec{\tau}+\left(e_{12}ds+\frac{\partial U_2}{\partial\eta}d\eta+\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}d\varsigma\right)\vec{\upsilon}_1+\left(e_{13}ds+\frac{\partial U_3}{\partial\eta}d\eta+\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}d\varsigma\right)\vec{\beta}_1;$$

$$\vec{R}^*=\left(\left(1+e_{11}+m_{11}\right)ds+\frac{\partial U_1}{\partial\eta}d\eta+\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}d\varsigma\right)\vec{\tau}+\left(\left(e_{12}+m_{12}\right)ds+\left(1+\frac{\partial U_2}{\partial\eta}d\eta\right)d\eta+\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}d\varsigma\right)\vec{\upsilon}_1+$$

$$+\left(\left(e_{13}+m_{13}\right)ds+\frac{\partial U_3}{\partial\eta}d\eta+\left(1+\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}\right)d\varsigma\right)\vec{\beta}_1;$$

де $\quad m_{11}=-\eta r_1+\varsigma q_1; m_{12}=-p_1\varsigma; m_{13}=p_1\eta;\ e_{11}=\frac{\partial U_1}{\partial s}-U_2r_1+U_3q_1;$

$$e_{12}=\frac{\partial U_2}{\partial s}-U_2r_1-U_3q_1; e_{13}=\frac{\partial U_3}{\partial s}-U_1q_1+U_2p_1.$$

Визначимо компоненти деформованого стану стержня. Позначимо через $d\tilde{s}^2$ квадрат відстані між двома нескінченно близькими точками до деформації:

$$d\tilde{s}^2=d\vec{R}\cdot d\vec{R};\ d\tilde{s}^2=\left[\left(1+m_{11}\right)^2+m_{12}^2+m_{13}^2\right]ds^2+d\eta^2+d\varsigma^2+2m_{12}^2dsd\eta+2m_{13}^2dsd\varsigma.$$

Тоді відповідно: $\qquad ds^{*2}=d\vec{R}^*\cdot d\vec{R}^*;$

$$ds^{*2}=\left[\left(1+e_{11}+m_{11}\right)^2+\left(e_{12}+m_{12}\right)^2+\left(e_{13}+m_{13}\right)^2\right]ds^2+$$

$$+\left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial\eta}\right)^2+\left(1+\frac{\partial U_2}{\partial\eta}\right)^2+\left(\frac{\partial U_3}{\partial\eta}\right)^2\right]d\eta^2+\left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}\right)^2+\left(1+\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}\right)^2+\left(\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}\right)^2\right]d\varsigma^2+$$

$$+2\left[\left(1+e_{11}+m_{11}\right)\frac{\partial U_1}{\partial\eta}+\left(e_{12}+m_{12}\right)\left(1+\frac{\partial U_2}{\partial\eta}\right)+\left(e_{13}+m_{13}\right)\frac{\partial U_3}{\partial\eta}\right]dsd\eta+$$

$$+2\left[\left(1+e_{11}+m_{11}\right)\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}+\left(e_{12}+m_{12}\right)\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}+\left(e_{13}+m_{13}\right)\left(1+\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}\right)\right]dsd\varsigma+$$

$$+2\left[\frac{\partial U_1}{\partial\eta}\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}+\left(1+\frac{\partial U_2}{\partial\eta}\right)\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}+\frac{\partial U_3}{\partial\eta}\left(1+\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}\right)\right]d\eta d\varsigma.$$

Компоненти деформації стержня мають вигляд:

$$ds^*-d\tilde{s}^*=2\varepsilon_{11}ds^2+2\varepsilon_{22}d\eta^2+2\varepsilon_{33}d\varsigma^2+2\varepsilon_{12}dsd\eta+2\varepsilon_{13}dsd\varsigma+2\varepsilon_{23}d\eta d\varsigma,$$

де $\quad \varepsilon_{11}=\left(1+m_{11}\right)e_{11}+m_{12}e_{12}+m_{13}e_{13}+\frac{1}{2}\left(e_{11}^2+e_{12}^2+e_{13}^2\right);$

$$\varepsilon_{22}=\frac{\partial U_2}{\partial\eta}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial\eta}\right)^2+\left(\frac{\partial U_2}{\partial\eta}\right)^2+\left(\frac{\partial U_3}{\partial\eta}\right)^2\right];$$

$$\varepsilon_{33}=\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}\right)^2+\left(\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}\right)^2+\left(\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}\right)^2\right];$$

$$\varepsilon_{12}=e_{12}+\left(1+e_{11}+m_{11}\right)\frac{\partial U_1}{\partial\eta}+\left(e_{12}+m_{12}\right)\frac{\partial U_2}{\partial\eta}+\left(e_{13}+m_{13}\right)\frac{\partial U_3}{\partial\eta};$$

$$\varepsilon_{13}=e_{13}+\left(1+e_{11}+m_{11}\right)\frac{\partial U_1}{\partial\varsigma}+\left(e_{12}+m_{12}\right)\frac{\partial U_2}{\partial\varsigma}+\left(e_{13}+m_{13}\right)\frac{\partial U_3}{\partial\varsigma}.$$

