

УДК 621.396.931

**Б. О. МАЛИК, Н. П. СЕЛЕНКОВА****ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНАНЬ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН**

Розглянута задача контролю геометричних параметрів місця зварювання різнотипних оптичних волокон при побудові систем автоматизації та управління механіко-технологічними системами та комплексами. На основі інтерференційних методів контролю розроблені методи дискретизації інтерференційних картин та їх подальший аналіз. Запропоновано метод визначення меж з'єднань різнотипних оптичних волокон, створено програмне забезпечення для його реалізації. Проведено експериментальне дослідження методу з використанням установки для отримання інтерференційних картин ОВ та розробленого програмного забезпечення, що автоматизує роботу інтерференційного методу

**Ключові слова:** оптичне волокно, площина з'єднання, ПЗЗ – фотоприймач, інтерференційні методи, програмне забезпечення.

**Вступ.** При автоматизації та управлінні механіко-технологічними системами та комплексами важливе значення має збереження амплітудного та часового балансу при передачі інформації між їх складовими. Це вимагає використання високошвидкісних та надійних ліній зв'язку, якими на цей час є лінії на оптичних волокнах.

Завдяки розвитку архітектури оптоволоконних мереж, активно використовуються технології зварювання різнотипних оптичних волокон, які потребують удосконалення методів контролю геометричних параметрів в цілому і нероз'ємних з'єднань зокрема, що обумовлює актуальність досліджень їх використання та модернізації [1].

**Постановка задачі досліджень.** Волоконно-оптичні системи є одним з найбільш перспективних напрямків при створенні фізичної основи інформаційного простору. Важливим завданням при створенні конструкцій і технологій виготовлення комплектуючих для волоконно-оптичних систем є забезпечення автоматизації операцій контролю параметрів компонентів у процесі їх виробництва, монтажу та експлуатації [2]. При реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає необхідність узгодження оптоелектронних компонентів з різними поперечними перерізами випромінюючої та приймаючої областей і різними числовими апертурами [3]. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового (ОВ) та

© Б. О. Малик, Н. П. Селенкова. 2015

багатомодового волокна (БВ), випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів [4]. Для поліпшення сполучних характеристик і враховуючи технологічні особливості виготовлення компонентів необхідно розробити нові методи контролю геометричних параметрів різних ділянок волокон що з'єднуються, які забезпечать можливість вільного доступу інструменту в робочу зону [5].

Метою роботи є обґрунтування та дослідження інтерференційного методу контролю параметрів оптичних волокон в технології їх єднань.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір оптимального методу контролю ОВ;
- дослідження засобів дискретизації зображення ОВ;
- математичне моделювання методу контролю ОВ;
- експериментальне дослідження ОВ;
- аналіз результатів, отриманих в ході експерименту.

**Огляд методів вимірювання геометричних параметрів оптичних волокон.** В процесі аналізу методів вимірювання геометричних параметрів ОВ, заснованих на використанні деяких фізичних ефектів, наприклад, дифракції при вимірах мікрооб'єктів, інтерференції, голографії, основним інформаційним параметром є просторово-часова структура картини, отриманої в результаті взаємодії випромінювання з об'єктами, що мають відповідні геометричні параметри.

Пристрої, що реалізують дифракційні методи, відрізняються високою точністю, при якій похибка досягає 0,6 %. Однак, в залежності від використовуваної модифікації методу, пристрої мають, або досить складну конструкцію, або низьку продуктивність [6].

Голографічні методи не схильні до проблем шумів. У пристроях, які їх реалізують, як правило, дві голограми послідовно знімаються на одну платівку. Оскільки фаза пучка, відбитого від предмета, змінюється, у відновленому зображенні утворюються інтерференційні смуги. Однак пристрої, що використовують голографічний метод, мають низьку продуктивність і забезпечують меншу точність. Роздільна здатність – до 100 лин / мм, в той час як високу точність можна отримати тільки при використанні голограми растра з роздільною здатністю 103 лин / мм і більше. Крім того, вони чутливі до вібрацій.

Інтерферометричні пристрої застосовують при вимірах з особливо високою точністю, за винятком областей різких градієнтів показника заломлення ( $\Delta n$  приблизно дорівнює від 10–4 на периферії серцевини до 10–3 в центрі). Їх роздільна здатність 5...50 лин/мм, метод досить простий і допускає будь-яку ступінь автоматизації [7].

