

- [7] H.-S. Tong et al., “Real-to-virtual domain transfer-based depth estimation for real-time 3D annotation in transnasal surgery: a study of annotation accuracy and stability,” International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 16, no. 5, pp. 731–739, Mar. 2021, doi: 10.1007/s11548-021-02346-9.
- [8] O. G. Avrunin et al., “Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data,” Sensors, vol. 21, no. 4, p. 1198, Feb. 2021, doi: 10.3390/s21041198.
- [9] Сокольников А. О. Подготовка симуляторов для обучения эндоскопической хирургии на основе 3d-моделей в ринологии / А.О. Сокольников, О.Г. Аврунин // Электроэнергетика, электромеханика та технології в АПК : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р.– Харків : Держ. біотехнологічний ун-т., 2024. – С. 253-254.

УДК 615.81

СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Турбіцький О.С., Терещенко М. Ф.

Національний технічний університет України

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

E-mail: turbitskiy0@gmail.com, agfarkpi@i.ua

Мультиспектральні системи лазерного випромінювання (МСЛВ) є перспективним напрямком у галузі медичного приладобудування для приладів і апаратів фізіотерапії, реабілітації та косметології [1]. Ці системи належать до напрямку G7 - автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. В основі мультиспектрального підходу лежить використання лазерного випромінювання різних довжин хвиль і спектрів для досягнення комбінованого хірургічного та терапевтичного ефектів на біологічні тканини [2]. Кожна довжина хвилі має специфічний механізм дії: червоне світло (630–660 нм) стимулює регенерацію епітеліальних тканин, ближнє інфрачервоне випромінювання (800–900 нм) проникає вглиб для активації м'язів і судинного русла, синє світло (450–490 нм) забезпечує антибактеріальний ефект, а зелене випромінювання (520–550 нм) впливає на капілярну мережу та пігментовані структури шкіри [3]. Це визначає високий попит на подібні системи в сучасній медицині, де особливо важливим є персоналізований підхід до лікування [4].

На рис. 1 наведено базову блок-схему мультиспектральної системи лазерного випромінювання, що демонструє загальні принципи і архітектуру побудови приладів та апаратів.

На рис. 2 представлено практичну реалізацію лазерного апарата LIKA-LED, розробленого на підприємстві «Фотоніка Плюс» [5]. Прилад дозволяє проводити комбіновану дію лазерного випромінювання на біологічні тканини із можливістю зміни параметрів випромінювання залежно від терапевтичної задачі. У розробленій системі реалізовано використання трьох лазерних випромінювачів із різними довжинами хвиль, що дозволяє формувати комбінований мультиспектральний потік для терапевтичного впливу [6].

Лазерні випромінювачі (поз. 1, 2, 3 на рис. 1) закріплюються на виносній стійці (поз. 28, рис.3), що забезпечує зручність їхньої заміни та налаштування. Кожен лазерний модуль може працювати незалежно або в комбінації з іншими, дозволяючи адаптувати параметри випромінювання під конкретні хірургічну, терапевтичну чи освітні задачі [7].

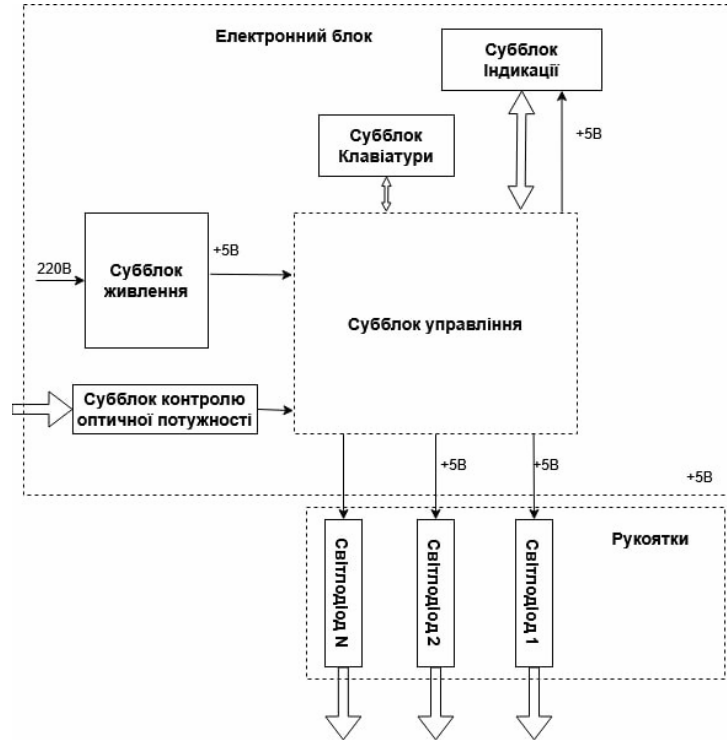


Рис. 1. Блок-схема мультиспектральної системи лазерного випромінювання.

