

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ОПТИЧНИМИ ВОЛОКНАМИ

Д.т.н. І.Ш. Невлюдов, к.т.н. Б.О. Малик, к.т.н. О.В. Токарева, Харківський національний університет радіоелектроніки

В роботі розглянута задача і обґрунтовані шляхи підвищення ефективності передачі інформації оптичними волокнами шляхом використання узгоджувачів елементів та дослідження оптимальних умов взаємного розташування компонентів. Запропонована технічна і технологічна реалізація процесу робить можливим вводити більшу потужність в оптоелектронні лінії передачі інформації, та зменшувати втрати, що підвищує енергетичну ефективність до 35 дБ.

Визначення точності взаємного розташування компонентів дає можливість знизити втрати в з'єднанні до 0,1 дБ, передавати інформацію з більшою надійністю на більші відстані без регенерації і зберегти працездатність волоконно-оптичної системи в умовах впливу механічних, кліматичних і радіаційних факторів.

В работе рассмотрена задача и обоснованы пути повышения эффективности передачи информации оптическими волокнами путем использования согласующих элементов и исследование оптимальных условий взаимного расположения компонентов. Предложенная техническая и технологическая реализация процесса делает возможным вводить большую мощность в оптоэлектронные линии передачи информации, и уменьшать потери, что повышает энергетическую эффективность до 35 дБ.

Определение точности взаимного расположения компонентов дает возможность снизить потери в соединении до 0,1 дБ, передавать информацию с большей надежностью на большие расстояния без регенерации и сохранить работоспособность волоконно-оптической системы в условиях воздействия механических, климатических и радиационных факторов.

The work considers the problem and substantiates ways to increase the efficiency of information transmission by optical fibers by using matching elements and study the optimal conditions for the relative positioning of components. The proposed technical and technological implementation of the process makes it possible to introduce more power into the optoelectronic data transmission lines and reduce losses, which increases energy efficiency up to 35 dB.

Determining the accuracy of the relative positions of the components makes it possible to reduce losses in the connection to 0.1 dB, transmit information with greater reliability over long distances without regeneration, and maintain the operability of the fiber-optic system under the influence of mechanical, climatic and radiation factors.

Ключові слова: оптичне волокно; компоненти; імітаційне моделювання. потужність; ефективність передачі.

Вступ

Для підвищення ефективності оптоволоконних ліній передачі необхідно компенсувати втрати оптичної енергії шляхом зменшення втрат, підвищення потужності

генераторів, чутливості приймачів, підвищення ефективності вводу випромінювання високопотужних джерел в оптичне волокно, особливо одномодове, збільшення відношення сигнал/завада.

Необхідно оптимізувати теоретично обґрунтовані втрати шляхом розрахунку взаємодії випромінювання з матеріалами і конструкціями ліній [1-3].

Теоретичне обґрунтування.

Коефіцієнт вводу випромінювання в волокно обмежується такими факторами:

- обмеженням поверхневого припустимого кута $\theta_{кр}$ внутрішнім поверхневим відбиттям;
- Френелівське відображення від поверхні розділу повітря - напівпровідник;
- поглинанням поміж точкою генерації випромінювання та випромінюючою поверхнею: фотон з енергією, більшою за ширину забороненої зони E_g може збудити електрон у зоні провідності. Отже, відстань до поверхні має бути скорочена, однак біля поверхні багато вільних «пасткових» рівнів, які змінюють безвипромінювальний час життя та знижують внутрішню квантову ефективність.

Світловий потік визначається інтегруванням потужності, що випромінюється в одиницю тілесного кута в напрямку під кутом θ до нормалі до його поверхні $I = I_0 \cos \theta$ [2-4]:

$$\Phi_0 = \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0. \quad (1)$$

Частина світлового потоку джерела випромінювання, що потрапляє в оптичне волокно, обмежена числовою апертурою волокна $NA = \sin \phi_{кр}$ та визначається інтегралом:

$$\Phi = \int_0^{\phi_{кр}} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0 \sin^2 \phi_{кр} = \Phi_0 \cdot NA^2$$

де $\phi_{кр}$ – апертурний кут волокна.

Отже, ефективність вводу у волокно дорівнює

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = NA^2. \quad (2)$$

Коефіцієнт ефективності виводу випромінювання з джерела з урахуванням критичного кута θ_c .

