

4. Bortnikova, V., Nevliudov, I., Botsman, I., & Chala, O. (2019, June). Search Query Classification Using Machine Learning for Information Retrieval Systems in Intelligent Manufacturing. In ICTERI (pp. 460–465).

Науковий керівник: Чала Олена Олександрівна, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки

УДК 621.317.082.5

СПОСІБ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА СКЛАДНОЇ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ В ПРОЦЕСІ ВИТЯЖКИ

М. Г. Гаражян

Харківський національний університет
радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: mikaiel.harakian@nure.ua

Анотація: Запропоновано спосіб оцінки конструктивно-технологічних параметрів волокон зі складною структурою поперечного перерізу в процесі витяжки, заснований на оптичному методі неруйнівного контролю за принципом методу фокусування.

Проведено експериментальні дослідження запропонованого способу на зразках мікроструктурованого оптичного волокна з одношаровою структурою повітряних отворів.

Ключові слова: мікроструктуроване волокно, метод фокусування, інтегральний показник, дефекти структури.

METHOD OF QUALITY ESTIMATING THE OPTICAL FIBER WITH COMPLICATED CROSS-SECTIONAL SHAPE IN THE DRAWING PROCESS

M. Harakian

Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14
E-mail: mikaiel.harakian@nure.ua

Annotation: A method of estimates design and technological parameters of fibers with a complex structure of cross section in the drawing process are provides. The method is based on an optical method of nondestructive testing and built on the principle focusing method.

Samples of microstructured optical fibers with a single-layer structure of the air holes was experimentally investigated using the developed method control.

Keywords: TCP session, the dynamic model, stability, optimization, AQM-algorithm.

Протягом кількох останніх років більшість наукових груп активно удосконалювали методи моделювання нових оптичних волокон з метою отримання унікальних властивостей та якостей. При цьому аналіз та моделювання найнесподіваніших структур поперечного перерізу волокна призводили до появи чудових властивостей, властивих конкретному конструктивному рішенню. Так з'явилися оптичні волокна (ОВ) зі складною формою та структурою поперечного перерізу: фотонно-кристалічні або мікроструктуровані волокна, бреггівські волокна і т.д.

Мікроструктуровані оптичні волокна (МОВ) мають дуже складну структуру у поперечному перерізі, утворену регулярним або нерегулярним розташуванням повітряних отворів, паралельних осі волокна, і мають безліч унікальних властивостей, таких як можливість регулювання дисперсії та нелінійності, можливість отримання великих значень цих величин і можливість створення одномодового режиму для широкого інтервалу довжин хвиль.

Основною причиною низького рівня відповідності отриманих експлуатаційних характеристик МОВ розрахунковим є відсутність контролю конструктивно-технологічних параметрів структури перерізу волокна на стадії витягування із заготовки. Принцип дотримання зовнішнього діаметра МОВ у допустимих межах, що використовується при витягуванні ОВ, не запобігає утворенню дефектів структури МОВ. Як встановлено, найважливішою особливістю процесу перетяжки заготівлі у світловод є відсутність технічних елементів, що формують геометричні параметри волокна, тому їх варіації визначаються конструктивними характеристиками установки для витяжки (витяжної вежі) світловодів та системою управління установкою.

До теперішнього часу управління процесом витягування здійснюється лише за критерієм стабілізації зовнішнього діаметра витягнутого волокна. Запропоновано процес управління параметрами процес витяжки здійснювати на основі аналізу конструктивно-технологічних параметрів МОВ.

Процес управління витягуванням оптичного волокна складної структури поперечного перерізу, інтерес до яких виник через їх унікальні експлуатаційні властивості, в даний час заснований лише на контролі зовнішнього діаметра волокна і управлінні температурою в печі витяжної вежі та швидкістю приймального пристрою. Удосконалення методів та засобів контролю технологічних параметрів у системі управління витягуванням волокон даного виду безсумнівно є актуальною задачею, вирішення якої підвищить якість існуючої технології витяжки [1–3].

ОГЛЯД МОЖЛИВИХ СТРУКТУР ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ МОВ ТА ДЕФЕКТІВ. Існує безліч змодельованих та реалізованих варіантів структур МОВ (рис. 1–2), кожна з яких має свої, властиві тільки їй, оптичні характеристики та властивості.