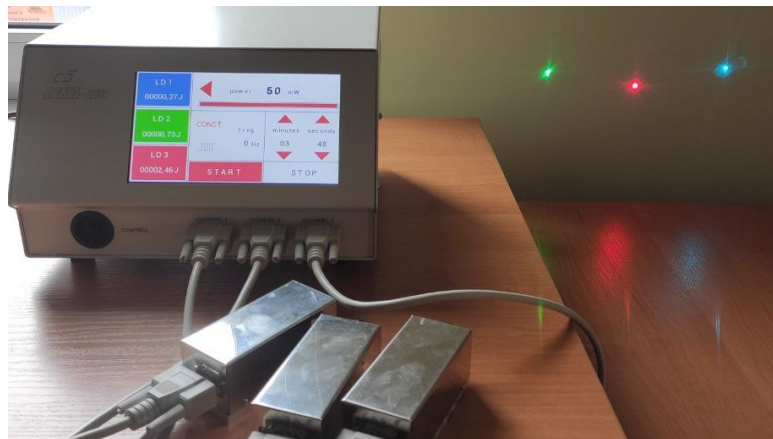


Рис. 2. Апарат LIKA-LED, що формує мультиспектральне лазерне випромінювання.

Світлові потоки від трьох лазерів об'єднуються у суматорі світлових сигналів (поз. 30), після чого проходять через об'єktiv та спрямовуються у світловод (поз. 31). Це забезпечує створення єдиного сфокусованого пучка для дії на біологічну тканину [8]. На виході світловода встановлено температурний датчик (поз. 27), який здійснює безперервний контроль температури в зоні впливу, запобігаючи перегріву тканин і забезпечуючи безпечність процедури [9].

Через блок живлення (поз. 20) здійснюється подача напруги на всі елементи системи, включаючи лазерні випромінювачі, систему управління та контрольно-вимірювальні пристрої [10]. Блок керування дозволяє регулювати потужність окремих лазерних каналів, змінювати частоту імпульсів для створення ефекту модульованого випромінювання, а також здійснювати моніторинг роботи системи через індикаційні засоби.

На рис. 3 представлено структурну схему модернізованої системи формування мультиспектрального лазерного випромінювання.

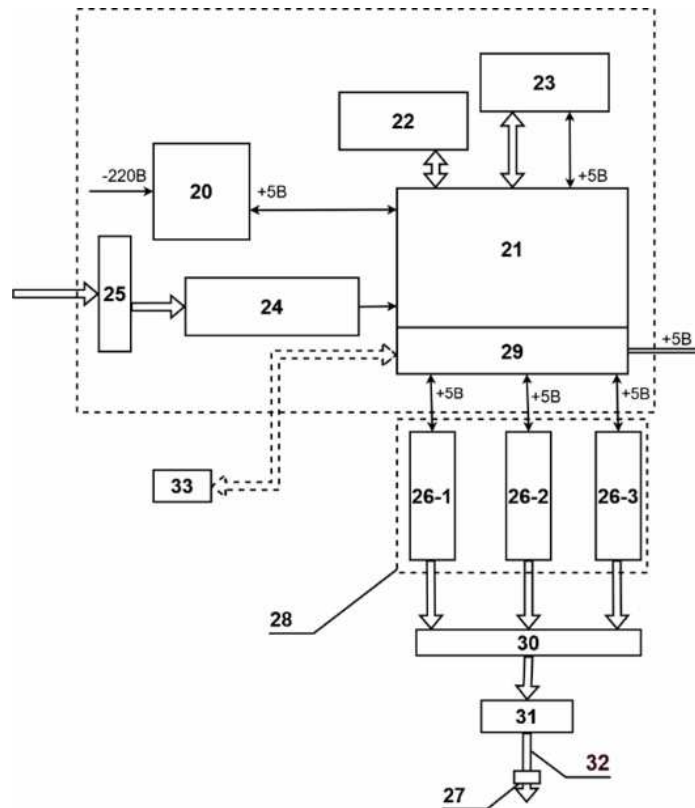


Рис. 3. Структурна схема модернізованої мультиспектральної системи лазерного випромінювання, де 20 — блок живлення, 21 — блок управління, 22 — блок клавіатури, 23 — блок індикації, 24 — блок контролю потужності, 25 — фотоприймач, 26-1, 26-2, 26-3 — лазерні випромінювачі, 27 — температурний датчик, 28 — виносна стійка, 29 — мікропроцесор, 30 — суматор світлових сигналів, 31 — світловод, 32 — об'єктив, 33 — виносний пульт керування.

