

**Микола ТЕРЕЩЕНКО**, канд. техн. наук, доц.,

**Гліб ПАЩЕНКО**, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна, e-mail: agfarkpi@i.ua, hlebpash@gmail.com

## АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСАМИ ЛАЗЕРНО-СВІТЛОВОЇ ТЕРАПІЇ

**Анотація.** Комплекси лазерно-світлової терапії (КЛСТ) широко використовуються в медичній практиці та досить часто рекомендується пацієнтам, адже за допомогою них можна більш ефективно, своєчасно, в короткі терміни провести лікування різномірних захворювань, включаючи травми, больовий синдром і всілякі запалення [1]. Тому для точного та достовірного впровадження в фізіотерапевтичні протоколи лікування виникає потреба у використанні швидкісних та безпечних алгоритмів керування для досягнення більш дієвих результатів.

**Ключові слова:** комплекс лазерно-світлової терапії, алгоритм керування, контроль та вимірювання температури біологічної тканини.

**Актуальність дослідження.** В наші дні на території України відбувається повномасштабна війна, від якої страждає все населення нашої країни. Виникає велика кількість труднощів, які важко подолати без втручання медицини. Ушкодження шкіри, мінно-вибухові травми, опіки від пожеж, які зараз дуже поширені, після ракетних атак. Крім того, виникнення невралгії, яка спостерігається через переохолодження, травми та інфекційних захворювань, що можуть виникати під час перебування в умовах антисанітарії в підвальних приміщеннях або бомбосховищах. Всі ці захворювання можна лікувати методами лазерної терапії. Тому розробка, як самих систем лазерно-світлової терапії, так і впровадження досконалих та безпечних алгоритмів керування на даний час досить актуальні [2].

**Мета дослідження.** Тому проектування та впровадження нових апаратів, систем та комплексів лазерної терапії потребує виконання розробки та дослідження алгоритмів керування медичних комплексів. Спроекувати алгоритм керування існуючої КЛСТ та виконати модифікацію алгоритму керування для підвищення ефективності використання комплексів лазерно-світлової терапії.

**Основні матеріали дослідження.** Для того, щоб КЛСТ мали дієві результати після виконання процедур, необхідно контролювати такі параметри як довжину хвилі і щільність світлового пучка та час опромінення. Дані застереження пов'язані з тим, що при проходженні світлового променя через живу тканину відбуваються процеси – поглинання, відбиття та розсіювання світлового променя [3]. Для забезпечення потрібного ефекту необхідно регулярно контролювати стабільність впливу на біологічну тканину. Тобто з'являється необхідність контролю та вимірювання параметрів потужності лазерного променя параметру, температура поверхні біологічної тканини (БТ), для уникнути нагрівання або перегрівання поверхні БТ [4]. В результаті виникає потреба використання швидкодіючих алгоритмів керування даними комплексами.

Розглянемо детальніше декілька видів алгоритмів для керування над КЛСТ. Одним з таких алгоритмів є реалізація методу автоматизованого контролю параметрів лазерного опромінення (АКПЛВ). Даний метод АКПЛВ оснований на аналізі оптичних властивостей поверхні шкіри та тканин пацієнта, що дозволяє визначити більш точні оптимальні параметри лазерного випромінювання для кожного конкретного випадку режиму терапії [5].

Наступним алгоритмом керування є реалізація методу максимальної потужності (ММП). Для даного методу притаманне автоматизоване збільшення значень інтенсивності лазерного променя до максимальної межі, яка безпечна для пацієнта. Після чого можна відстежувати ефективність лікування та проводити аналіз реакції на лазерне опромінення, що дає змогу встановити оптимальний режим лікування.

Третій алгоритм керування КЛСТ – це метод фіксованої потужності (МФП). В даному методі постійно використовується значення фіксованої інтенсивності лазерного променя, яку можна регулювати відповідно до типу захворювання та особливостей, що притаманні даному виду захворювання з врахуванням специфічних ознак пацієнта.

