

УДК 681.7.068

**Манько О. О.**, докт. техн. наук; доц. (Тел.: +380 67 408 67 80. E-mail : manko\_kiev@mail.ru)

**Скубак О. М.**, канд. техн. наук (Тел.: +380 67 403 99 90. E-mail: skubaksp@rambler.ru)

**Шевченко С. М.**, канд. пед. наук (Тел.: +380 44 249-25-96. E-mail: sn-shevchenko65@yandex.ua)

(Державний університет телекомунікацій, Київ)

**Манько В. О.**, к.т.н. (Тел.: +380 44 269 59 72. E-mail: manko\_kiev@mail.ru)

(ЗАТ «Київстар»)

## ЩОДО ФОРМ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

**Манько О. О., Скубак О. М., Шевченко С. М., Манько В. О. Щодо форм втрати стійкості оптичного кабелю мереж доступу.** В роботі розглянуто питання про поведінку оптичного кабелю мереж доступу під дією зовнішніх навантажень. Розглянуто, зокрема, одну з самих перспективних на сучасному етапі мережу доступу FTTH (волокно до дому). Складовою частиною даної мережі є оптичне волокно з осердям стрічкового типу, яке закручене навколо своєї осі. На основі нелінійної теорії закручених стержнів отримано рівняння руху осердя оптичного кабелю та критичні навантаження втрати стійкості. Виходячи з рівнянь руху осердя та співвідношень для критичних сил отримано форми втрати стійкості осердя для різних ступенів крутки під дією осевих навантажень.

**Ключові слова:** мережа доступу, FTTH, оптичний кабель, оптичне волокно, теорія закручених стержнів, рівняння руху осердя

**Манько А. А., Скубак А. Н., Шевченко С. Н., Манько В. А. Относительно форм потери устойчивости оптического кабеля сетей доступа.** В работе рассмотрено вопрос поведения оптического кабеля сетей доступа под действием внешних нагрузок. Рассмотрена, в частности, одна из самых перспективных на современном этапе сеть доступа FTTH (волокно в дом). Составляющей частью этой сети является оптическое волокно с сердечником ленточного типа, который закручен вокруг своей оси. Получены на основе нелинейной теории закрученных стержней уравнения движения сердечника оптического кабеля и критические нагрузки потери устойчивости. Исходя из уравнений движения сердечника и соотношения для критических сил получены формы потери устойчивости сердечника для различных степеней крутки под действием осевых нагрузок.

**Ключевые слова:** сеть доступа, FTTH, оптический кабель, оптическое волокно, теория закрученных стержней, уравнения движения сердечника

**Manko O. O., Skubak O. M., Shevchenko S. M., Manko V. O. About the loss of stability of optical cable used in access networks.** In this paper the behaviour of the optical cable for access networks by external loads is considered. The most of progressive at the present stage the access network FTTH (fiber to the home) is proposed. The main part of this network is an optical cable with core of strip type. In this cable the core is twisted around its axis. The equation of motion of the core optical cable on the basis of the nonlinear theory of twisted bars was obtained. Critical loads cause loss of stability were also obtained. From the equations of motion of the core and the ratio of the critical forces the types of loss of the core stability for different degrees of twisting under action axial loads are obtained.

**Keywords:** access network, FTTH, optical cable, optical fibre, theory of twisted bars, equation of the core motion

**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. Серед типів мереж доступу на цей час найбільш прогресивною вважається мережа FTTH (fiber to the home – волокно до дому), яка забезпечує підключення оптичного волокна безпосередньо до домашньої апаратури абонента.

Концепція “волокно в квартиру” FTTH є самою перспективною, оскільки вона забезпечує найбільшу смугу пропускання, масове обслуговування абонентів на відстані до 20 км від вузла зв'язку, швидкість доступу для абонента до декількох гігабіт в секунду. На цей час має місце широке впровадження технології FTTH в США та Японії, ведеться робота над втіленням державних програми впровадження даної технології [1].

Головною складовою частиною сучасних мереж доступу на основі технології FTTH є кабель з осердям стрічкового типу. Даний тип кабелю характеризується правильним

розташуванням світловодів в вузлах прямокутної решітки. Осердя закручується по гвинтовій лінії для гнучкості та збереження форми оптичного кабелю [2...4]. Прикладом оптичного кабелю з осердям стрічкового типу може служити оптичний кабель фірм OFS, BELL, RIBBON США та Японії [5].

