

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Беліков Олександр Євгенович



УДК 004.42+004.7]:[615.85:77](043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ
ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ І ЛІКУВАННЯ ЗАСОБАМИ ФОТОТЕРАПІЇ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Трунов Олександр Миколайович,
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили, м. Миколаїв,
професор кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор
Купін Андрій Іванович,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж.

Захист відбудеться **05 травня 2021 р. о 14⁰⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10 та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий 03 квітня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Євген ДАВИДЕНКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Робота присвячена питанням розробки теоретичних основ створення і вдосконалення високоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютерних систем, зокрема, розробці моделей і засобів побудови пристроїв фототерапії. Актуальність роботи обумовлює необхідність оснащення лікарень, фізіотерапевтичних кабінетів, медичних центрів комп'ютеризованими системами та інноваційними засобами, що контролюють параметри малоінтенсивної фототерапії, у тому числі і лазерної, у ході якої, відповідно до діагностичних приписів, проводяться профілактика, лікування та посттравматичне відновлення за стандартами доказової медицини. Розвиток приладів індивідуальної терапії їх впровадження і поширення теж є вимогою, що особливо гостро набуває актуальності в умовах пандемії. Стрімкий розвиток 4-ї промислової революції характеризується поширенням багатьох нових технологій, в тому числі інтернет речей (IoT). У зв'язку з цим функціональна структура та зв'язок фізичних пристроїв, які вбудовано, датчики та програмне забезпечення, щоб ефективно здійснювати передачу і обмін даними між суб'єктами взаємодії і комп'ютерними системами за допомогою стандартних протоколів зв'язку, потребує перегляду і удосконалення. Одним з характерних процесів роботи IoT-пристроїв є живлення від вторинних джерел через такий тип пристроїв, як драйвери, їх робота і визначає ефективність системи в цілому. Останнім часом стрімко розвиваються нові типи драйверів, робота яких ґрунтується як на різних типах елементної бази, так і на різних алгоритмах та засобах формування вихідного сигналу. З іншого боку, з'являються мікроелектронні елементи техніки з низьким енергоспоживанням, які можуть працювати від живлення зазначених малих джерел енергії. У зв'язку з цим пошук рішень, спрямованих на зниження енергоспоживання, підвищення ефективності впливу посідає одне з найголовніших місць у сучасних наукових дослідженнях, пов'язаних зі створенням IoT-пристроїв та приладів фототерапії зокрема. Розробкою подібних систем займалися такі вчені, як: Алгулієв Р. М., Алекперов Р. К., Гергель В. П., Гиббонс Р., Гордєєв Б. М., Гуменюк В. А., Доуней А., Жуков І. А., Кессельман К., Коваленко В. М., Коваленко І. І., Кондратенко Ю. П., Корягіна Д. А., Петренко А. В., Коробов А. М., Кременецький Г. М., Любимський Е. З., Медіковський М. О., Павлов Г. М., Посохов Н. Ф., Саченко А. О., Ситніков В. С., Тимчик Г. С., Топорков В. В., Тягунова М. Ю., Харченко В. С. та інші. Перспективними джерелами немедикаментозного електромагнітного впливу на біотканину є малоінтенсивні лазери та над'яскраві світлодіоди. Вони мають високу чутливість до поданої напруги як керуючого впливу та швидкодію, малі габарити і масу. Однак, як показано у останніх роботах з фототерапії таких вчених, як Jean Krutmann, Akimichi Morita, Craig Elmets, Piotr Bilski, Francesca Guerriero, Клименко М. О., Коробова А. М. та їхніх колег і послідовників, для підвищення ефективності фізіотерапевтичних процесів необхідною умовою є параметрична контрольованість. Часова дозованість, відповідно до діагностичного припису та стану пацієнта, синхронізація до фази електрокардіографічного імпульсу та пульсової хвилі – ось далеко не всі параметри керування і контролю. За цих умов також необхідно забезпечити високу завадостійкість, малий рівень власних шумів, підвищену радіаційну стійкість, технологічність, що стає безумовною перевагою для їх впровадження як приладів

фототерапії. Проте відсутність комп'ютерних систем і засобів, що здатні комплексно визначати експрес-параметри біотканини, такі як сатурація киснем, кровонаповненість, стримувала використання фототерапії як немедикаментозну технологію лікування. До недавнього часу науково-технічна база проєктування і вдосконалення приладів фототерапії обмежувалася, в основному, лише зміною форми, розмірів і матеріалу кріплення випромінювачів, а також виду коливань опромінення.