Світловий потік випромінювання в одиничному куті у напрямку θ відносно нормалі до поверхні:

$$\Phi_0 = 2 \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = 2\pi I_0.$$

Доля загальної потужності, обмежена кутом θ_c .

$$f = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{1}{2\pi I_0} \int_0^{\theta_c} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \frac{1}{2} \sin^2 \theta_c \frac{n_0^2}{2n^2}$$

Якщо розглянути приклад використання для випромінювача арсеніду галію при $n = 3,7$ та $n_0=1$ $f=0,036$ то при малих $\theta < \theta_c$ за рахунок Френелівського відбиття частина енергії R відбивається, отже при перпендикулярному падінні проходить частина t .

$$t = 1 - R = \frac{4n_0n}{(n_0 + n)^2} = \frac{4n}{(1 + n)^2}, \quad (3)$$

якщо $n_0 = 1$.

При більш похилих променях частина енергії що випромінюється, змінюється мало і дорівнює нулю, якщо $\theta_c = 0$.

Отже, коефіцієнт ефективності виводу за рахунок Френелівського обмеження для GaAs $t = 0,67$.

Цей коефіцієнт може бути збільшений за рахунок просвітлення, при цьому ідеальне значення дорівнює $(n_0 \cdot n)^{1/2}$, коли t прямує до 1. Просвітлення зазвичай виконується такими матеріалами:

- корунд $n = 1,76$;
- окисел кремнію $n = 1,9$;
- нітрид кремнію $n = 2,0$.

Загальний коефіцієнт передачі має вираз:

$$f \cdot t = \frac{2}{n(1 + n)^2} = 0,24. \quad (4)$$

Отже, ефективність виводу випромінювання за межі кристала джерела $\eta_{зовн}$ – зовнішня квантова ефективність:

$$\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t, \quad (5)$$

а ефективність вводу у волокно:

$$\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2.$$

$\eta_{вол}$ для волокна с $NA = 0,17$, джерела GaAs з $f \cdot t = 0,024$ та $\eta_{внутр} = 0,5$ становить $\eta_{вол} = 0,00035$.

Загальна потужність, яка генерується в джерелі випромінювання:

$$\Phi_{внутр} = \eta_{зовн} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона} \quad (6)$$

при струмі $I = 100\text{мА}$,
енергії фотона $E_{фотона} = 1,4\text{ еВ}$,
 $\Phi_{внутр} = 70\text{мВт}$.

Оптична потужність, яка випромінюється у повітря:

$$\Phi_{пов} = \eta_{зовн} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона} = 1,74\text{ мВт},$$

де $\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t$.

Потужність, яка потрапляє в оптичне волокно:

$$\Phi_{вол} = \eta_{вол} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона} = 49\text{ мкВт},$$

де $\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2$.

Імітаційне моделювання фізичних процесів у волоконно-оптичних лініях зв'язку

Одним з недоліків волоконно-оптичних ліній зв'язку є складність з'єднання окремих відрізків кабелю [5-9]. У цьому випадку для організації роз'ємного чи нероз'ємного з'єднання необхідно використання спеціального обладнання та спеціалістів високої кваліфікації. При з'єднанні світловодів можуть виникати втрати оптичної енергії та погіршення сигналу, що передається, за рахунок не точного позиціонування волокон одне відносно другого. Загальне зміщення світловодів відносно один одного можна фрагментувати як поперечний, повздовжній та кутовий зсув відносно оптимального значення [10- 12].

При кожному з видів розузгодження втрати мають нелінійну залежність і при певному значенні зсуву можуть сягати критичних показників. Розрахунок втрат можна провести використовуючи емпіричні залежності, але він працемісткий і не дає наочності.

Пропонується комп'ютерна модель, розроблена на основі прикладу роз'ємного з'єднання двох світловодів за допомогою конектора, що допоможе надати наочний приклад того, як буде змінюватись якість сигналу, що передається та втрати оптичної енергії.

Розроблена програма має вигляд наведений на рис. 1, воно складається с 3-х головних блоків:

- керування пакетною обробкою;
- керування ручною обробкою;
- 3D-модель.