**Рівняння руху та критичні навантаження осердя оптичного кабелю.** Осердя стрічкового типу можна розглядати як суцільний стержень з прямокутним поперечним перерізом та природною круткою. На основі нелінійної теорії закручених стержнів отримано [6...10] систему рівнянь руху в безрозмірному вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 v_0}{\partial s^4} - (a^2 - \beta_3 R) \frac{\partial^2 v_0}{\partial s^2} - 2a \frac{\partial^3 w_0}{\partial s^3} &= f_1(s, t, \dots); \\ \frac{\partial^4 w_0}{\partial s^4} - (a^2 - \gamma_3 R) \frac{\partial^2 w_0}{\partial s^2} + 2a \frac{\partial^3 v_0}{\partial s^3} &= f_2(s, t, \dots); \end{aligned} \quad (1)$$

де  $a_0$  – міра закрученості стержня  $a_0 = \varphi/\pi$ ;

$$\beta_3 = \frac{Fl^2}{J_2}; \quad \gamma_3 = \frac{Fl^2}{J_3}; \quad R = \frac{P}{EJ_3};$$

$f_1(s, t, \dots), f_2(s, t, \dots)$  – деякі функції, що залежать від виду зовнішнього поперечного навантаження, геометричних та фізичних параметрів стержня.

На основі цих рівнянь можна досліджувати задачі про деформації осердя ОК під дією зовнішніх зусиль, задачі статичної та динамічної стійкості. В якості приклада розглянуто задачу про повздовжню стійкість стержня (осердя ОК зі стрічковими елементами) з шарнірно закріпленими краями під дією повздовжньої стискаючої сили  $P$ . Це відповідає дільниці прокладки, на якій кабель розташований вертикально і він знаходиться під дією як зовнішніх стискаючих сил так і під дією власної ваги.

Критичні навантаження втрати стійкості [11] можна визначити з наступного трансцендентного рівняння:

$$\frac{1 - \cos \lambda_2^* \sqrt{t_1}}{\sin \lambda_2^* sh \sqrt{t_1}} = \frac{(\lambda_2^{*2} + t_1)^2 - 4a_0^2 \pi^2 (\lambda_2^{*2} - t_1)^2}{8a_0^2 \pi^2 \lambda_2^{*2} \sqrt{t_1}}, \quad (2)$$

де  $a_0 = a/\pi$ ;  $t_1, \lambda_2^*$  – корені характеристичного рівняння системи (1):

$$\lambda^4 + (4a^2 - a_1 - a_2)\lambda^2 + a_1 a_2 = 0,$$

де  $a_1 = a^2 - \beta_3 R$ ;  $a_2 = a^2 - \gamma_3 R$ .

**Форми втрати стійкості.** Для знаходження форм втрати стійкості для початкових умов  $v_0|_{s=0,1} = 0$ ;  $w_0|_{s=0,1} = 0$ ; з рівнянь (1) та співвідношень (2) знаходимо вирази для переміщень  $v_0$  та  $w_0$ :

$$v_0 = \frac{\lambda_2^* (t_1 - a_1) \sin \lambda_2^* - \sqrt{t_1} (a_1 + \lambda_2^{*2}) sh \sqrt{t_1}}{2a_0 \pi a_1 (ch \sqrt{t_1} - \cos \lambda_2^*)} (ch(\sqrt{t_1} s) - \cos(\lambda_2^* s)) - \frac{2a_0 \pi \sqrt{t_1}}{t_1 - a_1} sh(\sqrt{t_1} s) + \frac{2a_0 \pi \lambda_2^{*2}}{a_1 + \lambda_2^{*2}} \sin(\lambda_2^* s);$$

$$w_0 = \frac{\sqrt{t_1} (a_1 + \lambda_2^{*2}) sh \sqrt{t_1} - \lambda_2^* (t_1 - a_1) \sin \lambda_2^*}{\sqrt{t_1} (a_1 + \lambda_2^{*2})} (sh(\sqrt{t_1} s) - \sin(\lambda_2^* s)) - ch(\sqrt{t_1} s) + \cos(\lambda_2^* s),$$