Таким чином, розробка нових моделей та засобів підвищення ефективності пристроїв фототерапії на базі сучасних досягнень комп'ютеризованих систем та їх компонентів, що забезпечуватиме реалізацію контрольованої дозованості впливу, відповідно до діагностичного припису та синхронізації до фази електрокардіографічного імпульсу і пульсової хвилі. Такий далеко не повний перелік задач вимірювання параметрів стану і керування та контролю і формування керуючого впливу обґрунтовує, що створення комп'ютеризованих пристроїв з фототерапії є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана з науковою програмою: 8. Фундаментальні, прикладні та експериментальні дослідження для розв'язання комплексної проблеми проєктування, виробництва та випробування всіх класів біологічних та медичних приладів і систем.

Дисертаційна робота проводилася відповідно до завдань науково-дослідних робіт: *«Розроблення мобільних малогабаритних та стаціонарних бездротових приладів ранньої діагностики, профілактики, лікування та посттравматичних відновлень військово-цивільного застосування»*, номер державної реєстрації – 0119U100422; *«Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації»*, номер державної реєстрації – 0121U109898, у яких автор був виконавцем. Також протягом 2017–2020 років автор як виконавець та керівник брав участь у ряді наукових проєктів, що спрямовані на вдосконалення комп'ютеризованих систем лікування засобами фототерапії в рамках стартапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка теоретичних основ підвищення ефективності елементів формування та контролю фізіотерапевтичного впливу із заданими параметрами за рахунок впровадження архітектурних рішень реалізації комп'ютерних систем фототерапії та вдосконалення їх структурних елементів.

Об'єкт дослідження – комп'ютеризовані системи та фізіотерапевтичні прилади, що забезпечують перебіг процедур за приписом лікаря.

Предмет дослідження – методи та засоби розвитку архітектурних реалізацій приладів фототерапії як елементів комп'ютеризованих систем, що реалізують технології профілактики та лікування.

У роботі поставлені та вирішені такі завдання:

- провести аналіз стану та тенденцій розвитку технологій фототерапії і устаткування, що їх реалізує;
- визначити структуру та характеристики комп'ютеризованої системи збору і обробки інформації у ході процедур фототерапії, провести порівняльний аналіз елементних баз їх створення та запропонувати оптимальну;

- дослідити перехідні процеси в колі зі струмозалежними індуктивностями за рахунок опису магнітних властивостей феромагнітного осереддя, що дозволяють описувати перехідні процеси в електромагнітних колах імпульсної дії;

- розробити та дослідити систему комп'ютеризованого контролю параметрів процедури та супроводжуваних дій, що визначають умови її проведення та динаміку стану пацієнта;

- дослідити засоби імплементації до комп'ютерно-інтегрованої системи, підсистеми передпроцедурної перевірки устаткування для опромінення, шляхом формування додаткових каналів зв'язку та створення автоматизованої системи керування програмою контролю параметрів випромінювання та умовами їх вимірювання, у тому числі підсистеми контролю відстані до ділянки, що опромінюється, та засобів архітектурних і мережевих реалізацій випромінювача як елемента комп'ютерних систем і мереж, що реалізують технології профілактики та лікування.

Методи дослідження. У дисертації для вирішення наукових задач використані такі методи досліджень: теорії автоматичного керування, теорії коливальних систем із зосередженими параметрами та теорії електричних ланцюгів – для досліджень функціональних моделей і моделювання роботи структурних елементів та оптимізації параметрів; методи аналітичні та чисельні для аналізу диференціальних рівнянь електричних кіл; методи комп'ютерного моделювання LTSpice, Maple – для розробки математичної моделі функціонування комп'ютерної системи в умовах обмеженої кількості аналогових вихідних каналів; фізичні експерименти на макетах і дослідних зразках під час проведення експериментальних досліджень властивостей систем, методи просторового моделювання систем, приладів та їх компонентів у програмному продукті Onshape.

Гіпотеза – забезпечення максимуму ефективності впливу засобами фототерапії досягається за допомогою автоматизованої комп'ютерної системи зі зворотним зв'язком, що ґрунтується на аналізі параметрів стану пацієнта.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні комп'ютерно-інтегрованих систем, моделей і методів контролю параметрів процедур та режимів роботи устаткування і його перевірки.

Вперше розроблено:

- комп'ютерно-інтегровану систему, що реалізує спосіб резонансно-конформаційної терапії у середовищі Arduino контролерів, які за рахунок формування керованого опромінення в умовах стаціонарного та імпульсного магнітних полів забезпечують задану дозу та інтенсивність опромінення за приписом лікаря;

- метод корекції параметрів драйвера імпульсних сигналів, що містить засоби моделювання та корекції параметрів для заданого виду імпульсного сигналу з урахуванням властивостей струмозалежних елементів та задачі, що розв'язується;

- комп'ютеризовану систему передпроцедурної перевірки устаткування фототерапії.

