

О.С. Комарова^{1,2}
В.С. Павлов³
Ю.А.Петрушко²
О. Петраковський²

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ОДНОРІДНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЩІЛЬНОСТІ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ВИХОДІ КОРОТКИХ ВІДРІЗКІВ БАГАТОМODOВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

¹ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

³Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Анотація. Представлено результати дослідження розподілу щільності потужності лазерного випромінювання на виході коротких багатомодових оптичних волокон різної довжини для подальшого врахування особливостей цих розподілів при впливі на біологічну тканину. Для експериментів було використано два джерела лазерного випромінювання на двох та трьох емітерах.

Ключові слова: потужність, лазерне випромінювання, розподіл щільності потужності, багатомодове оптичне волокно, лазер, світловод

Актуальність. З точки зору лазерної дії на біологічну тканину при проведенні будь-яких маніпуляцій найважливішою задачею є забезпечення однакових питомих енергетичних параметрів впливу в межах всього об'єму, який обробляється (патологічної зони). Для доставки оптичного випромінювання до патологічної зони використовується волоконно-оптичний світловодний інструментарій (світловоди) [1].

Особливий інтерес представляє забезпечення однорідності розподілу щільності потужності ЛВ на виході коротких відрізків оптичних волокон. По-перше, найчастіше в медичній практиці спеціалісти мають справу саме з короткими відрізками багатомодових циліндричних світловодів (надалі короткі світловоди) довжина яких майже не перевищує 3 м, що обумовлено цілим рядом факторів. По-друге, в коротких світловодах невідомий просторовий режим розподілу потужності по модам, що призводить до режиму неповного заповнення світловоду модами, як по площі поперечного перерізу вхідного торцю світловоду, так і по його апертурному куту, що погіршує якість пучка. По-третє, неоднорідність просторового розподілу інтенсивності джерел випромінювання призводить до порушення як напрямних, так і мод, що витікають, і погано прогнозованого розподілу потужності по модах в багатомодових світловодах. Отже, розподіл потужності на виході короткого світловоду буде залежати від виконання джерела лазерного випромінювання (ЛВ), умов збудження, оптико-геометричних параметрів та довжини світловоду в т.ч. від зовнішніх умов.

Мета роботи. Дослідити та провести оцінку рівномірності розподілу щільності потужності потоку ЛВ на виході коротких відрізків багатомодових оптичних волокон при різному конструктивному виконанні джерел лазерного випромінювання для подальшого врахування особливостей цих розподілів при впливі на біологічну тканину.

Матеріали та методи. Відомо, при взаємодії гаусового пучка з поверхнею біотканини спостерігається нерівномірний розподіл температури та енергетичних параметрів за площею. Оскільки через Гаусів спад пучок немає різко виражених кордонів, то найчастіше діаметром пучка вважають – діаметр кола на межі якого інтенсивність становить $1/e^2$ від інтенсивності в центрі кола [4]. Враховуюче це, в ідеальному випадку потік ЛВ на виході світловода вимагає рівномірного розподілу інтенсивності на вершині пучка.

У роботі було досліджено оптичні потоки згенеровані дво- і трьохемітерним джерелами лазерного випромінювання на виході коротких багатомодових оптичних волокон різної довжини для подальшого врахування особливостей цих розподілів при впливі на біологічну тканину.

Були реалізовані 3 світловоди: світловод № 1 - оптичне волокно довжиною 325 мм, світловод № 2 – оптичне волокно довжиною 1 000 мм, світловод № 3 - оптичне волокно довжиною 1000 мм. Лінійні розміри ділянок світловодів вибиралися з урахуванням використання у виробках медичного призначення. Для реалізації світловодів використовувалося оптичне волокно ZLWF200/240/270HBLT/0.27//375newH (Light Guide Optics) діаметром 200/240 мкм. Паспортне значення числової апертури NA 0,27±0,02, робоча довжина хвилі: від 400 до 2200 нм. З одного боку на всіх волокнах були встановлені конектори SMA-905. Вихідна сторона волокон була відполірована.

Для проведення експериментів використовувалися оригінальні стабілізовані джерела оптичного випромінювання виробництва ПП "Фотоніка Плюс" (Україна).

Для проведення експериментальної оцінки рівномірності розподілу щільності потужності оптичних потоків на виході описаних вище світловодів була зібрана експериментальна установка, структурна схема якої наведена на рис. 1.