де

$$\begin{cases} a_1 = \pi^2(a_0^2 - z\phi); a_2 = \pi^2(a_0^2 - z); \\ t_1 = \frac{\pi^2}{2} \left[ -(2a_0^2 + z(1+\phi)) + \sqrt{z((1-\phi)^2 z + 8a_0^2(1+\phi))} \right]; \\ \lambda_2^* = \pi \sqrt{\frac{1}{2}(2a_0^2 + z(1+\phi) + \sqrt{z((1-\phi)^2 z + 8a_0^2(1+\phi))})}. \end{cases}$$

Параметр  $z$  знаходимо зі співвідношення (2).

Форми втрати стійкості для різних ступенів крутки зображені на рисунках 1...4.

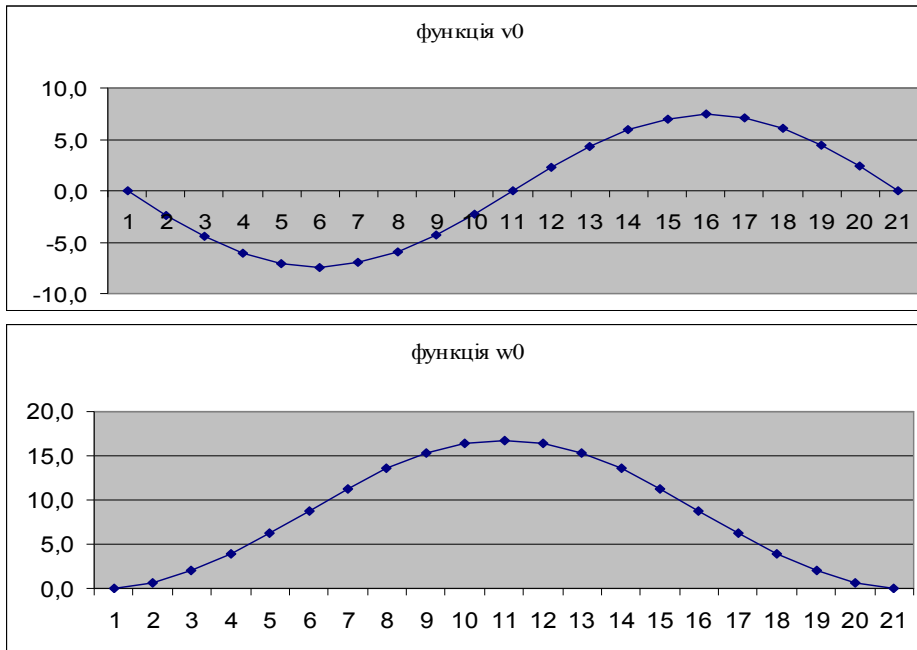


Рис. 1. Форми втрати стійкості для  $\phi = 0,5$  та  $a_0 = 1$ .