Набув подальший розвиток:

- метод представлення нелінійних процесів у колі зі струмозалежними індуктивностями за рахунок опису магнітних властивостей феромагнітного осереддя, що дозволяє описувати перехідні процеси в електромагнітних колах імпульсної дії;
- метод комп'ютеризованого контролю параметрів процедури та супроводжуючих дій, що визначають умови її проведення та динаміки стану пацієнта;
- метод оптимального вибору геометричних параметрів матриць світлодіодів.

У роботі вдосконалено:

- засоби інтеграції до комп'ютерно-інтегрованої системи, підсистеми передпроцедурної перевірки устаткування для опромінення шляхом формування додаткових каналів зв'язку та створення автоматизованої системи керування програмою контролю параметрів випромінювання та умовами їх перебігу;
- засоби інтеграції до складу комп'ютерно-інтегрованої системи, підсистеми контролю відстані до ділянки, що опромінюється, та засобів дистанційного вимірювання її температури.

Практичне значення отриманих результатів.

У дисертації, на основі виконаних автором досліджень, вирішено науково-технічну задачу створення комп'ютеризованої системи, що забезпечує терапевтичні процедури засобами фототерапії з підвищеною ефективністю.

У результаті виконаних автором досліджень, було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі задачі можуть вважатися виконаними. Під час виконання роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження, внаслідок чого:

1. Практична цінність роботи полягає в розширенні науково-технічної бази проєктування комп'ютеризованих приладів на базі одноплатних комп'ютерів, лазерних далекомірів, пристроїв передпроцедурної перевірки.

2. Отриманий аналітичний опис параметрів драйверів з урахуванням змін заряду та сили струму у колі зі змінними індуктивністю та ємністю, дозволяє синтезувати двопараметричний закон зміни зовнішньої напруги, що забезпечує досягнення необхідної величини максимального значення сили струму за заданий проміжок часу з необхідною частотою слідування.

3. Отримані результати моделювання елементів комп'ютеризованих систем і мереж, що реалізують технології профілактики та лікування, підтверджують: ефект модульованого випромінювання досягається шляхом широтно-імпульсного моделювання та фільтрацією сигналу, апаратними засобами SPI та UART-інтерфейсів або драйверами світлодіодів WS2811 та WS2812.

4. Розроблені варіанти архітектури для налагодження процедури фототерапії на базі однокристальних мікроконтролерів з використанням далекомірів та інфрачервоної матриці контролю температури дозволяють реалізовувати як метод резонансно-конформаційної терапії, так і контролювати параметри процедур.

5. Чисельні методи опису і моделювання перехідних процесів у колі імпульсного струму дозволяють модифікувати параметри і налаштовувати сучасні драйвери крокових двигунів TMC2100 для розв'язку задач фототерапії.

6. Розроблені варіанти комп'ютеризованої системи перевірки є інструментом дослідження та перевірки, що дозволяє проводити вимірювання параметрів

випромінювання як одиничних, так і груп випромінювачів на базі оцінки інтегральних величин, а також індикатрис.

7. Розроблені і застосовані алгоритми та програми у середовищі програмування Arduino дозволяють реалізовувати необхідний набір функції комп'ютеризованих систем калібрування та повірки фототерапевтичних приладів.

8. Запропоновані пристрої передпроцедурної повірки дозволяють контролювати параметри устаткування відповідно до вимог доказової медицини.