Для подальшого дослідження та модернізації був обраний інтерферометричний метод, так як на відміну від дифракційних та голографічних методів він є найбільш точним, простим в реалізації, а його недоліки в порівнянні з іншими методами представляються несуттєвими.

**Дискретизація і квантування інтерференційних сигналів.** Інтерференційна картина, що отримується при додаванні і квадратичному проектуванні когерентних світлових хвиль, характеризується безперервною зміною інтенсивності світла в полі інтерферен-

ції. Перетворення отриманого зображення в інтерференційний сигнал з дискретними значеннями аргументу часто можна розглядати як результат лінійної операції згортки. Перетворення по-фотонно безперервного інтерференційного сигналу в сигнал з кінцевою безліччю значень є квантуванням. Операція квантування пов'язана з округленням значень безперервного сигналу, тому ця операція є нелінійною.

Похибка дискретизації можна розділити на дві складові: похибка усереднення всередині світлочутливого елемента та похибка, обумовлена геометричним розташуванням елементів дискретизації в площині (x, y). Ці складові похибки можна дослідити на основі математичного апарату інтегральних перетворень і конфліктного аналізу для детермінованих і випадкових відхилень параметрів дискретизації. Похибку квантування зазвичай розглядають як результат впливу детермінованої нелінійності і випадкового шуму квантування. При цьому використовують статистичні методи аналізу.

**Комп'ютерна обробка інтерференційних картин.** Нові можливості вирішення задачі комп'ютерної обробки інтерференційних картин з'явилися у зв'язку зі створенням лінійних і двовимірних приладів з переносом заряду. Їх перевагами є висока стабільність параметрів і надійність в роботі, висока точність кроку дискретизації (геометрична похибка не більше 0,3 мкм), яка забезпечується мікроелектронною технологією виготовлення, великий динамічний діапазон (до 60 дБ і більше).

Можливість використання приймачів випромінювання ПЗЗ для аналізу інтерференційної картини визначається тим, наскільки повно вони відповідають необхідним вимогам по кроку дискретизації, чутливості і динамічному діапазону.

Серійні зразки приладів з зарядовим зв'язком мають крок дискретизації 12 мкм і менше, тому вони, як правило, забезпечують необхідний крок дискретизації інтерференційної картини.

**Дослідження оптичної інтенсивності інтерференційної картини ОВ.** Ґрунтуючись на проведених дослідженнях інтерференційних методів та методів квантування та дискретизації інтерференційних картин були змодельовані інтерференційні картини, зображені на рис. 1. Зображення характеризуються оригінальними темними лініями, що покриті інтерференційними смугами. Виходячи з цього, елемент з'єднання двох волокон може бути знайдений тільки за допомогою інтерференційних смуг. Так як на кількість інтерференційних смуг можуть впливати розміри волокна, інтенсивність світла та положення фокальної площини, корекція цих трьох факторів необхідна для отримання задовільного зображення [8].

Використовуючи програмний комплекс MatLab, було обрано частину зображення оптичного волокна, яка характеризує каскадний перехід між двома волокнами, та зображена на рис. 2. За допомогою вбудованих програмних засобів, зображення було завантажено в програмний комплекс для подальшого аналізу [8].

