

УДК 681.784.7:615.849.19

О. С. КОМАРОВА, В. В. ХОЛІН, М. Ф. ПОСОХОВ, С. В. ТЕРТИШНИЙ,
ЯН ЛУНІНЬ, А. В. РЕВА, Я. О. ІВЛЄВ, М. В. ТКАЧЕНКО

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ, СУМІЩЕНОГО З ПІРОМЕТРОМ

ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна

НТТУ КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України, Харків, Україна

Військово-медичний клінічний центр Південного регіону, КМС ЗСУ, Одеса, Україна

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Анотація. Розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром (надалі оптоволоконний інструмент) призначений для здійснення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо з функцією динамічного моніторингу температури в режимі real-time. Конструкційне виконання оптоволоконного інструменту дозволяє його використовувати в комбінації з діодними хірургічними лазерними апаратами під час лікування травмованих, поранених та хворих.

Ключові слова: оптоволоконний інструмент, рукоятка пірометрична, пірометр, лазерна термотерапія, лазер хірургічний, lika-surgeon

Abstract. A combined optical fiber instrument combined with a pyrometer (hereinafter referred to as an optical fiber instrument) is designed for the implementation of high-intensity laser thermotherapy, NPL therapy, laser therapy, photodynamic therapy, etc. with the function of dynamic real-time temperature monitoring. The design of the fiber-optic instrument allows it to be used in combination with diode surgical laser devices during the treatment of traumatized, wounded and sick people.

Keywords: optical fiber instrument, pyrometric handle, pyrometer, laser thermotherapy, surgical laser, lika-surgeon

DOI:10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104

ВСТУП

В останні роки отримали інтенсивний розвиток медичні технології (НІЛ терапія, лазерна термотерапія тощо), що використовують випромінювання ближнього інфрачервоного (ІЧ) діапазону з високою вихідною потужністю з терапевтичною метою. У процесі проведення відповідних лазерних процедур зовнішні поверхні патологічних ділянок біологічної тканини піддаються впливу паралельних пучків ІЧ лазерного випромінювання із значними лінійними розмірами лазерних пучків у поперечному перерізі [1,2].

Енергія фотонів електромагнітного випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону (довжини хвиль 810, 870, 1060 нм) відповідає обертонам основних коливань або складових частот коливань молекул та атомарних груп макромолекул біологічних тканин. Внаслідок ц випромінювання ІЧ діапазону поглинається тканинами слабо. Збільшення довжини хвилі з випромінюванням видимого діапазону спектру призводить до значного зменшення розсіювання при проходженні випромінювання через шар біотканини і, відповідно, мінімальної зміни геометрії світлової плями в глибині тканини в порівнянні з світловою плямою на її поверхні. Перелічені фактори забезпечують проникнення випромінювання ближнього ІЧ діапазону в глибину тканини з відносно невеликим зменшенням щільності потужності по глибині [3, 4, 5].

Вихідна потужність лазерного випромінювання, що регулюється в широких межах (середня потужність від десятків мВт до десятків Вт) і великі лінійні розміри світлових плям (діаметри від 10 до 50 мм) на біологічних тканинах дозволяють обробляти без переміщення, або з мінімальним переміщенням світлової плями вздовж поверхні значні об'єми біологічних тканин (ранові поверхні, ушкоджені анатомічні структури, проблемні зони) із широким діапазоном значень щільності потужності (відносно гомогенних в межах всього об'єму) без термічного пошкодження тканин [6, 7, 9].

Разом з тим, сформовані емпіричним шляхом клінічні протоколи передбачають застосування тривалих експозицій (десятки секунд – одиниці хвилин) та досить високих значень щільності потужності та щільності дози лазерного випромінювання. При цьому з урахуванням гетерогенності відгуку біотканини в кожній конкретній лазерній процедурі можна прогнозувати зміну оптичних властивостей біотканини в опромінену об'ємі і, як наслідок, підвищення температури як у всьому опромінену об'ємі, так і в окремих його ділянках [1, 2, 8].

Таким чином, динамічний моніторинг температури біологічної тканини в процесі проведення подібних лазерних процедур і насамперед дистанційний контроль температури поверхні оброблюваних ділянок біологічної тканини бачиться актуальним.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нами було розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірметром (надалі оптоволоконний інструмент). Оптоволоконний інструмент (рис. 1) призначений для доставки лазерного випромінювання на поверхню шкіри пацієнта під час проведення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо та для одночасного динамічного моніторингу температури *in-vivo* безконтактним методом в ході всього лікувального процесу.

На рис. 1 представлено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірметром. На рис. 2 представлено функціональну схему світловодного інструменту.