9. Отримані результати експериментальних випробувань систем практичного впровадження в дерматології, в неонатології та відновлювальній медицині комп'ютеризованих систем фототерапії показали, що розроблені компоненти мають необхідні параметри для організації фототерапевтичних процедур за приписами лікаря.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто. За результатами наукових досліджень опубліковано 8 робіт, що надруковано у фахових виданнях України [1–8], 4 – у працях міжнародних конференцій, які індексовано у науково-метричних базах даних **Scopus** [9–12], одному патенті на винахід України та 15 патентах на корисну модель. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать: технічна реалізація дослідного стенда та опис основних елементів [1] отримання експериментальних даних з досліджуваного стенда засобами комп'ютерних технологій та їх первинна обробка [2]; пошук та аналіз існуючих теорій взаємодії електромагнітного випромінювання з біологічними об'єктами (in vivo та in vitro) [3]; аналіз технічних реалізацій, пропозиція основної ідеї, структура запропонованої комп'ютеризованої системи та складові елементи конструкції [4]; пропозиція основної ідеї, склад комп'ютеризованої системи, технічні та мережеві засоби для реалізації запропонованої ідеї, аналіз засобів реалізації та вибір оптимальних, формулювання висновків [5]; пропозиції щодо удосконалення ідеї, структура запропонованої автоматизованої системи та технічні засоби для реалізації ідеї [6]; порівняння основних конкурентних ідей, формування структури з основних елементів комп'ютеризованої системи, аналіз та вибір засобів бездротової передачі даних [7]; пропозиції що до елементів структури комп'ютеризованої системи, побудова структури системи [9]; технічна реалізація комп'ютеризованої системи отримання теплових зображень, їх комп'ютерний аналіз [10]; пропозиції щодо структурних елементів фототерапевтичних комп'ютеризованих систем, технічні реалізації [11]; схемо-технічні пропозиції та реалізації [12].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 19 конференціях: Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (2015 р., Warsaw, Poland); 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (2018 р., м. Київ, Україна); 10th IEEE Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (2019 р., Metz, France); 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, (CSIT) (2020 р., Zbarazh Castle, Ukraine); «Ольвійський форум» (2008–2013 рр., м. Ялта, 2014–2019 рр., м. Миколаїв, Україна); «Могилянські читання» (2007–2020 рр., м. Миколаїв, Україна); «Применение лазеров в медицине и биологии» (2008, 2011 рр., м. Харків, Україна); «Політ Ю. А. Гагаріна і розвиток авіації і космонавтики у ХХІ ст.» (2011 р., м. Миколаїв, Україна). За результатами

роботи над дисертаційним дослідженням було подано та отримано 1 патент України на винахід та 15 патентів України на корисну модель.

Публікації. За темою дисертації було опубліковано 43 наукових роботи, з них: 8 – у фахових виданнях; 4 публікації, що реферуються у Scopus; 15 – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій; 16 – патентів України.

Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 223 сторінки. Дисертація містить 113 рисунків, 19 таблиць, список використаних джерел зі 162 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, відображені наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та використання результатів дослідження.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел, проаналізовано сучасні методи та інструментальне забезпечення реалізації процедур фототерапії. Аналіз останніх робіт вчених США, Великої Британії, Італії, Німеччини, Польщі та України дозволив визначити основні нерозв'язані проблеми і недоліки існуючих систем, означити тенденції консолідованого розвитку комп'ютерно-інтегрованих технологій і елементів комп'ютерних систем відповідно до вимог і потреб ефективного проведення процедур фототерапії. Встановлено, що головними недоліками сучасних систем фототерапії, які на сьогодні використовуються у NASA або у шпиталях США, або у фірмі Celluma Канади, або у шпиталі Лондона, та які обмежують розкриття переваг фототерапії, є нездатність таких систем формувати та контролювати потоки випромінювання за інтенсивністю, дозою, спектральним складом та часовим перебігом процесу опромінювання. Крім того, вони не здатні забезпечувати зворотний зв'язок у системі за станом пацієнта та біотканини. На підставі проведеного порівняльного аналізу були означені перспективні напрями розвитку архітектурних реалізацій комп'ютеризованих систем з урахуванням їх сучасного рівня розвитку елементів. Визначено як основу будови перспективних портативних та стаціонарних комп'ютеризованих приладів архітектурні рішення, що здатні забезпечувати реалізацію перспективних технологій фототерапії. Для підвищення ефективності приладів фототерапії та лікування в основу створення комп'ютеризованих приладів покладено декілька ідей. Перша з них – це ідея опромінювати біотканину системою дискретних над'яскравих світлодіодів або лазерних діодів як опромінювачів, що була запропонована та розвивалась протягом двох останніх десятиріч професором А. М. Коробовим та його послідовниками. Друга ідея – спеціальні архітектурні реалізації комп'ютеризованих систем, щоб розширити можливості і підвищити ефективність впливу електромагнітного опромінювання червоної та інфрачервоної частин спектра за рахунок зовнішнього впливу спеціально орієнтованого стаціонарного та імпульсного магнітного поля (належить професору О. М. Трунову). У її основу покладено висновки досліджень

моделі взаємодії фотонів з радикалами фотоакцепторів клітин біотканини. Крім того, визначено, що для адекватного реагування на перебіг процедур фототерапії в системі необхідно передбачати корекцію впливу в часі, у просторі на основі зворотного зв'язку за розташуванням патологічних ділянок, полем температури, пульсовими хвилями, рівнем концентрації кисню у крові (оксигенацією) та за станом пацієнта.