Загалом, для управління КЛСТ, можна використовувати різні типи алгоритмів, що залежать від протоколу лікування та специфіки пацієнта і особливостей захворювання. Так метод автоматизованого контролю параметрів може бути використаний для забезпечення більш ефективного та індивідуально підбраного лікування для пацієнтів з різними захворюваннями та специфіками пацієнтів.

Головним завданням дослідження є розроблення та впровадження модифікації алгоритму керування на базі існуючого комплексу КЛСТ. А саме створення можливостей контролю значень температури дії лазера на поверхні біологічної тканини [6]. Дане впровадження надає змогу значно зменшити негативні ефекти переопромінування (зони перегріву та почервоніння і запалення шкіри, можливі опіки, дефекти шкіри – шрами) для пацієнтів під час проведення процедур з використанням системи КЛСТ.

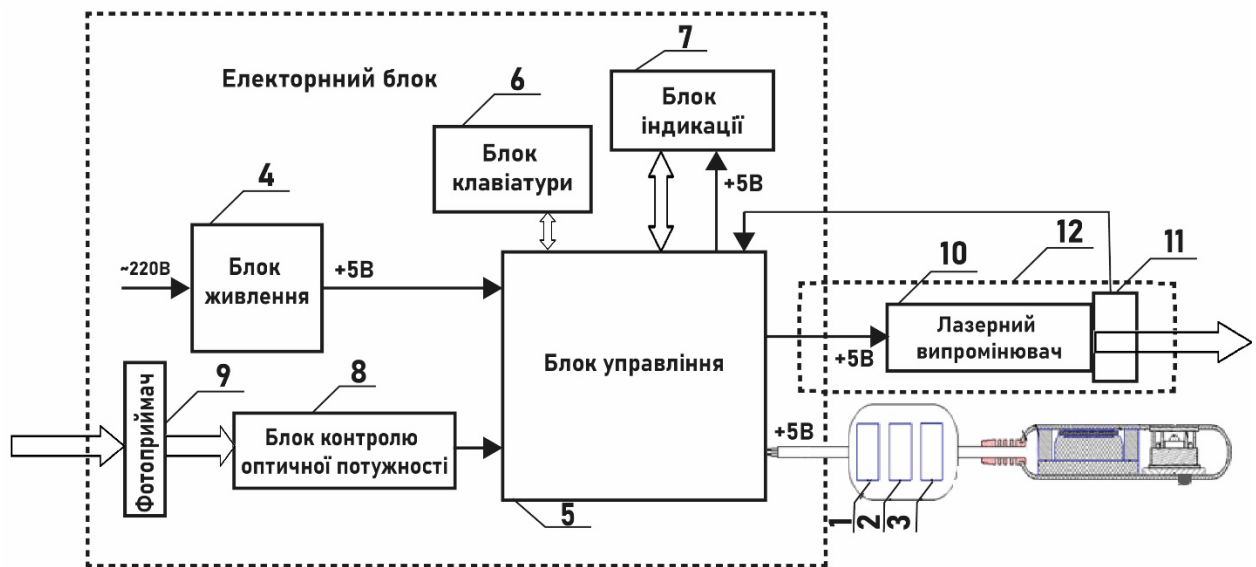


Рис. 1. Структурно-функціональна схема комплексу лазерно-світлової терапії

Нами було розроблено структурно-функціональну схему комплексу лазерно-світлової терапії, яка представлена на рис. 1 [7]. В даному комплексі з блоку живлення 1 подається напруга на вузли, блоки та пристрої апарату. Далі сигнал в діапазоні від 10 кГц до 10 МГц через вихід генератора 1 подається на вхід 2-канального імпульсного модулятора 2. Високочастотний електричний сигнал з виходу модулятора 2 передається через атенуатор 3 на матрицю RGB LED пластини для формування різнокольорового випромінювання на біологічній тканині. Режим роботи лазерного випромінювача 10 вибирається з клавіатури 6 і його параметри відображаються на екрані дисплея 7. Вихідний кінець рукоятки з лазерним випромінювачем 10 підноситься до фотоприймача 9 блоку контролю оптичної потужності 8, де фіксується значення потужності лазерного випромінювання (ЛВ). Якщо отримане значення знаходиться в межах допустимого діапазону для режиму ЛВ, блок керування 5 перемикає КЛСТ в робочий режим. У режимі лазерного опромінення біологічної тканини в зоні дії лазерного променя вимірюється і контролюється температура нагріву за допомогою датчика температури 11. Крім того, для забезпечення безпечного лазерного опромінення лазерний випромінювач 10 з рукою встановлений на виносній рухомій підставці 12. Основний алгоритм керування (ОАК) даного комплексу представлено на рис. 2.