Отримані компоненти деформації дозволяють знайти прогини осердя при зовнішніх навантаженнях. При цьому важливу роль грає закрученість осердя.

Виходячи з структури поперечного перерізу ОК, очевидно, що в процесі згину осердя його прогини нерівнозначні відносно осей симетрії перерізу. Це проявляється в тому, що при однакових умовах щодо точок опори ОК стріла його прогину в різних площинах вигину буде різною, або ж при однакових радіусах вигину в різних площинах будуть значно відрізнятися механічні навантаження на осердя, в тому числі і на оптичне волокно, як елемент осердя. Це приводить до появи підвищених або навіть недопустимих напружень при згині в одному з напрямків. Поява підвищених напружень приводить до додаткових деформацій і збільшенню мікротріщин, що являється небажаним для ОК с точки зору строку його експлуатації. При цьому змінюються як оптичні, так і механічні властивості волокна.

Природна крутка дає рівноправ'я згину в двох площинах симетрії поперечного перерізу, що поліпшує його механічні властивості. Природна крутка дозволяє уникнути надмірних навантажень на оптичні волокна, які могли б виникнути при згинах ОК в одній з площин симетрії, поліпшує гнучкість кабелю (зменшує значення допустимого радіусу вигину) при умові збереження однорідності гнучкості в усіх напрямках згину.

Література

1. Семенов Н.А. Оптические кабели связи: Теория и расчет / Н.А. Семенов. – М.: Радио и связь, 1981. – 152 с.

2. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие / О.К. Скляров. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 272 с.

3. Илюхин А.А. Пространственные задачи нелинейной теории упругих стержней. / А.А. Илюхин. – К.: Наукова думка, 1979. – 216 с.

4.Скубак О.М. Деякі аспекти механічних характеристик кабелів зв'язку, які мають осердя з природною круткою / О.М Скубак // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т.9, №1. – С. 100-106.

УДК 621.315.592

Зуев В.О., д.ф.-м.н.; **Горыня Л.М.** к.ф.-м.н.; **Кременецкая Я.А**. к.т.н.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

ФОТОДИОДЫ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ CdP_2

Зуєв В.О., Гориня Л.М., Кременецька Я.А. Фотодіоди з бар'єром Шотткі на основі CdP_2. Розроблений фотодіод з бар'єром Шотткі на основі CdP2. Експериментально спостерігалась висока фоточутливість фотодіода.

Ключові слова: БАР'ЄР ШОТТКІ, ФОТОДІОД, ПОВЕРХНЯ, РЕКОМБІНАЦІЯ

Зуев В.А., Горыня Л.М., Кременецкая Я.А. Фотодиоды с барьером Шоттки на основе CdP_2. Разработан фотодиод с барьером Шоттки на основе CdP_2. Экспериментально наблюдалась высокая фоточувствительность фотодиода.

Ключевые слова: БАРЬЕР ШОТТКИ, ФОТОДИОД, ПОВЕРХНОСТЬ, РЕКОМБИНАЦИЯ

Zuev V.O., Horynia L.M., Kremenets'ka Ia.A. CdP2 Schottky barrier photodiodes. A photodiode is created with the Schottky barrier on the basis of CdP2. Experimentally there was a high a photosensitiveness of photodiode.

Keywords: SCHOTTKY BARRIER, PHOTODIODE, SURFASE RECOMBINATION.

Введение. Для приема оптической информации в волоконно-оптических линиях связи разрабатываются фотоприемники различного типа. Перспективным представляется использование кристаллов CdP_2 и фотодиодов на их основе.

Наличие инварианта Лифшица в гамильтониане, описывающем вещества со структурой D_4^4, обуславливает флуктуационный фазовый перезод при комнатных температурах и образование естественной сверхрешетки (СР) [1, 2]. Как следует из данных по конденсаторной фото-э.д.с. [2], разрушение СР начинается лишь при $T \geq 380$ К. Как отмечалось в ряде работ, наличие СР различного типа стимулирует резкое повышение чувствительности фоторезисторов. Эти обстоятельства стимулировали исследования