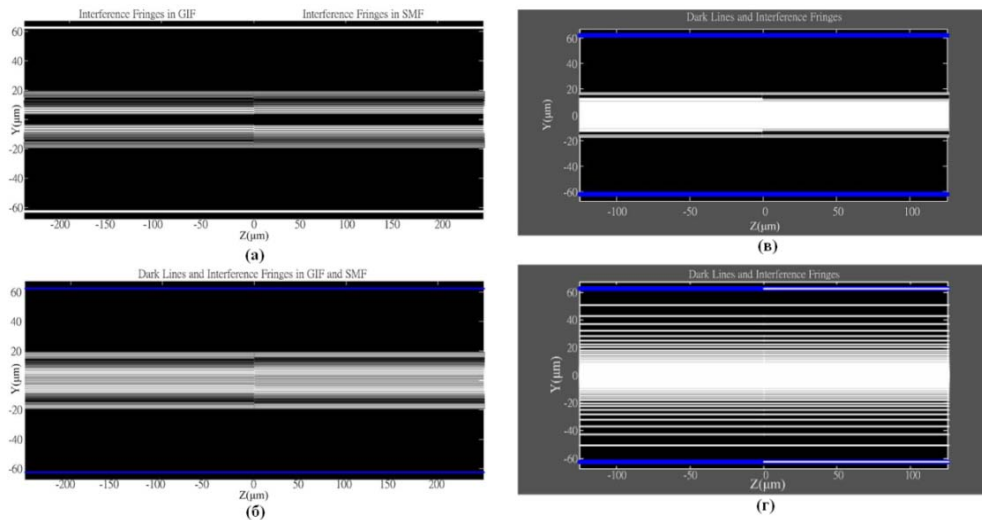


Рис. 1 – Моделі оптичних волокон

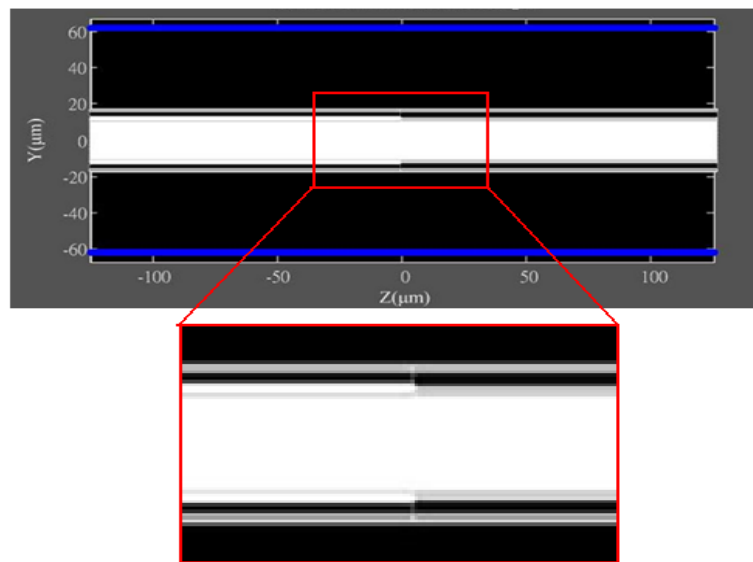


Рис. 2 – Каскадний перехід між двома волокнами.

Обране зображення було дискретизовано за просторовими координатами  $x$  та  $y$  і квантуванням значення ступені яскравості в кожній дискретній точці.

Дискретизоване зображення представляє собою матрицю чисел

$$I(x, y) = \begin{pmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & \dots & I_{1m} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & \dots & \dots \\ I_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{n1} & \dots & \dots & \dots & I_{nm} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $I_{nm}$  – значення інтенсивності у відповідній точці зображення.

Використовуючи отриману матрицю, інтерференційна картина ОВ була досліджена на наявність зміни типу ОВ. Для цього була написана підпрограма, мета якої визначити на основі даних про яскравість тієї чи іншої частки картини межі типу ОВ [9]. В її основі лежить побудова графіків, які наглядно демонструють положення серцевини ОВ відносно оболонки. Графік залежності оптичної інтенсивності

від поперечної координати інтерференційної картини ОВ першого типу зображена на рис. 3.

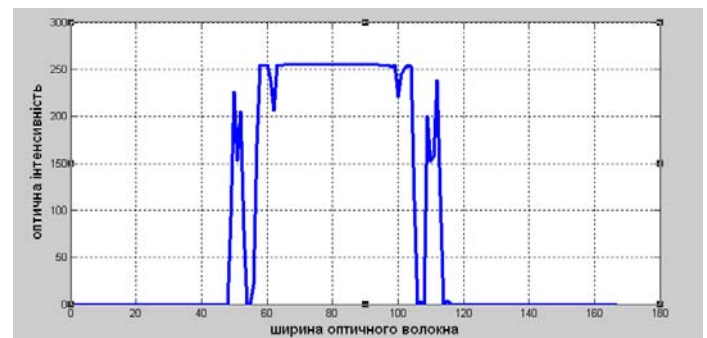


Рис. 3 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ першого типу

Графік залежності оптичної інтенсивності від ширини ОВ другого типу зображена на рис. 4.