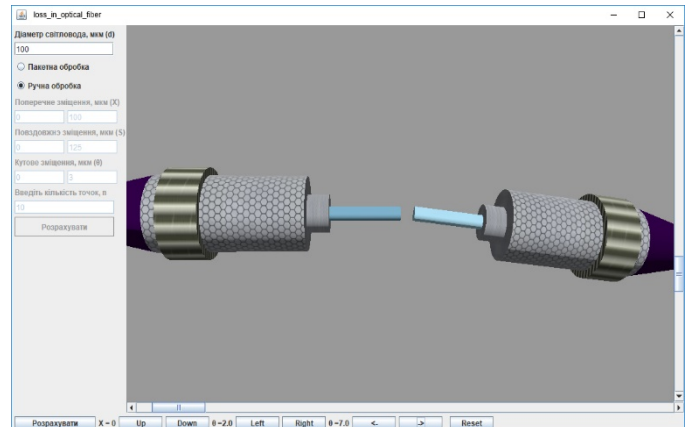


Рис. 1. Головне вікно розробленої програми

Для запуску розробленого програмного забезпечення необхідна наявність встановленого JVM (Java Virtual Machine). Мова програмування Java є одночасно компільованою та інтерпретованою. Написаний розробником код компілюється в байт-код, виконується інтерпретатором з пакета JVM. За рахунок цього досягається кросплатформність програмного забезпечення, адже легше створити інтерпретатор під визначену архітектуру машини, ніж це враховувати при компіляції програми.

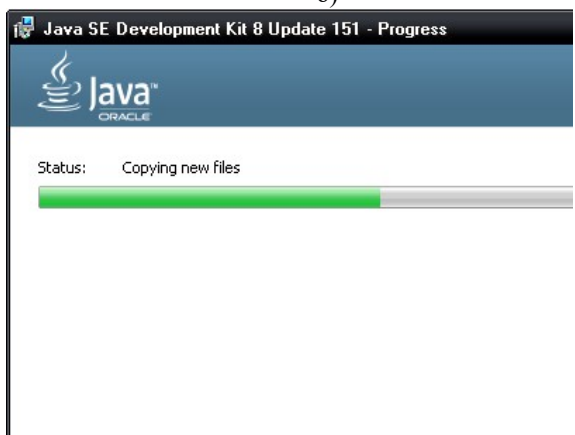
Для установки виконуємого середовища необхідно запусити інсталятор і слідуючи підказкам виконати установку (рис. 2)



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Установка JVM

Для переходу у режим пакетної обробки необхідно встановити прапорець 2 «Режим пакетної обробки» (рис.3). Заповнити поля: 1 - діаметр світловода в мкм; 3 - діапазон поперечного зміщення (від і до) в мкм; 4 - діапазон повздовжнього зміщення (від і до) в мкм; 5 - діапазон кутового зміщення (від і до) в градусах; 6 - вказати кількість точок, на які будуть розбиті діапазони 3, 4, 5. Після заповнення всіх полів натиснути на кнопку 7 «Розрахувати».

Для активації режиму ручної обробки необхідно встановити прапорець 8 і вказати діаметр світловода 1 на рис. 3. У режимі ручної обробки є можливість вручну зміщувати світлопроводи відносно один одного (2 - поперечне зміщення; 3 - поздовжнє зміщення; 4 - кутовий зсув), після чого натиснути кнопку 1 «Розрахувати» (рис. 5). Для скидання ручних налаштувань в початковий стан необхідно натиснути кнопку 5 «Reset». Для обертання світловодів на 360 ° можна скористатися повзунком 6. Для наближення або віддалення необхідно скористатися повзунком 7.



Рис. 3. Поля для заповнення в режимі пакетної обробки

Програма проведе розрахунки по введених даних і на основі розрахунків побудує графіки залежностей величини зміщення і виникаючих втрат для кожного виду зміщення. Отримані експериментальні дані наведені на рис. 4.

Для виконання розрахунку з параметрами ручного налаштування необхідно натиснути кнопку 1 «Розрахувати» на рис. 5.

Результат роботи буде мати вигляд, представлений на рис. 6.