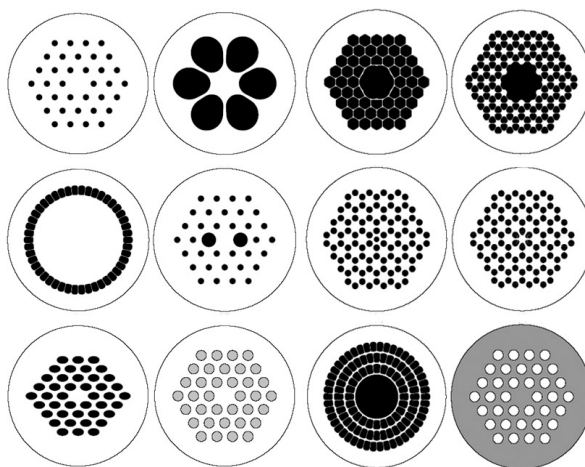


Рисунок 1 – Геометричні моделі перерізу структур МОВ

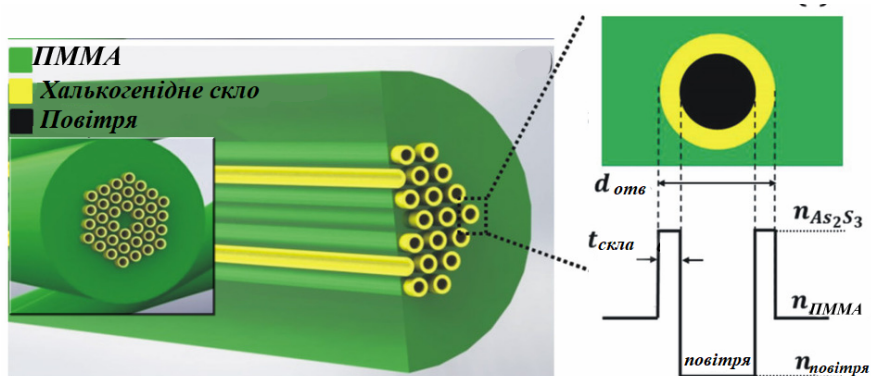


Рисунок 2 – Гібридне полімерне мікроструктуроване волокно [2]

Для вирішення задачі контролю формоутворення МОВ необхідно визначити можливі дефекти, що виникають у процесі витягування.

Зазначимо можливі стани структури, що виникають на стадії витягування МОВ:

- бездефектний стан структури перерізу (рис. 3, а);
- частковий або повний колапс повітряних отворів структури (рис. 3, б);
- часткове або повне руйнування структури з утворенням порожнин (рис. 3, в).

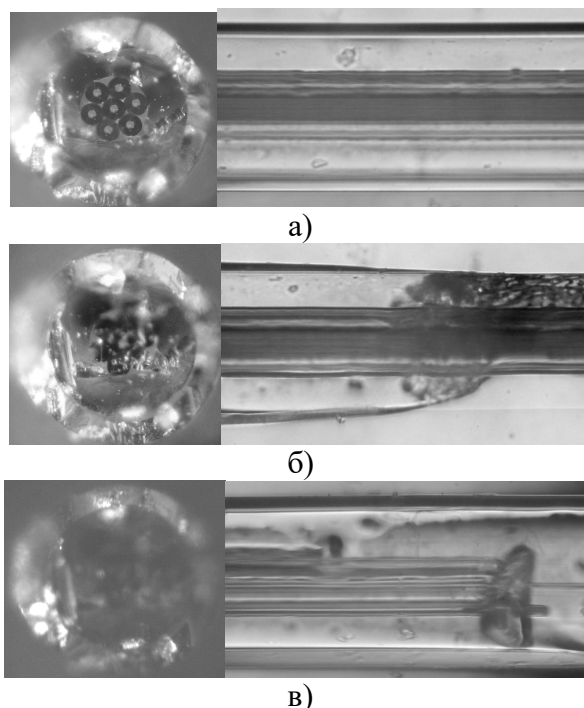


Рисунок 3 – Види дефектів мікроснімки торця волокна та результатів поздовжнього зондування: нормальний переріз (а), руйнування (б) та колапс (в)

СПОСІБ ОЦІНКИ КОНСТРУКТИВНО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕРІЗУ ОВ. Існують різні методи неруйнівного оптичного контролю прозорих структур. Одним із широко застосовуваних для точного контролю профілю показника заломлення заготовок, а також ОВ є метод фокусування, який заснований на фокусуєчих властивостях серцевини волокна, що представляє собою циліндричну лінзу, при поперечному освітленні.