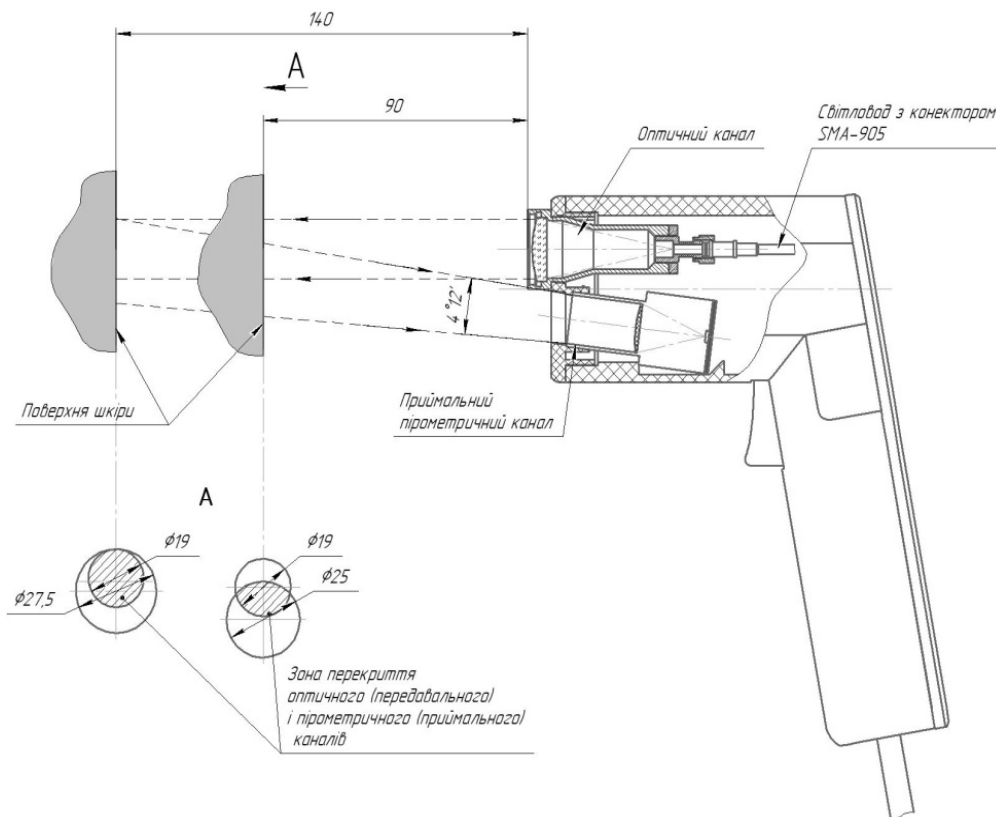


Рисунок 1 – Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірметром

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

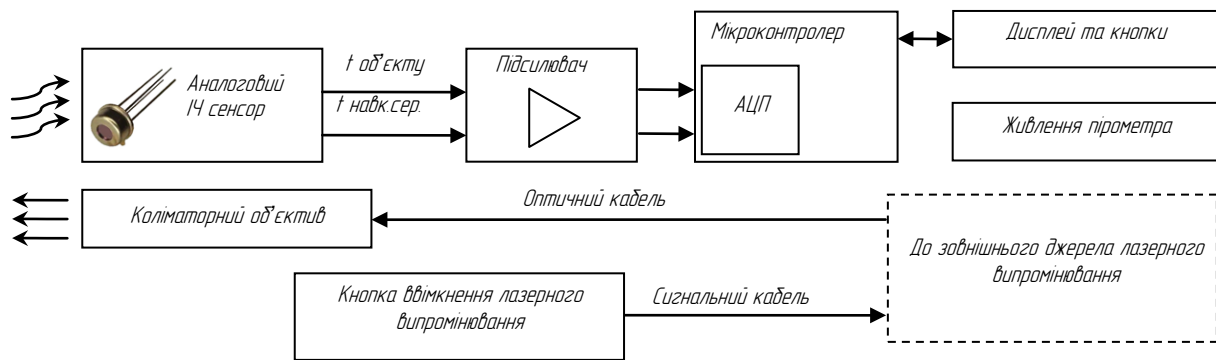


Рисунок 2 – Функціональна схема комбінованого оптоволоконного інструменту суміщеного з пірометром

Оптоволоконний інструмент складається з гнучкої ділянки та вихідного каскаду.

Гнучка ділянка має паралельно розташовані оптичний та електричний кабелі, які закінчуються відповідними вихідними роз'ємами, які забезпечують підключення до джерела лазерного випромінювання і до роз'єму керування лазерним апаратом. Оптичний та електричний кабелі об'єднані загальною кабельною оболонкою, яка заходить у вихідний каскад.