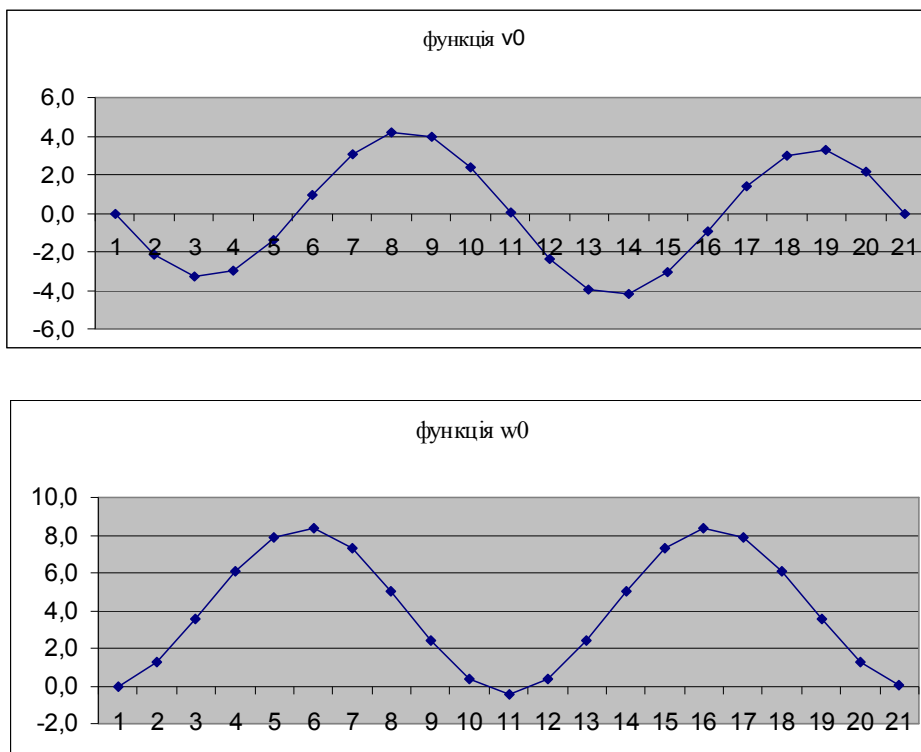


Рис. 2. Форми втрати стійкості для  $\phi = 0,5$  та  $a_0 = 2$ .

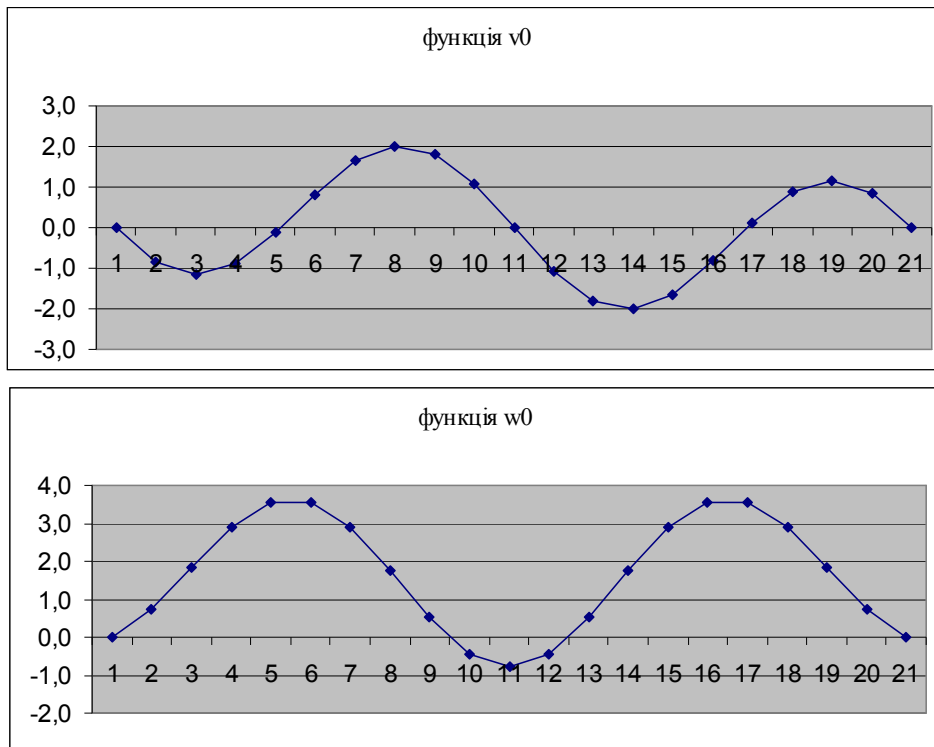


Рис. 3. Форми втрати стійкості для  $\varphi = 0,04$  та  $a_0 = 2$ .