Основа методу полягає у наступних етапах. На волокно під прямим кутом до осі подається паралельний некогерентний світловий пучок постійної інтенсивності. Волокно в даному випадку відіграє роль градієнтної лінзи. Промінь, що входить у волокно на відстані l від оптичної осі (рис. 4), заломлюється та виходить із лінзи під кутом, що відрізняється від кута входу. У площині зображення лінзи зондуєчий промінь потрапляє до точки на відстані $y = I(l)$ від оптичної осі.

Кількісний зв'язок показника заломлення Δn та координати $I(l)$ описується рівнянням $d^2y/dx^2 = (1/n_x) \partial n / \partial r$ для параксимальних променів, звідки нахил променя на виході з лінзи визначається інтегралом

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=\infty} = \frac{1}{n_x} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial n}{\partial r} dx,$$

а після відповідних перетворень отримуємо

$$n(r) - n_1 = \frac{1}{\pi L} \int_r^{\infty} \frac{l - y(l)}{(l^2 - r^2)^{1/2}} dl.$$

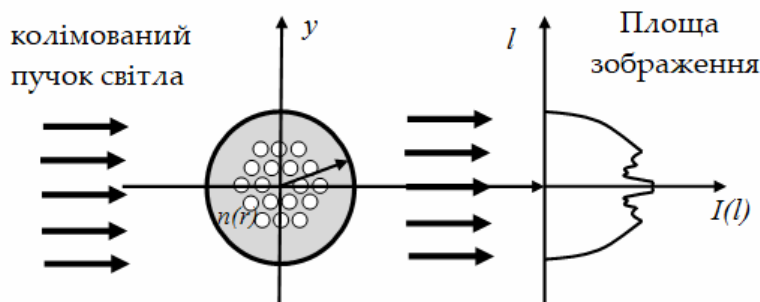


Рисунок 4 – Схема реєстрації розподілу інтенсивності оптичного поля методом фокусування

З урахуванням структури поперечного перерізу, запропоновано зареєстрований вектор інтенсивностей оптичного поля розбити на Nr зон, безпосередньо пов'язаних з особливостями періодичності розміщення порожніх капілярів.

Пропонується також ввести інтегральний показник інтенсивності оптичного поля виду

$$I_n = \{X_1, X_2, \dots, X_{Nr}\},$$

де X_{Nr} – середньоарифметичне значення інтенсивності оптичного поля перерізу у межах зони Nr .

З метою визначення характеру, ступеня та швидкості утворення дефекту проводимо регресійний аналіз інтегрального показника розподілу інтенсивності оптичного поля досліджуваної вибірки за локальними областями.

Враховуючи, що аналізу підлягає відрізок витягнутого МОВ до 2 мм (залежно від геометричних характеристик обраної КМОП-матриці), використовуючи метод кусково-лінійної апроксимації в рамках аналізованого відрізка, залежність значення інтегрального показника інтенсивності поля X_l від часу вважаємо лінійною:

$$Y = b_0 + b_1 t,$$

де b_0 – вільний член рівняння, що характеризує лінійне зміщення інтегрального показника інтенсивності;

b_1 – коефіцієнт, що визначає кут нахилу лінії регресії.

Коефіцієнти b_1 та b_0 знаходимо методом найменших квадратів у рамках досліджуваної довжини відрізка МОВ в залежності від часу.

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^m t_j^2 \sum_{j=1}^m X_{Nr,j} - \sum_{j=1}^m t_j \sum_{j=1}^m X_{Nr,j} t_j}{m \sum_{j=1}^m t_j^2 - \left(\sum_{j=1}^m t_j \right)^2},$$

$$b_1 = \frac{m \sum_{j=1}^m X_{Nr,j} t_j - \sum_{j=1}^m t_j \sum_{j=1}^m X_{Nr,j}}{m \sum_{j=1}^m t_j^2 - \left(\sum_{j=1}^m t_j \right)^2},$$

де m – кількість аналізованих перерізів;

$X_{Nr,j}$ – середнє арифметичне Nr -го інтервалу, j -го перерізу;

t_j – визначається з урахуванням параметрів КМОП-матриці та коефіцієнта масштабування.

$$t_j = \frac{m}{Q \cdot V_{ПВ}},$$

де Q – масштаб збільшення зображення;

$V_{ПВ}$ – швидкість витяжки (швидкість приймальної установки).