Вихідний каскад оптоволоконного інструменту (рис. 1, рис. 2) виконаний у вигляді ергономічної рукоятки. В корпусі рукоятки вбудовано оптичну та пірометричну системи.

Оптична система являє собою коліаторний об'єктив, який формує промінь діаметром 19 мм на проблемній анатомічній ділянці людського тіла пацієнта.

Пірометрична система (приймальний пірометричний канал, рис. 1, рис. 2) являє собою приймальний тракт вимірювача температури, який складається з об'єктива (поле зору $4^{\circ}12'$), побудованого на лінзі Френеля, та ІЧ датчика TE Connectivity TS318-11C55. ІЧ датчик містить в собі однопиксельний ІЧ сенсор та термістор для вимірювання температури датчика. Аналогові сигнали з датчика надходять в блок підсилення де вони підсилюються та фільтруються від паразитної шумової складової. Далі сигнали надходять на аналого-цифровий перетворювач і надалі обробляються в цифровому вигляді. Враховуючи покази ІЧ сенсора, зовнішню температуру та заданий коефіцієнт емісії вимірюваного об'єкта розраховується температура в точці вимірювання. Точність вимірювання температури складає $\pm 1^{\circ}\text{C}$ з періодом вимірювань 0,5 с. Замість аналогового ІЧ датчика можливо використати цифровий датчик з вбудованим об'єктивом Melexis MLX90614-DCI (поле зору 5°), що дозволяє спростити електричну схему та отримати точність вимірювань $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ з роздільною здатністю $< 0,1^{\circ}\text{C}$.

Ввімкнення та вимкнення лазерного випромінювання здійснюється натисканням кнопки на рукоятці (рис. 1, рис. 2).

Рукоятка має невеликі розміри і малу вагу 320 гр. та є зручною у використанні. Загальна вага комбінованого оптоволоконного інструменту при довжині гнучкої ділянки 1750 мм складає 510 гр.

Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром є складовою частиною лазера хірургічного діодного «LIKA-SURGEON» і пройшов технічний регламент (№ UA.TR.001.0753.30.00232-23 від 20.03.2023 року) і відповідає вимогам Технічного регламенту щодо медичних виробів затвердженого постановою КМУ від 02.10. 2013 № 753.

Висновки

Розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром, який може бути використаний для здійснення високоінтенсивної лазерної термотерапії, НІЛ терапії, лазерної терапії, фотодинамічної терапії тощо з функцією динамічного моніторингу температури в режимі real-time, що забезпечить оптимізацію процесу in-vivo дозиметрії енергетичного впливу оптичного випромінювання на патологічну зону. Конструкційне виконання світловодного інструменту дозволяє його використовувати в комбінації з діодними хірургічними лазерними апаратами.

Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром є складовою частиною лазера хірургічного діодного «LIKA-SURGEON» і пройшов технічний регламент (Сертифікат № UA.TR.001.0753.30.00232-23 від 20.03.2023 року) і відповідає вимогам Технічного регламенту щодо медичних виробів затвердженого постановою КМУ від 02.10. 2013 № 753.

Застосування розробленого оптоволоконного інструменту вдосконалює рівень наявного технічного забезпечення для проведення безпечної та ефективною лазерної процедури. У разі використання при лікуванні покривних тканин людського тіла збільшує метаболічну активність пошкодженої анатомічної структури, пришвидшує репаративну складову лікувального процесу, а це в свою чергу призводить до збільшення відсотку функціональності.

Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України 2022.01/0135.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Современные аспекты лазерной терапии. Черкассы, под ред. В.Д. Попов, Украина: Вертикаль, издатель С.Г. Кандыч, 2012, 608 с.
2. Автоматизація контролю процесом лазерного опромінювання при лазерохірургії / Комарова, О. С., Терещенко, М. Ф., Холін, В. В., Павлов, С. В. // XXI Міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи”, 17–18 травня 2022 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 158–160. – Бібліогр.: 7 назв.
3. Лазерні медичні технології : навчальний посібник, за ред. Готри З. Ю., Павлова С. В. та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 158 с.
4. Information Technology in Medical Diagnostics II. By editors: Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M., London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
5. А.Г. Никитенко, и Ю.В. Троицкий. Формирование негаусова профиля интенсивности в лазере с неоднородными дзеркалами, Квантовая электроника, 9, № 8, 1982, С.1600-1607.
6. В.С. Войцехович, А.Г. Карпушева, Н.М. Качалова, Ю.А. Петрушко, Н.Ф. Терещенко, та В.В. Холін. О равномерности распределения плотности мощности лазерного излучения на выходе оптических волокон, Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні питання застосування лазерів в медицині – 2020», Черкаси, 30–31 жовтня 2020 р.
7. IS/IEC 60793-1-43: Optical Fibres, Part 1: Measurement Methods and Test Procedures, Section 43: Numerical Aperture, 2001.
8. А.С. Семенов, В.Л. Смирнов, и А.В. Шмалько. Элементы волноводного тракта оптических интегральных схем на основе трехмерных оптических волноводов, Квантовая электроника, Том 15, № 7, 1988, С. 1327-1357.
9. Комарова О. С., Павлов С. В., Петрушко Ю.А., Петраковский О. Експериментальне оцінювання однорідності розподілу щільності потужності лазерного випромінювання на виході коротких відрізків багатомодових оптичних волокон, Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2023. – С. 155-156.
10. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.