За отриманими графіками визначаються межі стрибків оптичної інтенсивності, в яких знаходиться ОВ, за якими можна визначити координати початку і кінця інтерференційних смуг в ОВ. Це дає змогу,

порівнявши результати, знайти перехід між різнотипними волокнами. Математично це визначається стрибком яскравості, яка визначається за умовою

$$K \geq |d_{i+5} - d_i|, \quad (2)$$

де  $K=80$  – коефіцієнт градієнтного переходу;  $d$  – ступінь яскравості елемента інтерференційної картини.

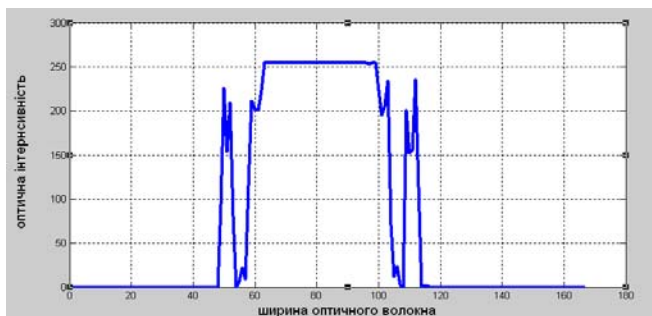


Рис. 4 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ другого типу

За формулою (2) визначається дві граничні точки, які фактично являються максимальним стрибком інтенсивності інтерференційних смуг ОВ, які в подальшому використовуються для знаходження діаметру волокна та місця переходу між різнотипними волокнами.

Для фільтрації даних від шуму було використано фільтр, який завдяки своєму алгоритму, сканує дані, подані у вигляді графіку і згладжує вірогідні похибки. Це дозволяє з більшою долею вірогідності, порівнюючи результати для двох типів волокон, знайти межі їх з'єднання. Результати роботи фільтру зображені на рис. 5, 6.

Для подальшого вивчення зображення ОВ та визначення положення межі між типами з'єднаних оптичних волокон, було написано підпрограму, яка визначала положення граничних стрибків оптичної інтенсивності відносно середньої лінії ОВ. Дані про зміну верхньої та нижньої границі діаметру сердцевини ОВ зображені на рис. 7.

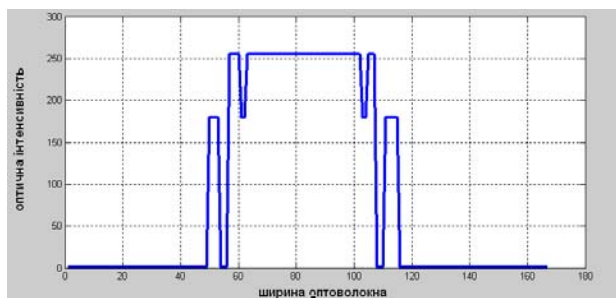


Рис. 5 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ після фільтрації

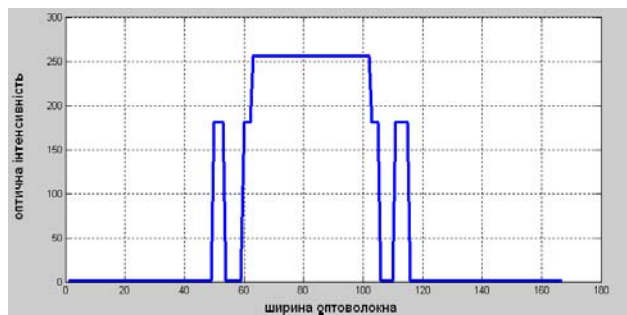


Рис. 6 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ після фільтрації

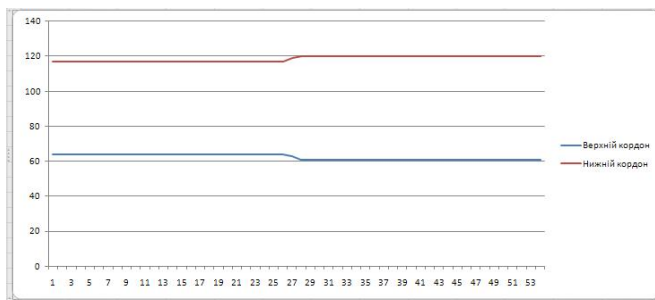


Рис. 7 – Графіки зміни граничної оптичної інтенсивності ОВ відносно довжини ОВ.

