

УДК 535.2.616

Ольга КОМАРОВА<sup>1</sup>, аспірант,  
Микола ТЕРЕЩЕНКО<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Володимир ХОЛІН<sup>2</sup>, директор  
Сергій ПАВЛОВ<sup>3</sup>, д.т.н., професор

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: komarova.ollha@gmail.com, agfarkpi@i.ua

<sup>2</sup> ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна, e-mail: info@fotonikaplus.com.ua

<sup>3</sup> Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.ua

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ МАЛОІНВАЗИВНИЙ ДИФУЗНИЙ РОЗСІЮВАЧ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Анотація:** На сьогодні актуальною є реалізація різних варіантів дистальних ділянок світловодів, що дозволяють забезпечити різні трансформації оптичного потоку з максимальним урахуванням розмірів та контурів патологічних об'єктів для високої ефективності проведення наукових досліджень або медичних процедур. Одним із таких варіантів може бути малорозмірний дифузний розсіювач з прийнятними оптичними параметрами виконаний безпосередньо на дистальній ділянці полімерного світловоду.

Проведені дослідження створили основу для впровадження нових методів створення малоінвазивних дифузних розсіювачів на дистальній ділянці оптичного полімерного волокна.

**Ключові слова:** малоінвазивний дифузний розсіювач, дифузор, світловод, внутрішньотканинний лазерний вплив, полімерне оптичне волокно.

**Вступ.** Сучасні дослідження науки і технології у світі відкрили перспективні напрями, в яких світлове випромінювання відіграє ключову роль. Наприклад, світло як лікувальний терапевтичний фактор, «хірургічний скальпель», як зовнішній тригер біомолекулярних взаємодій, фотоперемикач молекулярних систем на більш проникні для клітин сполуки у різних галузях експериментальної та клінічної медицини.

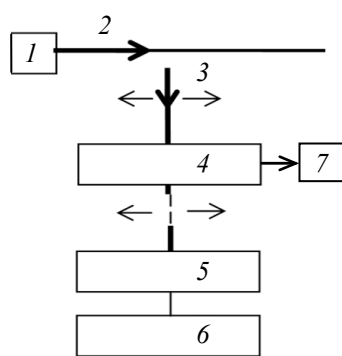
У роботі [1] описується пептидоміметик на основі діарелету – світлочутлива молекула є цитотоксичним агентом для фотокерованої фотодинамічної терапії раку і існує в двох термостабільних фотоформах, які взаємно перетворюються світлом з різними довжинами хвиль. Отже, нові технології дозволяють дослідникам створювати різноманітні молекулярні системи чутливі до широкого діапазону довжин хвиль світла.

Сучасний розвиток світового приладобудування створив широкий арсенал різноманітних апаратів для генерації світла, у тому числі лазерів та лазерних систем, що за своїми енергетичними параметрами та варіацією режимів роботи задовольняють потреби медицини та біотехнології, включаючи волоконно-оптичний світловодний інструментарій для доставки лазерного випромінювання. У зв'язку з цим в експериментальній та клінічній медицині, починаючи з етапів дослідження на фантомних моделях новітніх розробок молекулярних систем, чутливих до широкого діапазону довжин хвиль світла, до проведення операцій виникає потреба у розширенні номенклатури волоконно-оптичних світловодних інструментів. Насамперед, удосконаленні їх дистальних ділянок, забезпечуючи тим самим малоінвазивність процедури та збільшуючи можливості використання лазерних технологій.

**Технологія.** Волоконно-оптичний світловодний інструментарій забезпечують доставку оптичного випромінювання до об'єкту дослідження або патологічної зони. В ідеальному випадку потік оптичного випромінювання на виході введеного в патологічний об'єм світловода повинен накрити весь цей об'єм із забезпеченням однакових питомих енергетичних параметрів впливу в його межах та мінімальним охопленням інтактних тканин. На практиці патологічні зони мають різні контури та об'єм відмінні від правильних форм. Тривіально виконаний дистальний кінець світловода у вигляді плоского торця і усічений межами апертурного кута в оптичному щільному середовищі біотканини потік випромінювання суттєво об-