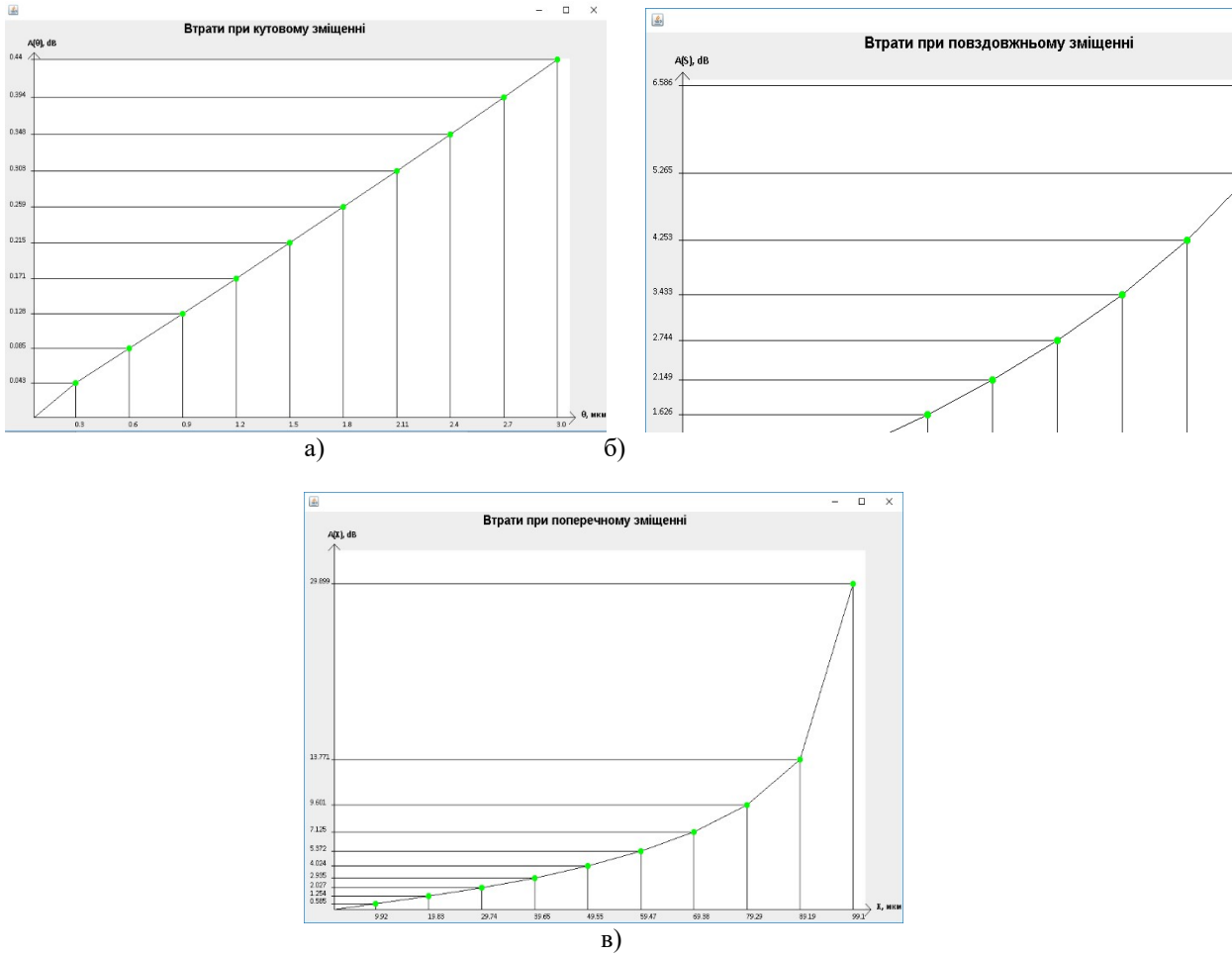


Рис. 4. Експериментальні дані: а - втрати при кутовому зміщенні; б - втрати при повздовжньому зміщенні; в - втрати при поперечному зміщенні

