

УДК 615.849.19

*О.С. Турбіцький, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДУЛЬ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО АПАРАТУ НА БАЗІ ІОТ- ТЕХНОЛОГІЙ**

**Анотація.** Розроблено модуль дистанційного моніторингу та термостабілізації мультиспектрального лазерного апарату (МЛА) з оптоволоконним виходом. В основу розробки покладено необхідність геометричного формування однорідного по щільності прямокутного променя з оптоволоконної насадки [1]. Мультиспектральний апарат працює в діапазоні 400–1200 нм і використовує багатомодові оптичні волокна, фокони та лазерні діоди [2]. Інтегрований модуль забезпечує прецизійний контроль температури та рівномірний розподіл потужності випромінювання, що підвищує ефективність терапії та мінімізує вплив на здорові тканини. Основна сфера застосування — медичні процедури, проте пристрій може бути адаптований і для інших галузей.

**Ключові слова:** Модуль дистанційного моніторингу, мультиспектральний лазер, лазерна медицина, оптоволоконний вихід, термостабілізація, ESP32, IoT в медицині, елемент Пельтьє.

### **ВСТУП**

Сучасний розвиток лазерної медичної техніки потребує не лише вдосконалення параметрів випромінювання, а й підвищення експлуатаційної безпеки та ергономіки. У попередніх дослідженнях нами було обґрунтовано необхідність точної термостабілізації лазерних діодів, оскільки зміна температури кристала призводить до дрейфу довжини хвилі та зниження ефективності фотобіомодуляції [4]. Наступним кроком модернізації апарату «LIKA-LD» є впровадження системи бездротового моніторингу параметрів, що дозволяє реалізувати концепцію «Lab-on-a-Chip» та віддаленого контролю в реальному часі [5].

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є розробка та інтеграція інтелектуального модуля управління на базі мікроконтролера ESP32, який поєднує функції прецизійної термостабілізації за допомогою елемента Пельтьє та функцію веб-сервера для дистанційного відображення телеметрії на мобільних пристроях персоналу.

Апаратною основою розробки є мікроконтролер SoC ESP32 (Espressif Systems), що володіє двоядерною архітектурою та вбудованими модулями Wi-Fi/Bluetooth [6]. Для терморегуляції використано цифровий ПІД-алгоритм, що керує драйвером елемента Пельтьє за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) [7]. Загальну архітектуру розробленої системи наведено на рис. 1.

Для реалізації функції дистанційного моніторингу використано режим роботи Wi-Fi модуля «SoftAP» (точка доступу). Це дозволяє розгортати локальну бездротову мережу безпосередньо навколо лазерного апарату, незалежно від наявності зовнішнього інтернет-з'єднання. Програмна частина включає асинхронний веб-сервер, який хостить графічний інтерфейс (Web-Application), адаптований під екрани смартфонів.