В якості критерію для оцінки стану перерізу структури МОВ запропоновано використати кортеж виду

$$v = \{r, \Delta b_1, b_0\}, \quad (1)$$

де r – загальний коефіцієнт парної кореляції між поточним розподілом та еталонним.

Крім того, запропонований критерій (1) має обмеження у виді системи нерівностей:

$$\begin{cases} r > r_{кр}, \Delta b_0 = 0 \pm \delta_1, b_1 = 0 \pm \delta_2; \\ r < r_{кр}, \Delta b_0 = 0 \pm \delta_1, b_1 = 0 \pm \delta_2; \\ r < r_{кр}, \Delta b_0 > 0 \pm \delta_1, b_1 > 0 \pm \delta_2; \\ r < r_{кр}, \Delta b_0 < 0 \pm \delta_1, b_1 > 0 \pm \delta_2, \end{cases} \quad (2)$$

де δ_1, δ_2 – допустимі відхилення Δb_0 та b_1 відповідно;

$r_{кр}$ – критичне значення коефіцієнта кореляції.

У (2) перша група обмежень відповідає нормальному ходу ТП, дефектів структури не виявлено; друга група – відповідає дефекту, пов'язаного з відхиленням значення кроку між отворами структури; третя група – дефекту руйнування структури отворів МОВ; остання група обмежень відповідає дефекту колапсу структури МОВ.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО СПОСОБУ. Матеріалом для експериментальних досліджень послужило МС волокно завдовжки 100 мм діаметром 130 мкм, отримане витягуванням із заготівлі, створеної методом пакування капілярів у необхідну структуру. Структура досліджуваного волокна складається з одного шару повітряних отворів (6 отворів діаметром 4 мкм) навколо порожнистої серцевини діаметром 4 мкм з кроком 14 мкм. Результати експериментальних досліджень методу, який розроблюється для оцінки стану структури МОВ підтвердили теоретичні положення дослідження. Числові значення розрахованих характеристик, що представляють інтерес областей волокна внесені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

| Номер зразка | Показники | Інтервали оцінювання | | | | | |
|----------------|------------------------------|----------------------|----------|-------|--------|---------|---------|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 |
| 1 (рис.3,а) | b_0 | 0,05 | 0,28 | 0,17 | 0,13 | 0,28 | 0,06 |
| | b_1 | 0,57 | 0,69 | 0,38 | 0,49 | 0,65 | 0,59 |
| | номер перерізу $r < 0,97$ | – | – | – | – | – | – |
| 2 (рис.3,б) | b_1 | 0,631 | -3,071 | 0,75 | 0,488 | -1,571 | -0,526 |
| | b_0 | 0,685 | 0,811784 | 0,635 | 0,743 | 0,4635 | 0,504 |
| | номер перерізу $r < 0,97$ | 88 | 51 | 30 | 91 | 123 | 49 |
| 3 (рис.3,в) | b_1 | -4,69 | -2,22 | 4,803 | -3,635 | -12,838 | -2,5351 |
| | b_0 | 0,50 | 0,74 | 0,435 | 0,507 | 0,736 | 0,535 |
| | номер перерізу $r < 0,97$ | 107 | 33 | 29 | 83 | 156 | 101 |

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ ЯКІСТЬ КОНТРОЛЮ. На якість результатів контролю впливають багато факторів:

- точність оптичної системи, що обумовлено похибкою збільшуючої системи;
- точність просторової дискретизації зображення, зумовлена похибкою розташування фоточутливих елементів у матриці;
- похибка вимірювання оптичної інтенсивності, яка обумовлена шумами та неоднорідністю чутливості елементів КМОП-матриці;
- вплив цифрової обробки даних, які вимірюються, який проявляється через тип даних чисел, операцій, що виконуються над ними, а також численними методами і тощо.

Як уже зазначалося, оптичні методи контролю оптичних волокон можуть будуватися за схемою зондування поздовжнім або поперечним до осі волокна променем. Відмінність полягає в тому, що в першому випадку аналізується модове поле випромінювання серцевини оптичного волокна, а у другому – оптичне поле, що є результатом фокусувальної дії поперечно освітленого ОБ.

Скористаємося інтегральним методом, при якому геометричні координати положення розраховують через центральний момент першого порядку функції розподілу інтенсивності у виді

$$X_C = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} x E^2(x) dx}{\int_{x_1}^{x_2} E^2(x) dx},$$

де $E(x)$ – амплітуда електричного поля;

$E^2(x)$ – інтенсивність виміряного оптичного поля.