Цей алгоритм реалізується наступним чином: перший етап дії КЛСТ полягає в увімкненні комплексу та поданні напруги на пристрої та блоки комплексу. Після чого

відбувається формування високочастотного електричного сигналу для формування різнокольорового випромінювання на біологічній тканині. Далі відбувається вибір режиму роботи ЛВ для проведення процедури. Для увімкнення робочого режиму, необхідно виконати контроль оптичної потужності ЛВ, при якому відбувається фіксація потужності ЛВ в допустимих межах. Після чого відбувається проведення процедури та вимкнення комплексу.

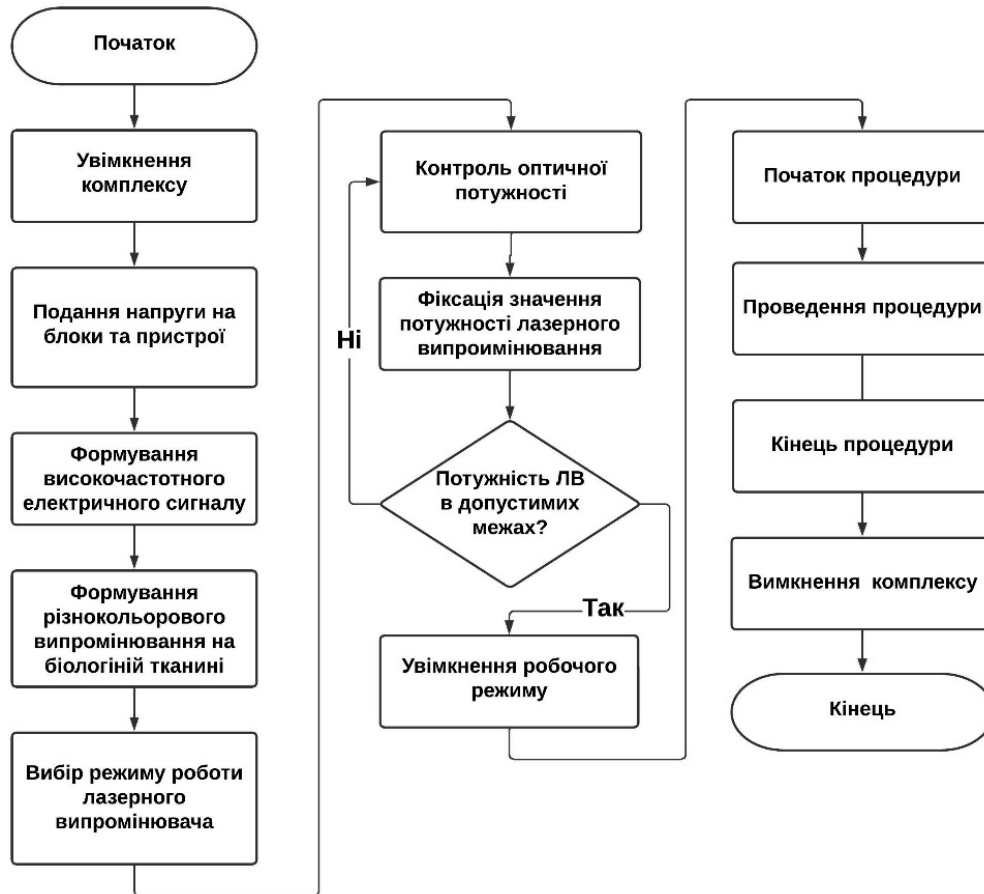


Рис. 2. Алгоритм керування КЛСТ

Модифікований алгоритм керування КЛСТ з контролем температури (АКТ) (рис. 3) полягає в наступному: за допомогою датчику температури вимірюються значення температури на біологічній поверхні, що передається на блок управління. При перевищенні допустимого значення температури ( $+42^{\circ}\text{C}$ ) блок управління вимикає джерело живлення і припиняє лазерне опромінення.

Такий алгоритм реалізується наступним чином: увімкнення комплексу, подання напруги, формування електричного сигналу, формування випромінювання на біологічній поверхні, вибір режиму роботи, контроль оптичної потужності та увімкнення робочого режиму. Далі під час проведення процедури відбувається вимірювання температури на біологічній тканині пацієнта. Якщо виміряне значення знаходиться в допустимому діапазоні, то КЛСТ продовжує роботу та відбувається проведення процедури. В іншому випадку, при перевищенні допустимого діапазону виміряної температури, відбувається автоматизоване знеструмлення комплексу. Після чого відбувається вимкнення КЛСТ.

В даному дослідженні було проаналізовано алгоритми контролю лазерного опромінення та розроблено модифікацію систем керування на базі комплексу лазерно-світлової терапії. Також спроектовано більш довшу структурно – функціональну схему комплексу лазерно-світлової терапії.

Отже, застосування контролю температурного впливу зони лазерного променя і самої температури в безпечному діапазоні, а також контролю значення потужності лазера в зоні

його впливу на біологічну тканину забезпечує найбільш ефективний лікувальний вплив на організм людини.

Особливість запропонованої модифікації полягає в тому, що комплекс КЛСТ має температурні датчики, розміщені на виході лазерного випромінювача та з'єднані з блоком управління, а рукоятка лазерного випромінювача розміщений на виносній стійці.