Таким чином, відповідно до сучасних вимог профілактики та лікування методами фототерапії та тенденцій консолідованого розвитку, що встановлено, для реалізації фототерапевтичної процедури за діагностичним приписом лікаря розглядаються комп'ютеризовані системи як придатні до формування потоків опромінювання відповідно до параметрів та спектрального складу. Також вимогою їх ефективного функціонування передбачається, що вони повинні бути придатні до передпроцедурного контролю, контролю і протоколюванню параметрів у ході процедури, корекції параметрів процедури з диференціальним урахуванням параметрів стану пацієнта. Останнє є *розв'язком першої задачі*.

У другому розділі розглядається розвиток архітектурних реалізацій інноваційних приладів фототерапії як елемента комп'ютеризованих систем, що у сукупності реалізують технології профілактики та лікування. Структурний склад устаткування профілактики і лікування засобами фототерапії більшою мірою визначають їх можливості реалізації функціональних задач. Встановлено внаслідок аналізу тенденцій розвитку апаратури фототерапії та елементної бази комп'ютеризованих систем, що задачу опромінення можна розв'язати двома шляхами. Перший – застосуванням розподілених, нерухомих джерел опромінення, що упорядковано у матрицю. Другий – формуванням стаціонарних джерел визначеного спектрального складу, що випромінюють потоки променів на систему рухомих у взаємно-ортогональних площинах дзеркал, які програмовано обертаються і забезпечують переміщення по поверхні біотканини смуг сформованої нерівномірної інтенсивності випромінювання. Більшість апаратів фототерапії випромінюють контрольовані потоки променів ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного частин спектра, що утворюється над'яскравими світлодіодами. Для забезпечення профілактики та лікування методами резонансної конформаційної терапії спостереження за параметрами зворотного зв'язку після обробки результатів заміру інтенсивності – $I(x,y)$, визначає дозу – D та біологічний результат – N_e взаємодії опромінення, яке проходить крізь поверхню – S біологічної тканини у кількості $N_\nu(x,y,t)$ – фотонів у точці з координатами (x,y,z) в момент часу t за напрямом Z :

$$I(x,y) = \int_{\nu_1}^{\nu_2} f(x,y,z,\nu,t) h\nu d\nu; \quad D = \iint_{V,t} I(x,y) dV dt; \quad N_e = \int_0^t \iiint_V \rho(\nu) \exp(-\gamma z) f(x,y,z,\nu,t) dx dy dz d\nu dt.$$

У цьому визначенні позначено N_e та $\rho(\nu)$ – кількість електронів, що відірвано, та ймовірність відриву електронів від цитохром-с-оксидази мітохондрії клітини. Останнє теоретично обґрунтовує, що властивості випромінювачів, такі які визначаються тільки експериментально: $f(x,y,z,\nu,t)$ – спектральний розподіл густини енергії на одиницю об'єму біотканини і сумарний коефіцієнт поглинання та розсіювання енергії – γ , визначають і фізіотерапевтичний результат та потребують поточного і передпроцедурного контролю.

Крім того, задачу синтезу параметрів перебігу процедур та їх корекції необхідно ставити як задачу мінімізації квадрату відхилень з обмеженими нерівностями. Постановка та розв'язок задач оптимального проектування таких систем нашою вимогою реалізації терапевтичної ефективності та споживацької доступності. За цих ознак перспективності набувають прилади, різновиди функціонування яких можуть бути узагальненими такою функціональною блок-схемою (рис. 1). Встановлено, що її прогресивність зумовлена введенням функціональних елементів, що забезпечуватимуть формування спектра опромінення, контроль величини параметрів опромінення саме на поверхні біотканини та відстані від поверхні до датчика інтенсивності опромінення. Крім того, введення додаткового контролю параметрів пульсової хвилі, концентрації кисню у крові, температури разом із параметрами додаткового магнітного поля та бездротовим зв'язком змінює принципово функції і терапевтичні можливості приладів. Представлений варіант структури на рис. 1 здатен реалізовувати закони необхідного електромагнітного опромінювання за допомогою розподілених нерухомих дискретних випромінювачів із заданими параметрами спектрального складу, інтенсивності, дози, площини коливань вектора напруженості електричного поля опромінювання. Разом з тим, показано, що таке рішення має можливості для підвищення ефективності опромінення пацієнта за рахунок формування постійної і змінних складових магнітного поля із забезпеченням величини вектора напруженості, що розраховується комп'ютеризованою системою. Причому такий вплив, як керований і контрольований в часі та просторі, реалізується комп'ютеризованою системою на підставі даних зворотного зв'язку. Керування випромінюванням матриці може бути реалізовано за допомогою мікроконтролерних засобів. А обмін інформацією між приладом та лікарем – здійснюватися за допомогою бездротових протоколів передачі даних та мобільних пристроїв. Таким чином, структура системи дозволяє реалізовувати задачі діагностування пацієнта для відслідковування ефективності терапії та швидкого реагування на динаміку лікування і проведення корекції призначень лікаря. Показано, що на першому етапі задається структура, яка складається з таких основних функціональних компонентів (рис. 1).