Задача контролю величини поперечного (радіального) зсуву зводиться до визначення бокового зсуву центру симетрії сигналу. Розв'язання цієї задачі можливо здійснити з використанням принципу узгодженої фільтрації у формі автозгортки.

Модель сигналу в перерізі розподілу інтенсивності оптичного поля можна представити у виді

$$\xi(x) = I(x) + n(x),$$

де $I(x) \approx E^2(x)$ – функція розподілу інтенсивності;

$n(x)$ – адитивний шум із нульовим середнім значенням.

Узгоджений фільтр є оптимальним фільтром, який мінімізує середньоквадратичну похибку при виділенні корисної складової $I(x)$ із суміші з шумом $\xi(x)$.

Імпульсний відгук узгодженого фільтра є перевернутою відносно у та ссунутою на x_t функцією та має вид

$$h(x) = I(x_t - x).$$

Наявність зсуву означає, що з виявлення сигналу тривалістю x_t необхідно подати його протягом часу t після появи сигналу.

Таким чином, імпульсна характеристика узгодженого фільтра з точністю до постійного множника повинна бути оберненою копією корисної складової, а саме

$$h(x) = \alpha I(-x). \quad (3)$$

Відомо, що лінійна фільтрація у просторовій області еквівалентна математичній операції згортки

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau.$$

Як зазначено, для узгодженого фільтра $h(t) = x(-t)$, тому

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(\tau-t)d\tau.$$

Функція взаємної кореляції $x(t)$ та $x(-t)$ має вид

$$C(\tau) = \int_0^T x(\tau)x(t-\tau)d\tau.$$

Таким чином, узгоджена фільтрація зводиться до згортки $x(\tau)$ та $x(-\tau)$ або обчислення їхньої автокореляційної функції. Застосовуючи дані відомості, запишемо вихідний сигнал узгодженого фільтра як інтеграла згортки

$$s(z) = \xi(x) \cdot h(x) = \int_{-D/2}^{D/2} \xi(x)h(z-x)dx, \quad (4)$$

де D – протяжність ділянки реєстрації.

При підстановці (3) у (4) та $\alpha = 1$ в точці $z = 0$ маємо:

$$s(0) = \int_{-D/2}^{D/2} I^2(x)dx + R_{nn}(0) \approx R_{ii}(0),$$

де R_{ni} – оцінка взаємної коваріаційної функції шуму та сигналу близька до нуля внаслідок їхньої статистичної незалежності.

Таким чином, вихідний сигнал узгодженого фільтра відповідає автоковаріаційній функції корисної складової $I(x)$ та досягає максимуму в момент точної ідентифікації цієї складової.

Для експериментального дослідження методу фокусування в лабораторних умовах використовувалися зразки оптичного волокна різної структури (багатомодове та мікроструктуроване). Методика проведення експерименту полягала у формуванні тестового випромінювання, взаємодії тестового випромінювання з оптичним волокном, реєстрації результуючого оптичного поля, аналіз масиву (формування вектора інтенсивностей у перерізі волокна, автозгортка, перетворення вектора) та аналіз результатів обчислень.

Отримано графіки розподілу профілю показника заломлення при різних фокусних відстанях від осі волокна. У ході експерименту досліджувалися два зразки мікроструктурованого ОВ (діаметр – 140 мкм) та один зразок стандартного багатомодового ОВ (діаметр – 125 мкм).

Результати аналізу експериментальних даних представлені у виді графіків (рис.5–12). Для оцінки отриманих результатів запропоновано використовувати профіль показання заломлення МОВ, отриманий аналітично.

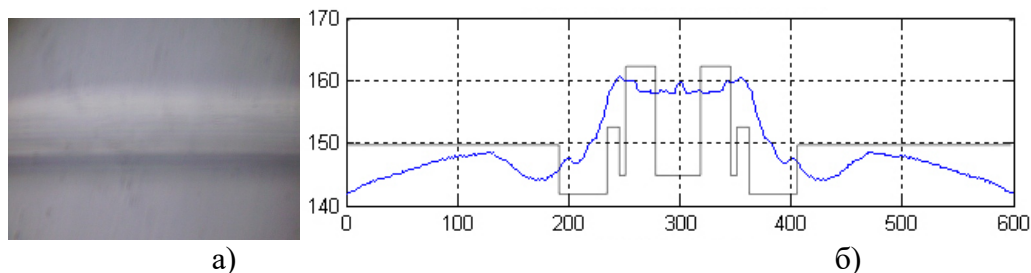


Рисунок 5 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 425 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