Грунтуючись на отриманих даних можна визначити стрибок оптичної інтенсивності за формулою 1, де  $K$  – коефіцієнт зміни діаметру ОВ не повинен бути менше 5.

Було проведено моделювання методу, в якому розраховується відстань між крайніми границями оптичної інтенсивності. Для цього розроблено підпрограму, робота якої полягає в визначенні крайньої нижньої та верхньої границь стрибка оптичної інтенсивності та розрахунку відстані між ними. Результат роботи підпрограми зображено на рис. 8.

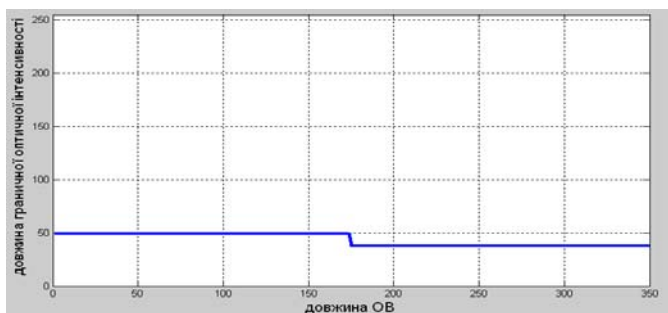


Рис. 8 – Графік залежності відстані між крайніми границями оптичної інтенсивності від довжину ОВ

Грунтуючись на отриманих результатах можна дійти висновку, що метод пошуку межі між двома типами волокон, який ґрунтується на розрахунку відстані між крайніми границями оптичної інтенсивності відповідає поставленій задачі та виконує вимоги в повному обсязі.

### Експериментальні дослідження

Запропонований метод контролю для спостереження сполучної площини використовує явище інтерференції. Наступні моделювання і розрахунки дозволяють ідентифікувати місце стику. При 40-мм робочій відстані, яка потрібна сучасним виробництвам, інтерференція світлових променів через волокно істотно збільшується. У таких зображеннях можна спостерігати відмінності між інтерференційними смугами в багатомодових і одномодових волокнах. Інтенсивності і кількості інтерференційних смуг в цих двох секціях волокна будуть різними, що дозволяє визначити місце розташування сполучної площини.

Оскільки зображення, зняте за допомогою контролюючої системи включає вихідну інформацію про зображення і інтерференційну картину, то обидві моделі слід розглядати в один і той же час.

Так як на кількість, положення і інтенсивність інтерференційних смуг можуть впливати розміри волокна, потужність світла і розташування фокальної площини необхідний облік цих трьох факторів для отримання задовільного зображення [10]. Щоб знайти оперативну інформацію про БВ і ОВ ділянках, застосовується програмна і апаратна обробка зображень. Для роботи реальної системи контролю різниця між зображеннями повинна бути досить великою. При довжині хвилі світлового пучка 650 нм і фокальній площині, яка змінюється від 0 до 150 мкм (крок=1 мкм), програма визначає відмінності між ОВ і БВ ділянками в кожній фокальній площині. Гарний результат може бути отриманий, коли фокальна площина знаходиться на відстані  $X=60$  мкм. (рис. 9) Цієї інформації достатньо для програми контролю відмінностей на двох ділянках волокна.



Рис. 9 – Результат контролю на відстані фокальної площини  $X=60$  мкм

### Висновки

1. Були розглянуті різні види неруйнівних методів контролю ОВ, засоби дискретизації та квантування інтерференційних зображень ОВ, основні принципи роботи яких стали основою розробленої програми для автоматичного пошуку місць з'єднань ОВ.

2. Проведено математичне моделювання розробленого методу контролю ОВ.

3. Проведено експериментальне дослідження методу з використанням установки для отримання інтерференційних картин ОВ та розробленої програмно-

го забезпечення, що автоматизує роботу інтерференційного методу пошуку місця зварки двох різнотипних ОВ.