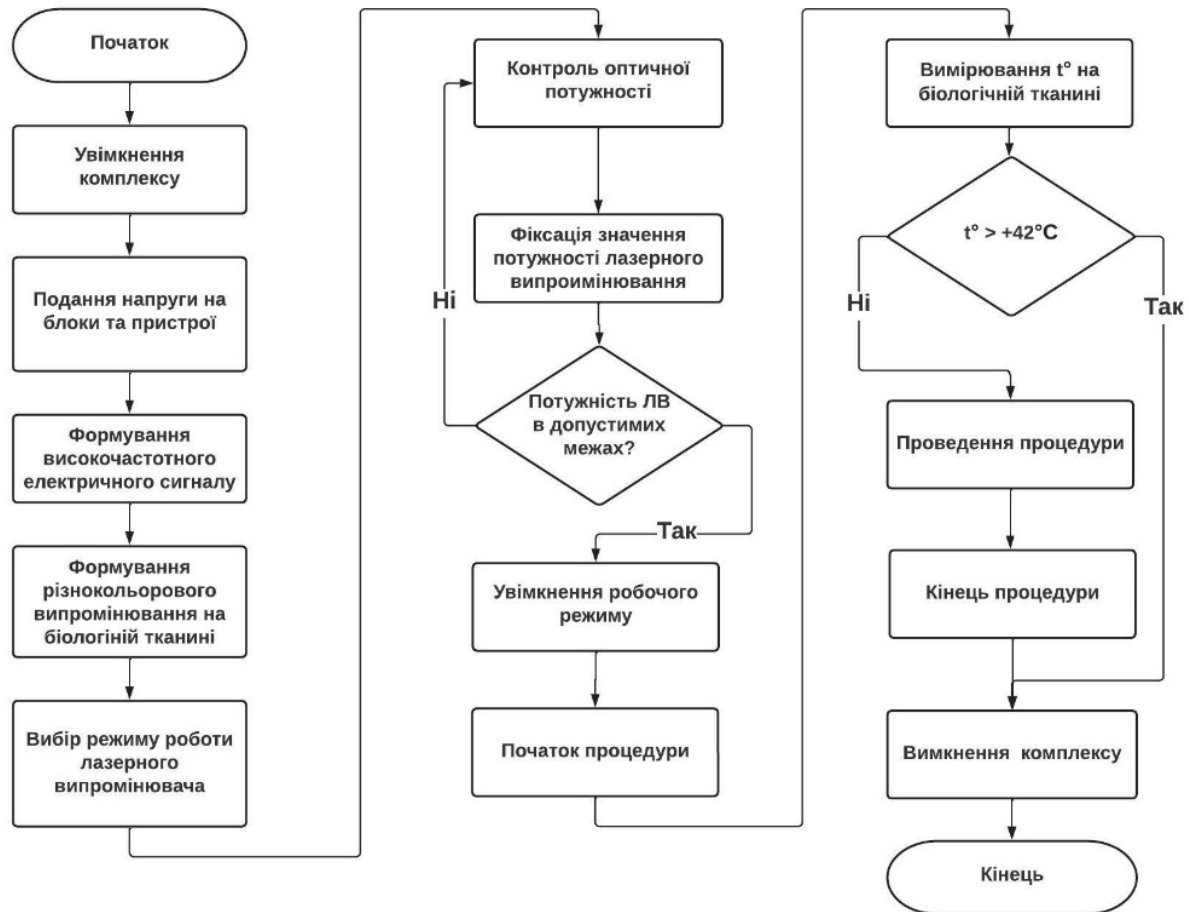


Рис. 3. Модифікований алгоритм керування КЛСТ

### Висновок

Проведено дослідження алгоритмів керування лазерно-світловими медичними комплексами. Встановлено, що алгоритм АКПЛВ має можливість визначення оптимальних параметрів ЛВ для проведення процедури. Алгоритм ММП має певну специфіку і використовується для відстеження змін лазерних елементів, а також коригування налаштувань, що необхідні для підтримки максимальної ефективності лазерної терапії. Алгоритм МФП застосовується при потребі встановлення фіксованої потужності лазерного променя, що виникає через фізіологічні особливості пацієнта. Розроблений основний алгоритм (рис. 2) має специфіку, що полягає у контролі потужності ЛВ та дозволяють ефективно використовувати КЛСТ. Але найбільш перспективним є використання модифікованого алгоритму (рис.3). Він дає можливість проводити терапії з найбільшою оптимальною дією, а також дає змогу зменшити негативні наслідки, що спостерігаються у вигляді нагрівання або перегрівання поверхні БТ, шляхом вимірювання температури в допустимому діапазоні з біологічної поверхні.

### Література

1. Терещенко М.Ф. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах / М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, О.Г. Ляшенко, О.С. Гнатейко. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2015. – №49. – С. 153–158

2. Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури // XI Міжнар. науково-техн. конф. «Приладобудування 2012: стан і перспективи», 24—25 квітня 2012 р. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — С. 193—194

3. Терещенко М. Ф. Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням / М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2012. – №44. – С. 90–97.

4. Sergey Matvienko, Vadim Shevchenko, Mykola Tereshchenko, Anatolii Kravchenko, Ruslan Ivanenko, “Determination of composition based on thermal conductivity by thermistor direct heating method”, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/5 (103), pp. 19–29, 2020. doi: 10.15587/1729-4061.2020.193429.

5. Швидкий В.В., Терещенко М. Ф. Динаміка змін параметрів лазерного випромінювання в біологічних тканинах // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2017.– Вип. 54(2)/ 2017 ,– С.111-118.

6. В.Ю. Рудик, М.Ф. Терещенко, Т.О. Рудик, «Спосіб адаптивної магнітотерапії», Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування, Вип. 51, с. 139–144, 2016.

7. Патент на корисну модель № 152708 Система лазерно-світлової терапії / Пащенко Г.А., Терещенко М.Ф., опубл. Бюл.№13 29.03.2023 р.