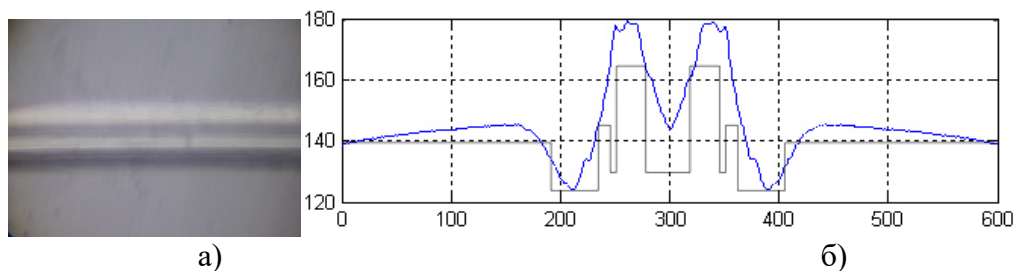


Рисунок 6 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 405 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

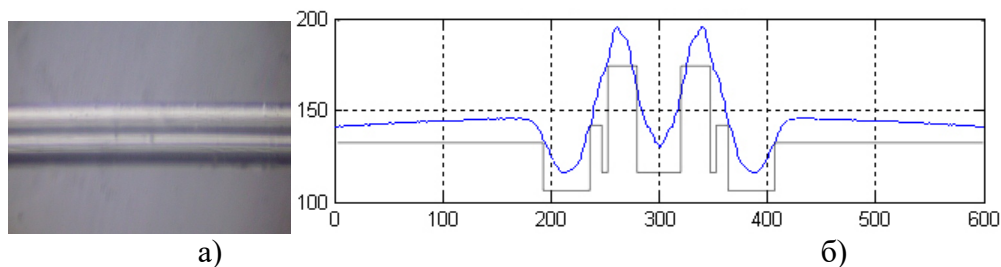


Рисунок 7 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 375 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

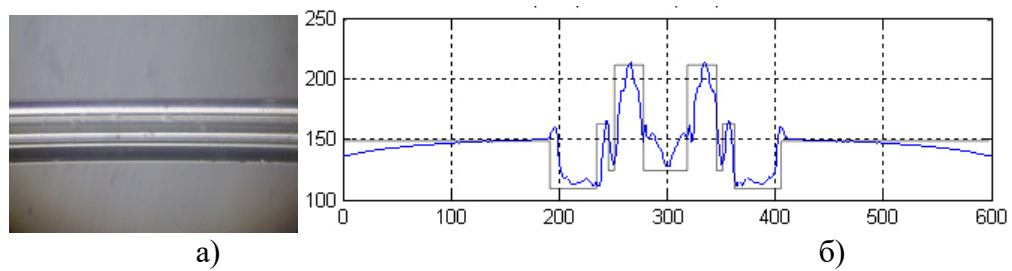


Рисунок 8 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 365 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

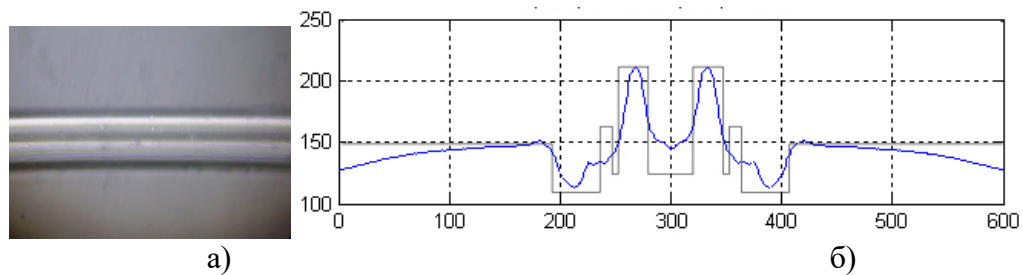


Рисунок 9 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 345 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