Особливістю цієї системи є можливість оперативної заміни лазерних модулів для підбору оптимальних співвідношення спектрів відповідно до клінічних потреб. Наявність налаштувань потужності та частоти дозволяє варіювати глибину проникнення випромінювання і специфічну дію на тканини — від поверхневої регенерації до стимуляції глибоких структур, включаючи м'язову і судинну системи [11].

Таким чином, створений мультиспектральний лазерний випромінювач забезпечує цілеспрямовану дію на біологічні тканини, дозволяючи гнучко змінювати параметри медичного впливу залежно від задач лікування.

Комбінація різних спектрів і довжин хвиль у єдиному світловому каналі, контроль температури в зоні впливу та зручність налаштування роблять цю систему МСЛВ перспективною розробкою для хірургії, фізіотерапії, реабілітації та медичної косметології.

Ключові слова: мультиспектральне лазерне випромінювання, лазерні хірургія та терапія, системи керування та позиціонування.

Література

- [1] T.-C. Shih, P. Yuan, W.-L. Lin, та H.-S. Kou, "Analytical analysis of the Pennes bioheat transfer equation with sinusoidal heat flux condition on skin surface", *Medical Engineering & Physics*, vol. 29, no. 9, pp. 946-953, 2007.
- [2] V. Shvidkiy and M. Tereshchenko, "Dynamics of changes in parameters of laser radiation in biological fabrics", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, no. 54(2), pp. 111–118, Dec. 2017. (in Ukrainian)
- [3] Wenzhi Yang, Amin Pourasghar, Yi Cui, Liqun Wang, Zengtao Chen, "Transient heat transfer analysis of a cracked strip irradiated by ultrafast Gaussian laser beam using dual-phase-lag theory", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 203, 2023, 123771. ISSN 0017-9310.
- [4] G. Tymchik, M. Tereshchenko, O. Lyashenko, O. Gnateyko, "Research of the influence of laser radiation on temperature processes in biological tissues", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, is.49(1), pp. 153-158, 2015.
- [5] С. В. Павлов, Х. Р. У. Ровіра, В. В. Холін, Л. Є. Никифорова, М. Ф. Терещенко, і О. С. Комарова, «Імітаційне моделювання процесів міграції фотонів в біологічному середовищі», *Опт-ел. інф-енерг. техн.*, вип. 46, вип. 2, с. 105–116, Груд 2023. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-105-116>
- [6] О. С. Комарова, «Особливості реалізації комбінованого оптоволоконного інструментарію, суміщеного з пірометром», *Опт-ел. інф-енерг. техн.*, вип. 46, вип. 2, с. 100–104, Груд 2023. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104>
- [7] Г. Пащенко і М. Терещенко, «МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЗМІНУ ТЕМПЕРАТУР У БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИНАХ», *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 67(1), с. 96–102, Чер 2024.
- [8] Діодний хірургічний лазер Lika-surgeon+. Фотоніка Плюс. Доступ: <https://www.fotonikaplus.com.ua/produksiya/lazernye-apparaty /khirurgicheskij-diodnyj-lazer-lika-surgeon.html>
- [9] Tereshchenko, M. Automated Complex for Reproducing Alternating Magnetic Fields. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) *Advanced System Development Technologies II. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 581. Springer, Cham. 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82035-9_6
- [10] M.Jasiński, E.Majchrzak, and L.Turchan, "Numerical analysis of the interactions between laser and soft tissues using generalized dual-phase lag equation", *Appl. Math. Modelling*, vol. 40, is.2, pp. 750–762, січ. 2016. DOI:10.1016/j.apm.2015.10.025
- [11] Legres, L. G., Chamot, C., Varna, M., & Janin, A. The laser technology: new trends in biology and medicine. *Journal of Modern Physics*, 2014.