REFERENCES

1. Modern aspects of laser therapy. Cherkassy, ed. V.D. Popov, Ukraine: Vertical, publisher S.G. Kandych, 2012, 608 p.
2. Laser medical technologies: a study guide, edited by Gotry Z. Yu., Pavlova S. V. and others. – Vinnytsia: VNTU, 2017. – 158 p.
3. Information Technology in Medical Diagnostics II. By editors: Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M., London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
4. A.G. Nikytenko, and Yu.V. Troitsky Formation of a non-Gaussian intensity profile in a laser with inhomogeneous mirrors, Quantum Electronics, 9, No. 8, 1982, pp. 1600-1607.
5. V.S. Voitsekho vych, A.H. Karpusheva, N.M. Kachalova, Yu.A. Petrushko, N.F. Tereshchenko, and V.V. Kholin. On the uniformity of the laser radiation power density distribution at the output of optical fibers, Materials of the scientific and practical conference "Current issues of the use of lasers in medicine - 2020", Cherkasy, October 30-31, 2020.

6. IS/IEC 60793-1-43: Optical Fibres, Part 1: Measurement Methods and Test Procedures, Section 43: Numerical Aperture, 2001.
7. A.S. Semenov, V.L. Smirnov, and A.V. Schmalko Elements of the waveguide path of optical integrated circuits based on three-dimensional optical waveguides, Quantum Electronics, Volume 15, No. 7, 1988, pp. 1327-1357.
8. O. S. Komarova, S. V. Pavlov, Yu. A. Petrushko, O. Petrakovskii. Experimental evaluation of the homogeneity of the laser radiation power density distribution at the output of short segments of multimode optical fibers, Electric power, electromechanics and technologies in the agricultural industry: [Electronic resource] : materials of the International science and practice Conf., November 9, 2023 / Govt. biotechnological university - Kharkiv, 2023. - P. 155-156.
9. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.

Надійшла до редакції 5.09.2023р.

КОМАРОВА ОЛЬГА СЕРГІЇВНА – інженер-технолог ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, аспірантка НТТУ КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, *e-mail: komarova.ollha@gmail.com*

ХОЛІН ВОЛОДИМИР ВІКТОРОВИЧ – к.т.н, директор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, *e-mail: info@fotonikaplus.com.ua*

ПОСОХОВ МИКОЛА ФЕДОРОВИЧ – канд. мед. наук, доцент, лікар-нейрохірург вищої категорії, завідувач відділенням функціональної нейрохірургії, Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України, м. Харків, Україна, *e-mail: nsd17@ukr.net*

ТЕРТИШНИЙ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ – к.м.н., начальник відділення Військово-медичного клінічного центру Південного регіону, КМС ЗСУ, Одеса, Україна, *e-mail: drug2008@ukr.net*

ЯН ЛУНІНЬ – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, *e-mail: longyinyang966@gmail.com*

РЕВА АННА ВІКТОРІВНА – інженер-конструктор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, *e-mail: Annessiya@meta.ua*

ІВЛЄВ ЯРОСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – інженер-конструктор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, *e-mail: ya.ivlev.fp@gmail.com*

ТКАЧЕНКО МАКСИМ ВАДИМОВИЧ – інженер-електронік ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, *e-mail: Maxkot@icloud.com*

Olha KOMAROVA, Volodymyr KHOLIN, Mykola POSOKHOV, Serhii TERTYSHNYI,
Yang LONGYIN, Anna REVA, Yaroslav IVLIEV, Maksim TKACHENKO

FEATURES OF THE REALIZATION OF THE COMBINED OPTICAL FIBER INSTRUMENTATION COMBINED WITH A PYROMETER

Igor Sikorsky NTU Kyiv Polytechnic Institute
FOTONICA PLUS CO.,

State Institution "Institute of Neurology, Psychiatry and Narcology of the National Academy
of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine
Military Medical Clinical Center of the Southern Region, KMS ZSU, Odesa, Ukraine,
Vinnytsia National Technical University