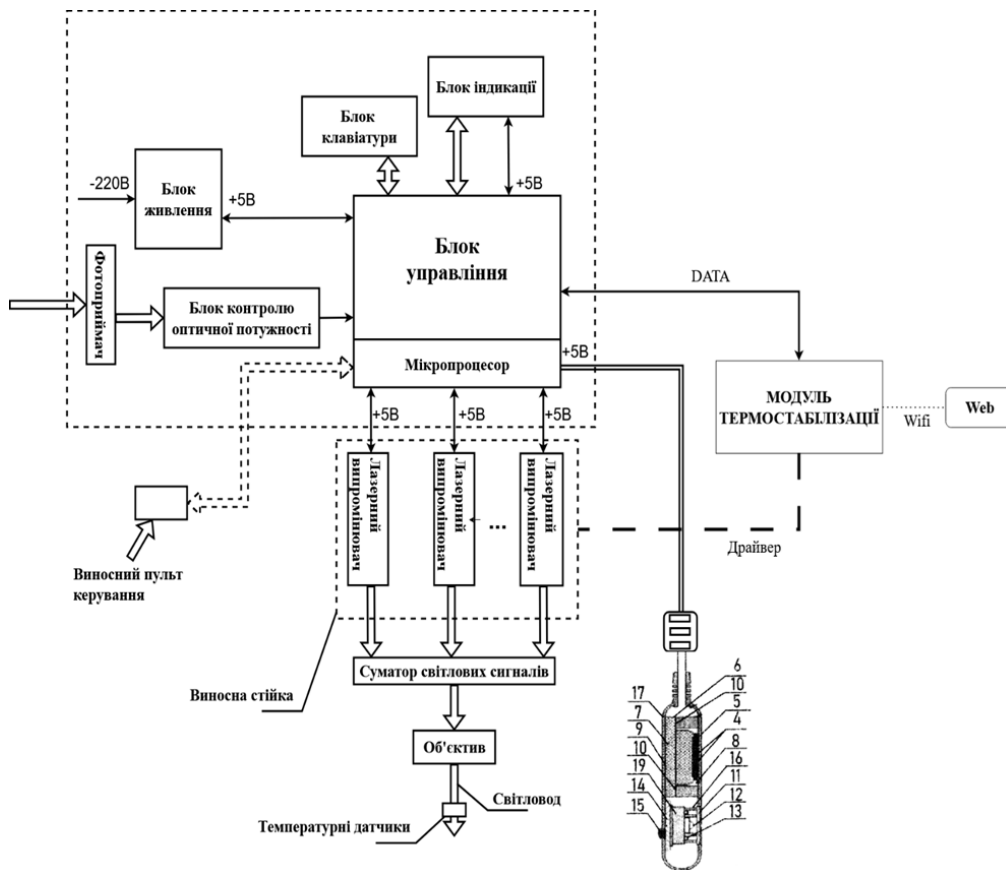


Рис. 1. Структурна схема МЛК з апаратною частиною модуля керування

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблений модуль виконує дві паралельні задачі завдяки архітектурі FreeRTOS, що дозволяє рознести критичні процеси (керування температурою) та комунікаційні процеси (Wi-Fi) на різні ядра процесора. Алгоритм функціонування системи представлено на рис. 2.

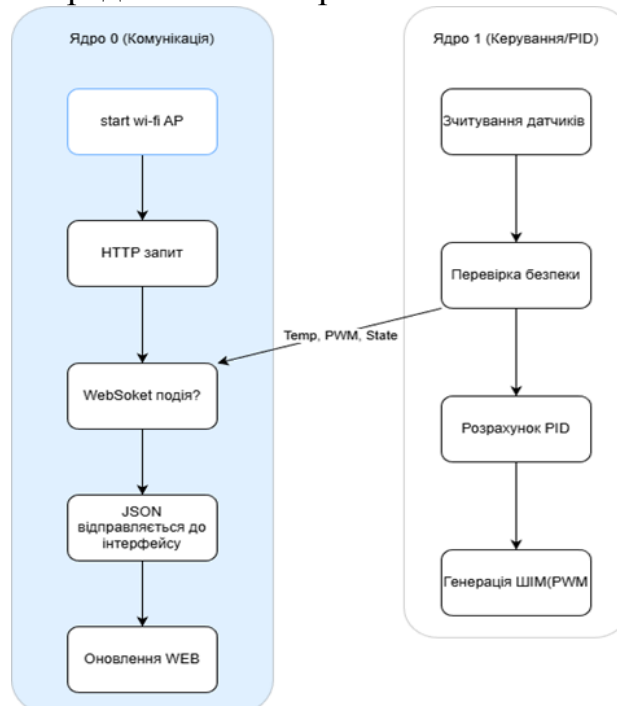


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення модуля

По-перше, забезпечується утримання температури лазерного модуля в заданому діапазоні (наприклад,  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ), що критично важливо для стабільності довжини хвилі 808 нм.

По-друге, модуль транслює дані про стан системи через протокол HTTP/WebSockets. Підключившись до локальної мережі пристрою, оператор отримує доступ до веб-сторінки (рис. 3).