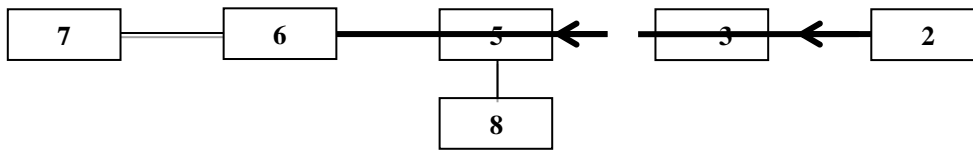


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – світловод, 2 - лазерне термостабілізоване джерело випромінювання, 3 – предметний столик, 4 - фотоприймач з малим поперечним перерізом приймаючої ділянки, 5 - юстирувальний оптичний стіл, 6 – приймальна голівка вимірювача потужності, 7 – вимірювач потужності, 8 – часовий індикатор.

При проведенні експериментальних вимірювань вихідний кінець світловода (1) підключалася до стабілізованого джерела оптичного випромінювання (2). Вихідний кінець оптичного волокна (1) розміщувалися на предметному столику (3) і трохи виступав за габарити предметного столика (на 1 ± 2 мм). Світловоди, які досліджувалися при вимірах були прямолінійно витягнуті (не мали загинів малих радіусів).

Як фотоприймач з малим поперечним перерізом приймальної ділянки використовувалося оптичне волокно (4) (надалі приймальне волокно) і виконувало роль діафрагми приймальної головки ОРНІР NOVA II S/N881032 (6) вимірювача потужності ОРНІР NOVA II (7). Для цих цілей було обрано полімерне оптичне волокно (діаметр 600 мкм). Вхідний кінець приймального оптичного волокна, який було оконцовано конектором SMA-905, під'єднувався до приймальної головки ОРНІР NOVA II S/N881032 (6). Вхідний кінець приймального оптичного волокна (4) розміщувався на верхньому майданчику трьохкоординатного юстувального столика з мікрометричним рухом (5) з невеликим (2-3 мм) вильотом щодо габаритів майданчика. Юстувальний та предметний столики розташовувалися таким чином, що відстань між торцевими поверхнями волокон (1) і (4) забезпечувала діаметр світлової плями лазерного випромінювання, що виходить з оптичного досліджуваного волокна (1) в площині переміщення приймального волокна (4). У спрощеному вигляді зона вимірів показано на рис. 2.

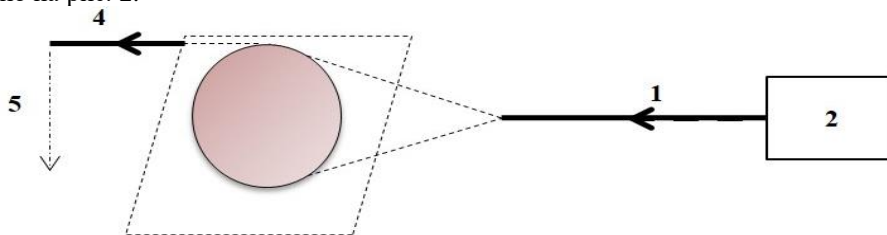


Рис. 2. Принципова схема експерименту

Вхідний кінець волокна (4) крок за кроком переміщався вздовж діаметру світлової плями лазерного випромінювання. Крок переміщення становив 0,5 мм, контролювався за допомогою упору робочої частини годинникового індикатора (8) (індикатор годинного типу цифровий ІЧЦ-25/0.01 мм) в рухому плиту юстувального столика (5). У всіх проміжних положеннях приймального волокна реєструвалися значення потужності оптичного випромінювання.

Результати та обговорення.

В результаті проведених експериментальних вимірювань та обробки отриманих даних було побудовано графіки розподілу щільності потужності ЛВ вздовж діаметру світлової плями. Графіки розподілу щільності потужності ЛВ для дво- та трьохмітерних лазерів наведені на рис. 3-4 відповідно.

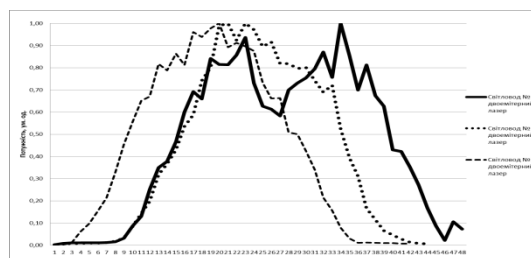


Рис. 3. Графік розподілу щільності потужності ЛВ вздовж діаметру світлової плями згенерованого двоємітерним джерелом лазерного випромінювання на виході світловодів №№1-3

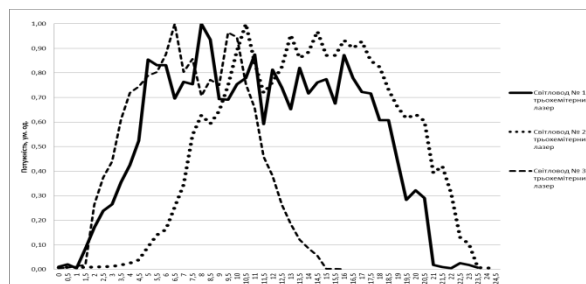


Рис. 4. Графік розподілу щільності потужності ЛВ вздовж діаметру світлової плями згенерованого трьохмітерним джерелом лазерного випромінювання на виході світловодів №№1-3

Отримані в результаті експерименту залежності розподілу щільності потужності ЛВ на виході коротких світловодів є досить неоднорідними.