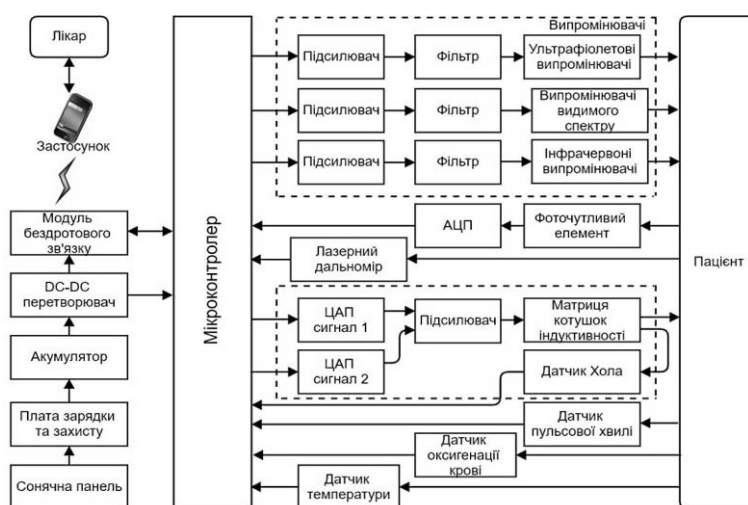


Рисунок 1 – Структура фототерапевтичної системи нерухомих дискретних випромінювачів на базі однокристальних мікроконтролерів та одноплатних комп'ютерів

Досліджено застосовність напівпровідникових світлодіодів з високою потужністю випромінювання, розв'язано задачу управління матрицею таких світлодіодів мікроконтролером із застосуванням схем підсилювачів. Досліджено управління через аналогові та цифрові виходи формуванням періодичного сигналу заданого закону, що наближається до гармонічного широтноїмпульсним моделюванням разом зі схемами пасивної фільтрації. Експериментально доведено, що система живлення портативних апаратів використання малогабаритних акумуляторів підвищеної ємності є ефективною. Як показали експерименти, схеми зарядки та захисту таких акумуляторів можуть доповнюватись портативною сонячною панеллю, яка спеціально розроблена та інкапсульована. Розв'язок задачі керування терапевтичною процедурою за декількома лікувальними критеріями, у тому числі і таким, як доступність, реалізується шляхом формування світлових смуг заданого спектрального складу та інтенсивності. Останнє успішно реалізує 8-бітний мікроконтролер (наприклад, ATmega8).