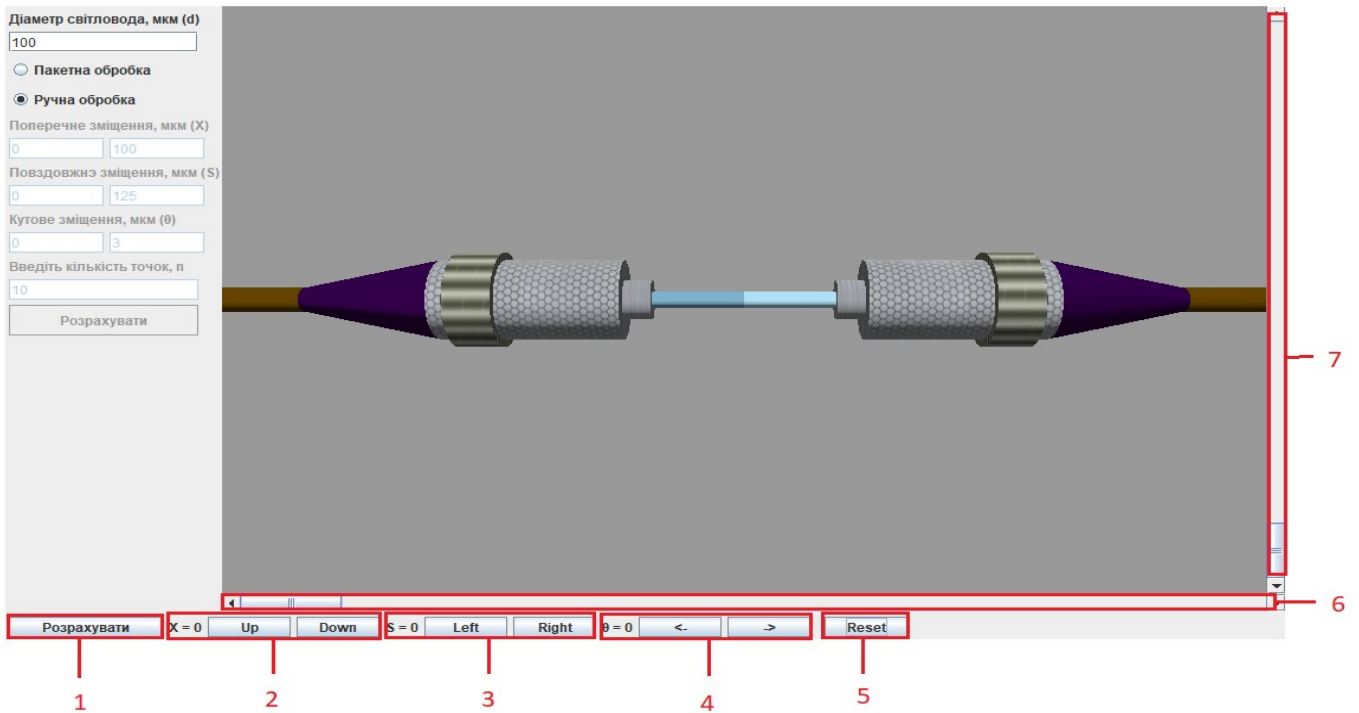


Рис. 5. Управління ручною обробкою

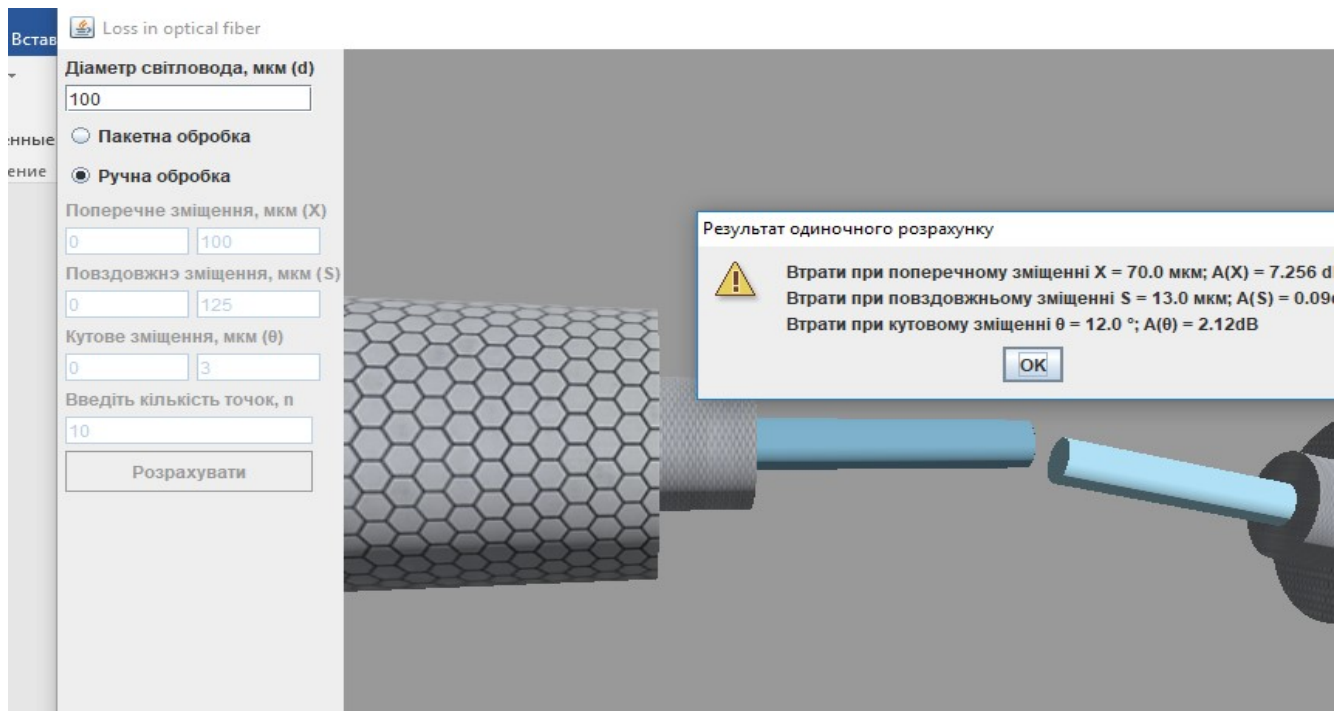


Рис. 6. Втрати при зміщенні в режимі ручної обробки

Висновки

В роботі обґрунтовано шляхи підвищення ефективності передачі інформації оптичними волокнами шляхом використання узгоджувачів елементів та дослідження оптимальних умов взаємного розташування компонентів. Запропонована технічна і технологічна реалізація процесу робить можливим вводити більшу потужність в оптоелектронні лінії передачі інформації, та зменшувати втрати що підвищує енергетичну ефективність до 35 дБ.

Визначення точності взаємного розташування компонентів дає можливість знизити втрати в з'єднанні до 0,1 дБ, передавати інформацію з більшою надійністю на більші відстані без регенерації і зберегти працездатність волоконно-оптичної системи в умовах впливу механічних, кліматичних і радіаційних факторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Pachnicke S. *Fiber-Optic Transmission Networks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
2. Govind P. Agrawal. *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
3. Ivanov A. *Fiber Optics: Components, Communications Systems, Measurements*. M.: Syrus Systems, 1999.
4. Невлюдов І.Ш., Малик Б.О., Токарева О.В., Невлюдова В.В. Підвищення ефективності оптоволоконних каналів зв'язку / Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку, 2020, випуск № 1(59). – с. 151-154.