У межах діаметрів світлових плям ЛВ згенерованого дво- та трьохмітерним лазерами на виході коротких світловодів №№ 1-3 однорідність потоку коливається в діапазоні $0,58 \div 1,0$ (рис. 3-4).

Рівень однорідності розподілу щільності потужності на виході світловодів №№ 2-3 (довжина 1 000 мм) значно перевищує однорідність розподілу світловоду № 1 (довжина 325 мм). Трьохмітерне джерело лазерного випромінювання забезпечує кращий розподіл потужності по модах.

Ймовірно, збільшення довжини коротких відрізків багатомодових світловодів призведуть до покращення однорідності оптичного потоку на виході.

Висновки. Отримані на етапі фізичного моделювання експериментальні результати показують, що при використанні коротких відрізків багатомодових циліндричних світловодів у вихідних каскадах лазерної медичної апаратури на біологічних поверхнях формуються оптичні плями з нестабільним і нерівномірним розподілом потужності оптичного випромінювання. Як мінімум, цей факт необхідно враховувати при розрахунку і виборі величини потужності лазерного випромінювання з метою забезпечення очікуваного відгуку організму в межах всієї освіченої площі.

Ймовірно, збільшення довжини коротких відрізків багатомодових світловодів призведуть до покращення однорідності оптичного потоку на виході.

В рамках виконання гранту НФДУ 2022.01/0135 «Розробка лазерно-фотонного лікувально-діагностичного комплексу медичної реабілітації пацієнтів з політравмами різного ступеня важкості»

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Комарова, О. С., Холін, В. В., Терещенко, М. Ф., Павлов, С. В., інш. (2022) «Волоконно-оптичний малоінвазивний дифузний розсіювач на оптичному волокні для внутрішньотканинного лазерного впливу», Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 41(1), с. 39–46. doi: 10.31649/1681-7893-2021-41-1-39-46.
- [2] Комарова, О. С., Холін, В. В., Терещенко, М. Ф., Павлов, С. В., Розуменко, В. Д., Посохов, М. Ф., Івасенко, В. І. і Лапіна, С. М. (2023) «Експериментальне оцінювання однорідності вихідних потоків оптичного випромінювання прямокутної форми при різних варіантах виконання вихідних ділянок світловодних насадок до медичної лазерної апаратури», Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування, (65(1)), с. 123–127. doi: 10.20535/1970.65(1).2023.283458.
- [3] Войцехович, В. С., Карпушева, А. Г., Качалова, Н. М., Петрушко, Ю. А., Терещенко, Н. Ф. і Холін, В. В. (2020) «О равномерности распределения плотности мощности лазерного излучения на выходе оптических волокон», Актуальні питання застосування лазерів в медицині – 2020 : Матеріали науково-практ. конф., м. Черкаси, 30-31 жовтня 2020 р. Черкаси, 2021. С. 26–29.].

Комарова О.С. - інженер-технолог, аспірант, ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: komarova.ollha@gmail.com

Павлов В.С. - аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна аспірант, e-mail: psv@vntu.edu.ua

Петрушко Ю.А. - інженер-електронік, ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна e-mail: info@fotonikaplus.com.ua

Петраковський О. - інженер-електронік, ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна e-mail: info@fotonikaplus.com.ua

METHOD OF ASSESSING THE UNIFORMITY OF THE POWER DENSITY DISTRIBUTION OF LASER RADIATION AT THE OUTPUT OF SHORT SECTIONS OF MULTI-MODE OPTICAL FIBERS

Abstract. The results of the study of the laser radiation power density distribution at the output of short multimode optical fibers of different lengths are presented for further consideration of the features of these distributions when affecting biological tissue. Two sources of laser radiation with two and three emitters were used for the experiments.

Key words: power, laser radiation, power density distribution, multimode optical fiber, laser, optical fiber

Komarova O.S. - technological engineer, post-graduate, PE "Fotonika Plus", Cherkasy, Ukraine, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: komarova.ollha@gmail.com
Pavlov V.S. - graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, graduate student, e-mail: machinehead6926@gmail.com
Petrushko Yu.A. - electronic engineer, PE "Fotonika Plus", Cherkasy, Ukraine e-mail: info@fotonikaplus.com.ua
Petrakovskii O. - electronic engineer, "Fotonika Plus" PE, Cherkasy, Ukraine e-mail: info@fotonikaplus.com.ua