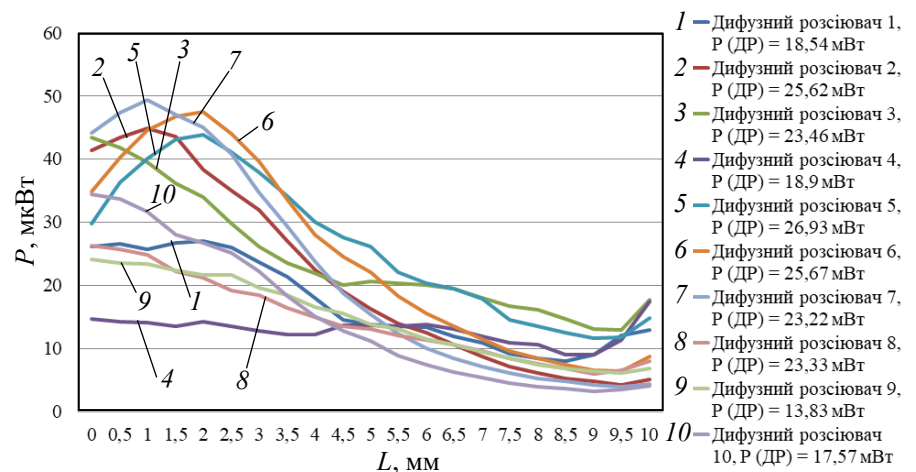
межують або роблять практично неможливим застосування внутрішньотканинного лазерного впливу. Актуальною стає реалізація різних варіантів дистальних ділянок світловодів, що дозволяють забезпечити різні трансформації оптичного потоку з максимальним урахуванням розмірів та контурів патологічних об’ємів для високої ефективності проведення дослідження або процедури. Одним із таких варіантів може бути малорозмірний дифузний розсіювач з прийнятними оптичними параметрами виконаний безпосередньо на дистальній ділянці полімерного світловоду.

**Практичні результати.** Для експериментальних досліджень було виготовлено 10 дослідних зразків дифузних розсіювачів довжиною 10 мм з полімерних оптичних волокон виробництва Mitsubishi Rayon Corporation (Японія) СК-20 діаметром 500 мкм, шляхом механічної обробки їх світловідбивальної оболонки. Така обробка призводить до зміни умов повного внутрішнього відображення мод, що розповсюджуються в полімерному світловоді. Як наслідок, спостерігається значне розсіювання світлових мод на обробленій поверхні, що дозволяє створити дифузний розсіювач циліндричної форми. Для зручності складання оптичної схеми проксимальний кінець оптичного волокна армувався капіляром з нержавіючої сталі з подальшим поліруванням торців світловода. Після чого було проведено серію експериментів на експериментальній установці зображеній на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема експериментальної установки: 1 – лазерне термостабілізоване джерело випромінювання; 2 – дифузний розсіювач стикований із світловодом SMA-905-SMA-905; 3 – приймальний світловод; 4 – юстирувальний оптичний стіл; 5 – приймальна голівка вимірювача потужності; 6 – блок індикації вимірювача потужності; 7 – часовий індикатор

На рис. 2 наведена діаграма розподілу потужності лазерного випромінювання, що розповсюджується зліва направо і розсіяною поверхнею дифузних розсіювачів №№ 1 – 10.



**Рис. 2.** Діаграма розподілу потужності лазерного випромінювання, що розповсюджується зліва направо і розсіяною поверхнею дифузних розсіювачів №№ 1 – 10

На діаграмі вказана отримана потужність лазерного випромінювання, що випускається бічною поверхнею дифузних розсіювачів №№ 1 – 10. Слід відмітити, що при створенні оптоволоконної системи до світловода SMA-905-SMA-905 діаметром 300/330 мкм виробництва ПП «Фотоніка Плюс» через перехідник під змінні світловоди стиковували дифузний розсіювач на полімерному оптичному волокні. У місці стикування різних типів оптичних волокон відбуваються втрати через осьову неузгодженість модових полів, втрати через різницю діаметрів модових полів, втрати через похибку кутового юстування осей оптичних волокон, втрати через різницю показників заломлення, тому на кожен дифузний розсіювач ми отримуємо різну вхідну потужність, що потрібно враховувати при використанні отриманих даних. Інтенсивне розсіювання світла відбувається на початковій ділянці дифуздорів довжиною

4...5 мм, надалі настає помітний спад інтенсивності. До 23 % випромінювання виходить вперед через торець дифузного розсіювача.

**Висновки.** Проведені дослідження створили основу для впровадження нових методів створення малоінвазивних дифузних розсіювачів на дистальній ділянці оптичного полімерного волокна і проведення подальших експериментів.

### Література

1. Schober Tim, Wehl Ilona. Controlling the Uptake of Diarylethene-Based Cell-Penetrating Peptides into Cells Using Light / Tim Schober, Ilona Wehl, Sergii Afonin, Oleg Babii, Anna Iampolska, Ute Schepers, Igor V. Komarov, Anne S. Ulrich // *ChemPhotoChem.* – 2019, 3. P. 384–391 // <https://doi.org/10.1002/cptc.201900019>.

2. Vladimir V. Kholin, Sergii Pavlov et al. Methods and fiber optics spectrometry system for control of photosensitizer in tissue during photodynamic therapy, *Proc. SPIE 10031*, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 1003138 (September 28, 2016).