**Список литературы:** 1. Haibara, T., Monitoring method for axis alignment of single-mode optical fiber and splice-loss estimation [Text] / T. Haibara, M. Matsumoto, T. Tanifuji, and M. Tokuda – Opt. Lett. – 1983. – Vol. 8, No. 4. – P. 235–237. 2. Ohashi, M. Mode coupling at arc-fusion splices in graded-index fibers [Text] / M. Ohashi, K. Kitayama, S. Seikai – IEEE J. Quantum Electron. – 1982. – Vol. QE-18, No. 2. – P. 274–277. 3. Yoda, H. Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism [Text] / H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi – J. Lightw. Technol. – 2002. – Vol. 20, No. 8. – P. 1545–1548. 4. Иванов, А. Б. Волоконная оптика [Текст] / А. Б. Иванов. – М.: Сайрус Системс – 1999 – 658 с. 5. 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. 6. Мировицкая, С. Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон [Текст] / С. Д. Мировицкая, Л. П. Лазарев. – М.: Радио и связь, 1988 – 280 с. 7. Филипенко, А. И. Определение геометрических параметров каскадных волокон [Текст] / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №58. – С. 161–165. 8. Филипенко, А. И. Распределение оптического поля волокон с различным профилем показателя преломления при поперечном освещении [Текст]: / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Сборник научных трудов V Международной научной конференции «Функциональная база наноэлектроники» – Харьков–Кацивели, 2012. – С. 243–246. 9. Филипенко, А. И. Использование интерференционных методов контроля при производстве каскадных волокон [Текст] / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Материали Другої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем» – Северодонецьк, 2012 – С. 71–72. 10. Филипенко, О. І. Система інтерференційного контролю геометрических параметров каскадных волокон [Текст] / О. І. Филипенко, Б. О. Малик, Н. П. Селенкова // 13-я международная практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии» – Одесса, 4–8 июня 2012 г. – С. 212.

**Bibliography (transliterated):** 1. Haibara, T., Matsumoto, M., Tanifuji, T., Tokuda, M. (1983). Monitoring method for axis alignment of single-mode optical fiber and splice-loss estimation, Opt. Lett, Vol. 8, No. 4, 235–237. 2. Ohashi, M., Kitayama, K., Seikai, S. (1982). Mode coupling at arc-fusion splices in graded-index fibers, IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-18, No. 2, 274–277. 3. Yoda, H., Endo, T., Shiraishi, K. (2002). Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism, J. Lightw. Technol., Vol. 20, No. 8, 1545–1548. 4. Ivanov, A. (1999). Volokonnaja optika, Moscow: Sajrus Sistems, 658. 5. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N., Gonchar, V. (2012). Kontrol' geometricheskikh parametrov kaskadnykh optovolokonnykh struktur, Vostochno-Evropskij zhurnal peredovih tehnologij, №3/5(57), 28–31. 6. Mirovickaja, C., Lazarev, L. (1988). Kontrol' geometricheskikh i opticheskikh parametrov volokon. Moscow: Radio i svjaz', 280. 7. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2011). Opredelenie geometricheskikh parametrov kaskadnykh volokon, Vestnik nacional'nogo tehniceskogo universiteta «HPI», №58, 161–165. 8. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Raspreделение opticheskogo polja volokon s razlichnym profilem pokazatelja prelomlenija pri poperechnom osvshhenii. Sbornik nauchnyh trudov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Funkcional'naja baza nanojelektroniki», Kharkiv – Katsiveli, 243–246. 9. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Ispol'zovanie interferencionnyh metodov kontrolja pri proizvodstve kaskadnykh volokon. Materiali Drugoi Vseukrains'koї naukovо-praktichnoi konferencii «Aktual'ni problemi stvorenija elektronnyh zasobiv promislivih avtomatizovanih sistem», Severodonetsk, 71–72. 10. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Sistema interferencionnogo kontrolja geometricheskikh parametrov kaskadnykh volokon. 13-ja mezhdunarodnaja prakticheskaja konferencija «Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii», Odessa, 212.

Надійшла (received) 20. 12. 2015

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Малик Борис Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии и автоматизации производства радиоэлектронных и электронно–вычислительных средств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166, e-mail: [borys.malyk@nure.ua](mailto:borys.malyk@nure.ua).

**Селенкова Наталья Павловна** – аспирант, кафедра технологии и автоматизации производства радиоэлектронных и электронно–вычислительных средств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166, e-mail: [nata-selenkova@yandex.ua](mailto:nata-selenkova@yandex.ua).