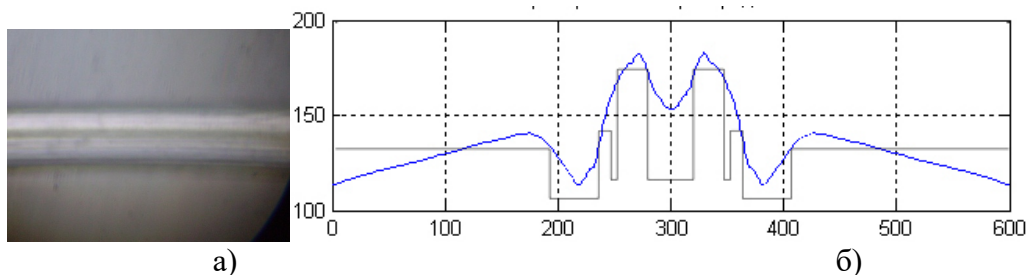


Рисунок 10 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 325 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

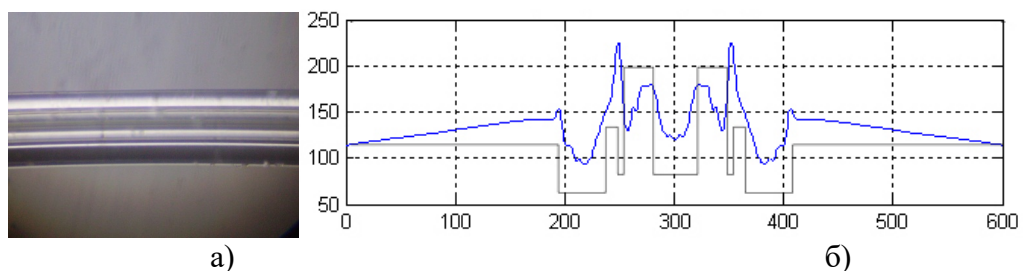


Рисунок 11 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 310 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

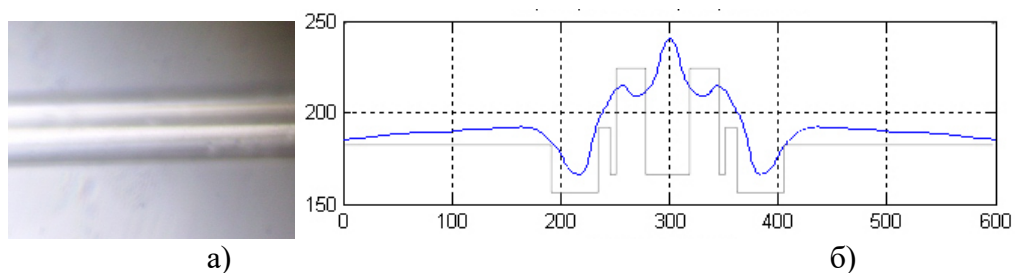


Рисунок 12 – Зразок МОВ №1, фокусна відстань 300 мкм: результат реєстрації інтенсивності (а) та результат перетворення (б)

Виходячи з отриманих даних, проаналізуємо вплив фокусної відстані на інформативність оптичного методу контролю для волокон із складною структурою перерізу. Запропоновано аналіз проводити за допомогою коефіцієнта кореляції векторів значень інтенсивності оптичного поля та профілю показника заломлення.

Для визначення оптимального значення фокусної відстані введемо критерій

$$J = \arg \max_i r_i(x, y),$$

де $r_i(x, y)$ – коефіцієнт кореляції на i -й фокусній відстані.

Результати розрахунків представлені на рисунку 13.

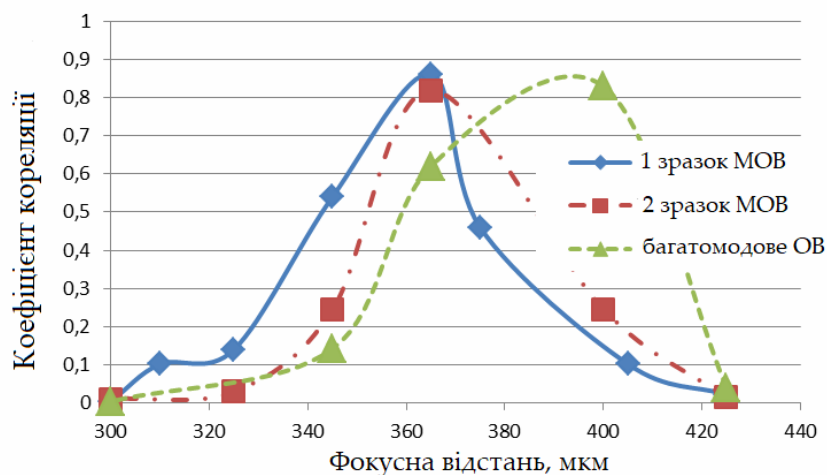


Рисунок 13 – Графіки залежності коефіцієнта кореляції від фокусної відстані для двох зразків мікроструктурованого ОВ (1;2) та багатомодового ОВ (3)

В результаті проведених досліджень одержано графіки розподілу профілю показника заломлення при різних фокусних відстанях. Для обох зразків МОВ оптимальною є фокусна відстань, що дорівнює 365 мкм, оскільки в даній точці коефіцієнт кореляції прагне до свого максимуму, при цьому для зразка багатомодового ОВ, який розглядається, оптимальним є фокусна відстань, рівна 400 мкм.