5. Bass M., Van Stryland E.W. *Fiber Optics Handbook: Fiber, Devices, and Systems for Optical Communications*. McGraw-Hill Professional, 2002.

6. Patent G02B 6/22 "Monomode Optical Fibre", 2001.

7. H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi "Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism," in *J. Lightw. Technol.*, vol. 20, no. 8, 2002, pp. 1545–1548.

8. Филипенко, А. И. Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур [Текст]: / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова, В.В. Гончар // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2012.* – №3/5(57). – С.28–31.

9. I Sh Nevludov, AI Filipenko *Method of the Interferential Images Analysis During Testing of Quality Parameters of Fiber-Optical Components Surface* / *News of Engineering Sciences Academy of Ukraine: Mechanical engineering and progressive technologies*, 2004, № 24, p. 81-87

10. И.Ш. Невлюдов, А.И. Филипенко, Б.А. Малик *Методология и оборудование контроля параметров компонентов волоконно-оптических систем передачи информации* / *Прикладная радиоэлектроника: сб. АН Прикладной радиоэлектроники*, 2002, №1. – с. 51-56.

11. B. Malyk, O. Tokarieva, S. Malyk-Zamorii "Optical fiber structures performance enhancement under the conditions of ionizing radiation high power levels," in *Problems of Atomic Science and Technology*, no. 2 (114), 2018, pp. 13-18.

12. Patent UA122687 "Method for optical fibers matching section manufacturing", 2018.