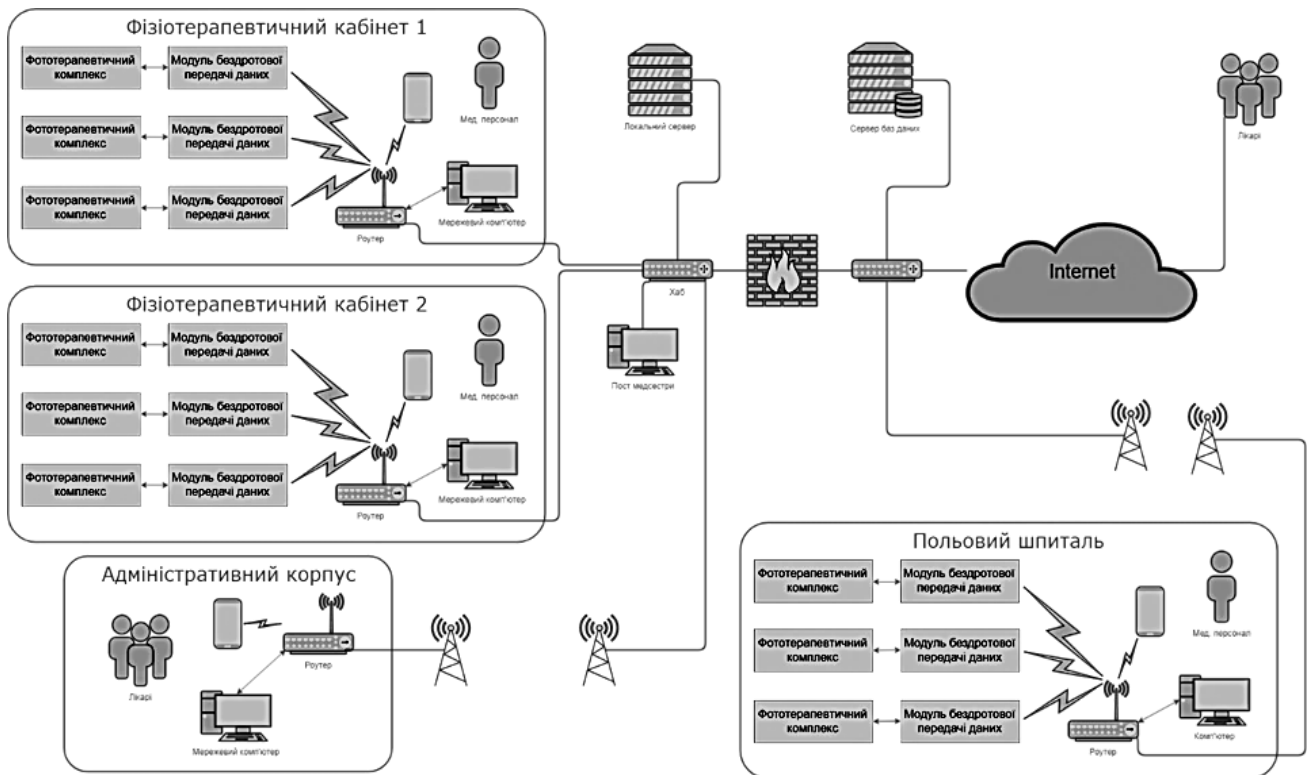


Рисунок 2 – Функціональна блок-схема підключення приладів до об'єднаної мережі

На підставі аналізу функціональної моделі роботи приладу фототерапії розроблено варіант функціональної блок-схеми підключення приладів до об'єднаної мережі системи фізіотерапевтичних кабінетів, лікарні, шпиталю серверів, вузлів, баз даних та хмарних сервісів (рис. 2). Приклад схемотехнічного рішення, яке запропоновано в роботі як таке, що ефективно реалізує підключення мікроконтролера до світлодіодної матриці, подано на рисунку 3.

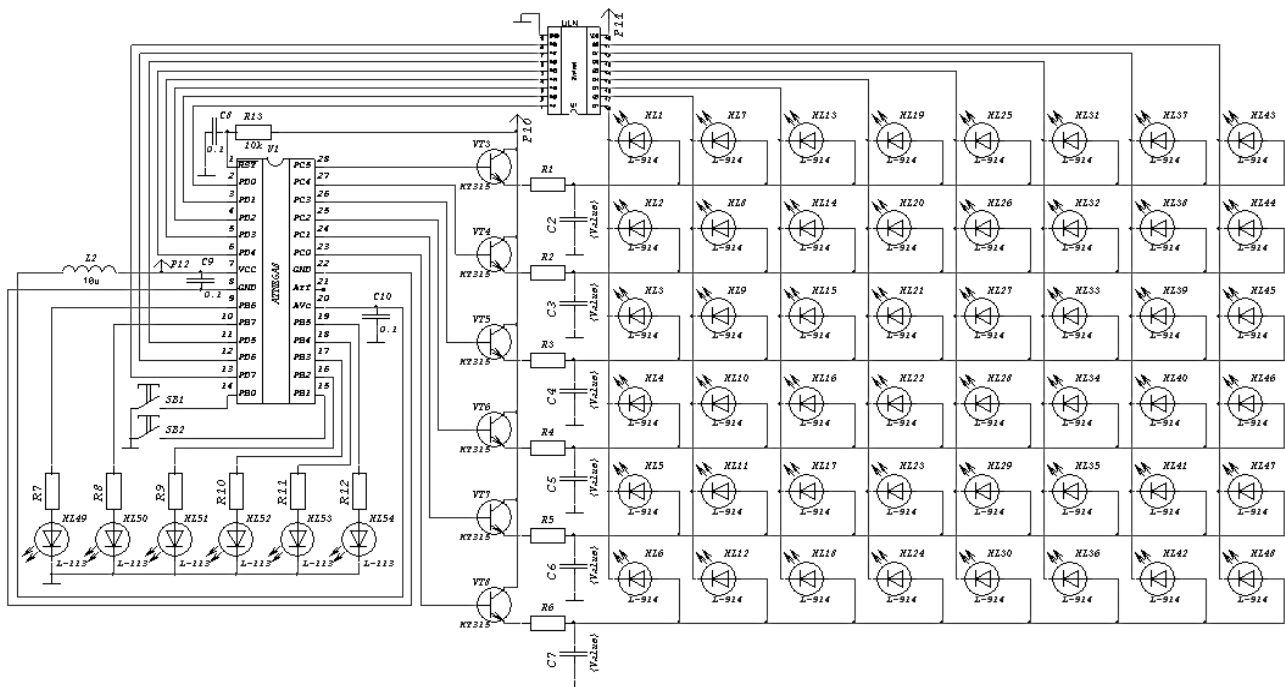


Рисунок 3 – Електрична принципова схема підключення мікроконтролера до матриці світлодіодів