Таким чином, встановлено, що для використання методу фокусування в процесі витяжки ОВ необхідно жорстко дотримуватись та контролювати фокусну відстань.

ВИСНОВКИ

Запропоновано новий спосіб оцінки якості ОВ складної форми поперечного перерізу в процесі витяжки, заснований на результатах поздовжнього оптичного контролю внутрішньої структури перерізу, що дає можливість побудувати систему управління процесом витяжки з урахуванням оцінки структури перерізу та допусків на її геометричні параметри.

У роботі отримав розвиток оптичний неруйнівний метод контролю перерізу ОВ, в якому для оцінки параметрів показника профілю заломлення запропоновано використання інтегрального показника інтенсивності оптичного поля, що забезпечує можливість виявити дефектні деформаційні зміни з урахуванням складності структури.

Проведені експериментальні дослідження впливу фокусної відстані на якість запропонованого методу дали можливість встановити оптимальну фокусну відстань для волокон складною структурою (МОВ) отримано при фокусуванні в ділянку серцевини, на відміну від стандартного багатомодового волокна, де рекомендується фокус вибирати трохи за серцевиною волокна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Christos M, Irnis Kubat, Ole Bang Hybrid polymer photonic crystal fiber with integrated chalcogenide glass nanofilms // Scientific Reports. 2014. Vol.4. Режим доступа к журн.:<http://www.nature.com/srep/2014/140814/srep06057/full/srep06057.html>.
2. Making a Better Photonic Crystal Fiber. Fiber Draw Tower // Lawrence Livermore National Laboratory. 2013. Режим доступа к журн.: <https://str.llnl.gov/content/pages/april-2013/pdf/4.13.2.pdf>.
3. Алексеева Л. Б., Артюшков Л. Б. Выбор регрессионной модели процесса вытяжки световодов. Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2013. № 3. С. 112–115.
4. Желтиков А. М. Микроструктурированные световоды в оптических технологиях. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 192 с.
5. Фитт А. Ф., Фурусав К., Монро Т. М., Пожалуйста, С. П., Ричардсон Д. Математическое моделирование вытяжки капилляров для изготовления дырявых волокон // Журнал инженерной математики. 2002. Т. 43. № 2–4. С. 201–227.

Науковий керівник: Аллаxверанов Рауф Юсіфович, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК 621.311

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНОЮ ТРЕКОВОЮ СИСТЕМОЮ ОСВІТЛЕННЯ

Іванцов О. С.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: oleksandr.ivantsov1@nure.ua

Анотація. Розроблено систему віддаленого керування низьковольтною трековою системою освітлення. Система складається з основного потенціометру, який передає керуючий MIDI-сигнал до програмного забезпечення на комп'ютері. Даний сигнал обробляється та відображається у вигляді кривої автоматизації. Отриманий керуючий сигнал передається на двигун моторизованого потенціометра, повзунок якого виконує роль адаптера на шиніпроводі. Досліджено засіб віддаленого керування системою за допомогою програмного забезпечення TouchOSC.

Ключові слова: автоматизація керування, трекова система освітлення.

AUTOMATION OF CONTROL FOR LOW VOLTAGE TRACK LIGHTING SYSTEM

O. Ivantsov

Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14
E-mail: oleksandr.ivantsov1@nure.ua

Annotation: A system of remote control of a low-voltage track lighting system was developed. The system consists of a main potentiometer that transmits the control MIDI signal to the software on the computer. This signal is processed and displayed as an automation curve. The received control signal is transmitted to the motor of the motorized potentiometer, the potentiometer fader acts as an adapter on the bus bar. The tool of remote control of system by means of the TouchOSC software is investigated.

Key words: control automation, track lighting system.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Низьковольтні трекові системи освітлення з кожним роком стають все популярнішими завдяки зручності використання та їх широкому функціоналу.