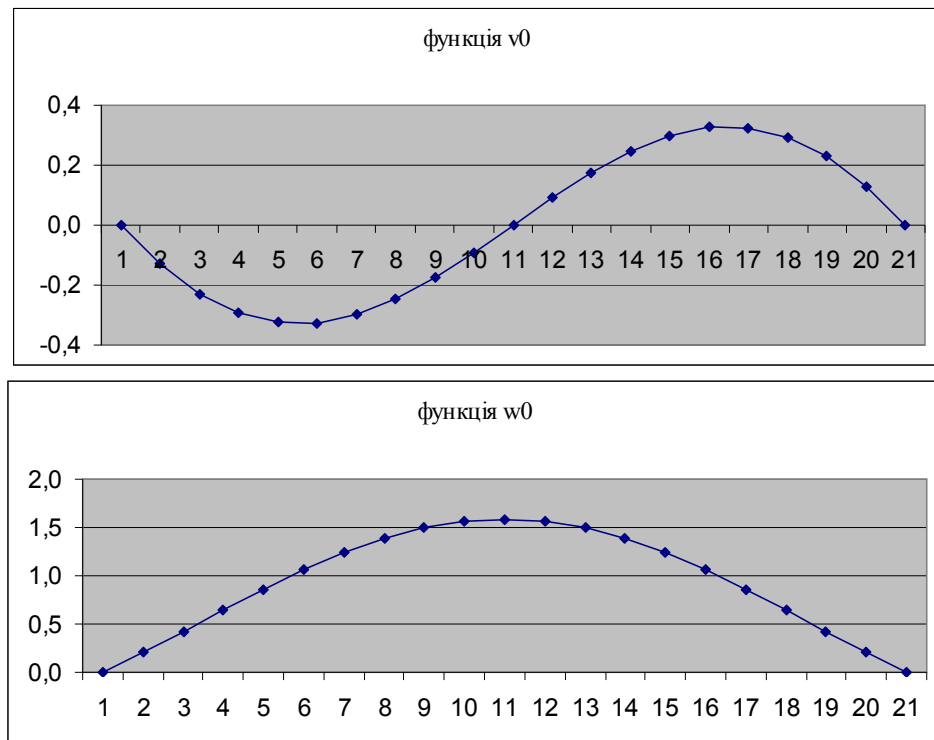


Рис. 4. Форми втрати стійкості для  $\varphi = 0,04$  та  $a_0 = 0,5$ .

**Висновки.** Таким чином, проведене моделювання поведінки кабелю під дією зовнішніх навантажень дозволяє визначити його стійкість до них.

В залежності від кута крутки при повздовжньому стисканні стержня (осердя оптичного кабелю) з (2) можна отримати, що він протидіє 5-6 Ейлерівським зусиллям в порівнянні зі стержнями, в яких відсутня крутка. Наявність крутки осердя дозволяє

протидіяти більшим зовнішнім стискаючим навантаженням, підвищити надійність даного типу оптичного кабелю.

### **Література**

1. Мальке Г. Волоконно-оптические кабели. Основы. Проектирование кабелей. Планирование систем. Перевод с немецкого. Издание второе, переработанное и дополненное. /Г. Мальке, П. Гессинг. Corning Cable Systems. 2001. – 352 с.
2. Семенов Н. А. Оптические кабели связи: Теория и расчет / Н. А. Семенов. – Москва : Радио и связь, 1981. – 152с.
3. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети : учебное пособие. В 3-х томах. Том 1 – Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Подантонопуло, В. П. Шувалов ; под ред. проф. В. П. Шувалова. – [3-е изд.]. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2003. – С. 647.
4. Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – Москва : ЛЕСАРарт, 2003. – 288 с.
5. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. – Москва : ЛЕСАРарт, 2005. – 208 с.
6. Манько А. А. Нахождение решения уравнений движения для сердечника оптического кабеля с естественной круткой / А. А. Манько , А. Н. Скубак // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн. техн. сб. –2010. – Вып. 163. – С. 53–56.
7. Каюк Я. Ф. Нелинейные уравнения гибких, пространственно искривленных, закрученных стержней (Редколлегия журн. «Прикладная механика») / Я. Ф. Каюк, А. Н. Скубак. – Киев. – 1986. – 38 с. – Библиогр. 5 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 01.12.1986 р., №8158-B86).
8. Илюхин А. А. Пространственные задачи нелинейной теории упругих стержней. / А. А. Илюхин. – Київ : Наукова думка, 1979. – 216 с.
9. Светлицкий В. А. Механика стержней : учеб. для втузов. В 2-х ч. Ч. I. Статика / В. А. Светлицкий. – Москва: Высшая школа, 1987. – 320 с.
10. Светлицкий В. А. Механика стержней : учеб. для втузов. В 2-х ч. Ч. II. Динамика / В. А. Светлицкий. – Москва : Высшая школа, 1987. – 304 с.
11. Лейбензон Л. С. Сопротивление закрученных стоек / Л. С. Лейбензон. – Москва : Собр. трудов, т. 1, АН СССР, 1951. – 554 с.