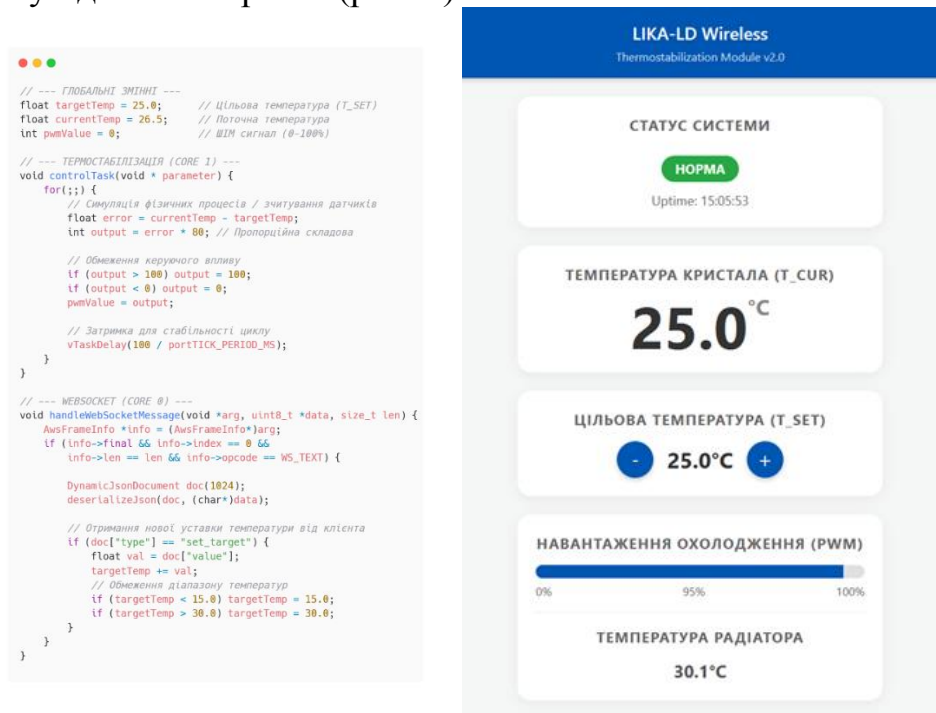


Рис. 3. Код фрагмент програмної реалізації та інтерфейс системи моніторингу

На екрані відображаються: поточна температура кристала та радіатора, відсоткове навантаження системи охолодження, статус роботи. У випадку виходу параметрів за межі норми, інтерфейс на смартфоні миттєво сигналізує про небезпеку. Використання технології WebSocket забезпечує оновлення даних з частотою до 10 Гц, що створює ефект роботи в реальному часі.

## ВИСНОВКИ

Інтеграція IoT-технологій у структуру апарату «LIKA-LD» дозволила розширити його функціональність без суттєвих змін у конструкції. Запропоноване рішення забезпечує не лише надійний захист лазерного діода від перегріву, але й надає медичному персоналу зручний інструмент для безперервного моніторингу процесу лікування, наближаючи медичне обладнання до стандартів Industry 4.0.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Комарова О.С. Особливості реалізації комбінованого оптоволоконного інструментарію, суміщеного з пірометром // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2023. – Вип. 46, № 2. – С. 100–104.
- [2] Павлов С.В., Ровіра Х.Р.У., Холін В.В. та ін. Імітаційне моделювання процесів міграції фотонів в біологічному середовищі // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2023. – Вип. 46, № 2. – С. 105–116.

- [3] Tymchik G.S., Tereshchenko M.F., Soroka S.O., Tereshchenko M.M. Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object // XIII International PhD Workshop OWD 2011 (22–25 October 2011). – 2011. – P. 295–299.
- [4] Турбіцький О.С., Терещенко М.Ф. Системи формування мультиспектрального лазерного випромінювання // Приладобудування: стан і перспективи : збірник матеріалів XXIV Міжнар. наук.-техн. конф., 13–14 травня 2025 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – С. 252–255.
- [5] Пащенко Г., Терещенко М. Моделювання впливу лазерного випромінювання на зміну температур у біологічних тканинах // Bulletin of Kyiv Polytechnic Institute. Series Instrument Making. – 2024. – Vol. 67(1). – С. 96–102.
- [6] Діодний хірургічний лазер Lika-surgeon+ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fotonikaplus.com.ua> (дата звернення: 27.11.2025).
- [7] Jasiński M., Majchrzak E., Turchan L. Numerical analysis of the interactions between laser and soft tissues using generalized dual-phase lag equation // Applied Mathematical Modelling. – 2016. – Vol. 40, Is. 2. – P. 750–762.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.***