

О.С. Комарова^{1,2}
В.В. Холін¹
С.В. Павлов³
М.Ф. Посохов⁴
С.В. Тертишний⁵
А.В. Рева¹
Я.О. Івлєв¹
М.В. Ткаченко¹

КОМБІНОВАНИЙ ОПТОВОЛОКОННИЙ ІНСТРУМЕНТ СУМІЩЕНИЙ З ПІРОМЕТРОМ

¹ТП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна

²КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

³Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

⁴Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України, Харків, Україна

⁵Військово-медичний клінічний центр Південного регіону, КМС ЗСУ, Одеса, 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

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.

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.

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.

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'єм і, як наслідок, підвищення температури як у всьому опромінену об'ємі, так і в окремих його ділянках [1,2].

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.

Результати дослідження

Нами було розроблено комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром (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 пірометром. На рис. 2 представлено функціональну схему світловодного інструменту.

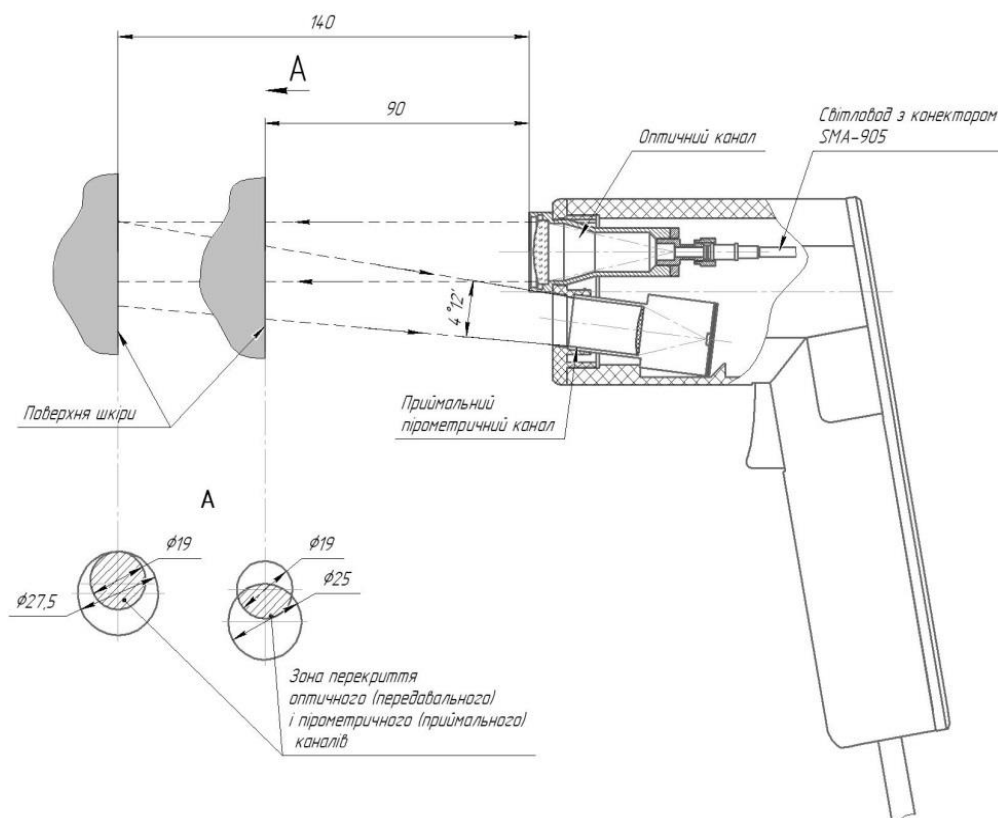


Рис. 1. Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром

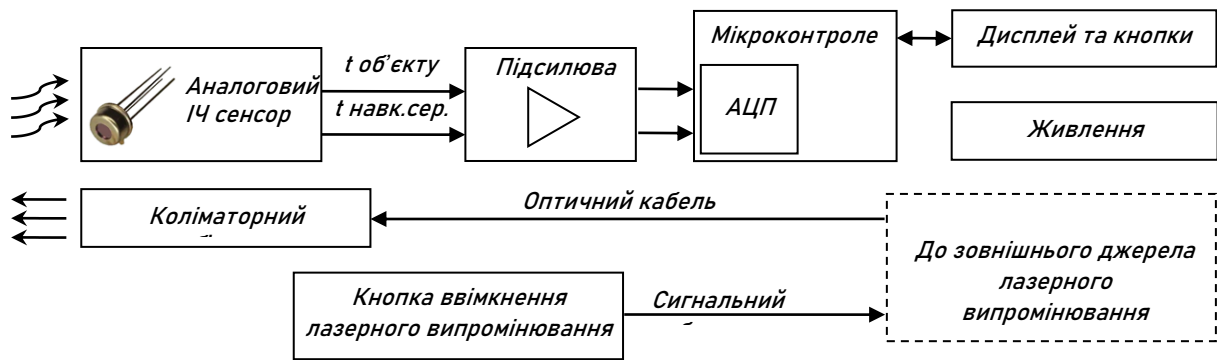


Рис. 2. Функціональна схема комбінованого оптоволоконного інструменту суміщеного з пірометром

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 колімаційний 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 трак 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 ефективної 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Лазерні медичні технології : навчальний посібник, за ред. Готри З. Ю., Павлова С. В. та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 158 с.

Комарова Ольга Сергіївна – інженер-технолог ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: komarova.ollha@gmail.com. Аспірант КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна.

Холін Володимир Вікторович – к.т.н, директор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: info@fotonikaplus.com.ua.

Павлов Сергій Володимирович – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптикоелектронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.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.

Рева Анна Вікторівна – інженер-конструктор ПП "Фотоніка Плюс", м. Черкаси, Україна, e-mail: Annisiya@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: Maxckot@icloud.com.

COMBINED FIBER-OPTIC INSTRUMENT WITH PYROMETER

Abstract

A combined fiber-optic instrument combined with a pyrometer has been developed for the implementation of high-intensity laser thermotherapy, HIL therapy, laser therapy, photodynamic therapy, etc. with real-time dynamic temperature monitoring function. The design of the fiber-optic instrument allows it to be used in combination with diode surgical laser devices in the treatment of injured, wounded and sick people.

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

Komarova Olha S. - process engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: komarova.ollha@gmail.com. Postgraduate student of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, IMF, Department of "Instrument Manufacturing", Kyiv, Ukraine.

Kholin Volodymyr V. - Ph.D., director of FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: info@fotonikaplus.com.ua.

Pavlov Sergii V. – Ph.D., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

Posokhov Mykola F. - PhD in neurosurgery, Associate Professor in neurosurgery, neurosurgeon of the highest category, Head of Clinical Department, State Institution "Institute of Neurology, Psychiatry and Narcology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine, e-mail: nsd17@ukr.net.

Tertyshnyi Serhii V., Ph.D., Head of Department of the Military Medical Clinical Center of the Southern Region, KMS ZSU, Odessa, Ukraine, e-mail: drug2008@ukr.net.

Reva Anna V. - design engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: Annisiya@meta.ua.

Ivlev Yaroslav O. - design engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: ya.ivlev.fp@gmail.com.

Tkachenko Maksim V. - electronic engineer in FOTONICA PLUS CO., Cherkasy, Ukraine, e-mail: Maxckot@icloud.com.