Експериментальні випробування дозволили мінімізувати кількість елементів кіл. Так внаслідок оптимізації і дослідження роботи схеми встановлено, що вона її оптимальна структура містить елементи: мікроконтролер ATmega8 та його обв'язка, кнопки управління, матриця світлодіодів XL1–XL48, елементи підсилення, які працюють в режимі ключа (транзистори VT3–VT8 та транзисторна збірка ULN2803), ланцюги пасивної фільтрації, з RC-контурів. Забезпечення оптимального функціонування мікроконтролера реалізується, якщо алгоритм виконує ряд дій: вмикає живлення, забезпечує генерацію тактових імпульсів, організує початкове скидання, приєднує периферійні пристрої до портів вводу та виводу. Експериментально доведено, що подвійне живлення контролера ATmega8 підвищує його надійність роботи в цілому (рис. 3). Керамічні конденсатори, з малим струмом втрат і мінімальною відстанню до виводів МК, та послідовний звичайний LC-фільтр дає мінімальну кількість елементів і в результаті розрозрахунку параметрів відповідно до норм електромагнітної сумісності знижує рівень завад крізь лінію живлення. Проведені експериментальні дослідження показали, що МК сімейства AVR чутливі до збоїв у разі використання високої напруги живлення більше 6 В. Крім того, необхідно обмежувати максимальний струм, що тече крізь виводи VCC, GND, оскільки він не повинен перевищувати значення 200 мА, тому як захист доцільно використовувати малопотужний стабілізатор 78L05. Також рекомендовано на вивід RESET (вивід 1) встановлювати стандартне коло «резистор-конденсатор» (4.7 кОм, 0.01 мкФ) та передбачати зовнішнє скидання шляхом встановлення кнопки скидання на вході виводу RESET. За її допомогою згенерується присутність логічного рівня «0» на час більше 1.5 мкс (рис. 3). Також, з метою підвищення споживацької привабливості, можна використовувати внутрішній RC-генератор. Використання внутрішнього резонатора є економічно вигідним, оскільки не потребує використання додаткових елементів. Разом з тим таке рішення необхідно використовувати лише для тих застосувань, які не потребують високої часової точності.

Експериментально встановлено, що формування управляючого сигналу на базі МК має свої особливості та обмеження, а саме: за допомогою МК можна формувати послідовність сигналів прямокутної форми опорної або меншої частоти; окрім прямокутного сигналу за допомогою МК існує можливість формувати аналоговий сигнал, однак кількість таких каналів обмежена (6 каналів у ATmega8 та 8 каналів у ATmega16), а самі контролери більш дорогі.

Таким чином, шляхом фізичного моделювання з метою зменшення вартості апаратної реалізації, досліджено особливості формування сигналів цифровими каналами. Експериментально встановлено, що використовувати управляючі сигнали за формою меандра як джерела пульсацій є недоцільно, що зумовлено потребою згладження переднього та заднього фронтів прямокутного сигналу. Таким чином, було досліджено ефективність фільтрів, що побудовано на дискретних елементах (RC або LC-ланках) моделюванням за допомогою пакета SwCAD/LTspice четвертої версії. В результаті встановлено такі недоліки: висока ємність конденсаторів суттєво збільшує габарити та вартість елементів кіл, що є економічно нераціональним, а опір сягає декілька кОм і суттєво зменшує ККД практично до нуля. На рисунку 4 продемонстрована спроба згладжувати меандр з частотою до 2 Гц, де зеленим кольором позначений вхідний сигнал з мікроконтролера, синім позначений сигнал після проходження першої ланки фільтрації, а червоним – сигнал після проходження другої ланки фільтрації. Таким чином, згладжування низькочастотного меандра не призводить до бажаного результату. Використання двох або більше послідовно з'єднаних ланок згладжування підвищує ефективність, однак збільшення кількості RC-ланок збільшує вартість приладу у цілому. Такий спосіб отримання плавнозмінного сигналу призводить до затягування заднього фронту, який виходить за межі початкового прямокутного сигналу, що слід враховувати під час формування вхідного сигналу.

У зв'язку з цим було досліджено третій спосіб – підвищення частоти прямокутного сигналу, що дало аналогічні результати і у зв'язку з цим було досліджено альтернативні програмні можливості мікроконтролера для збільшення частоти сигналу. Однак оскільки збільшення частоти слідування самого меандра виходить за рамки умови рівності швидкостей руху крові та смуги опромінювання, то сигнал після початкової широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) додатково обробляється шляхом фільтрації.

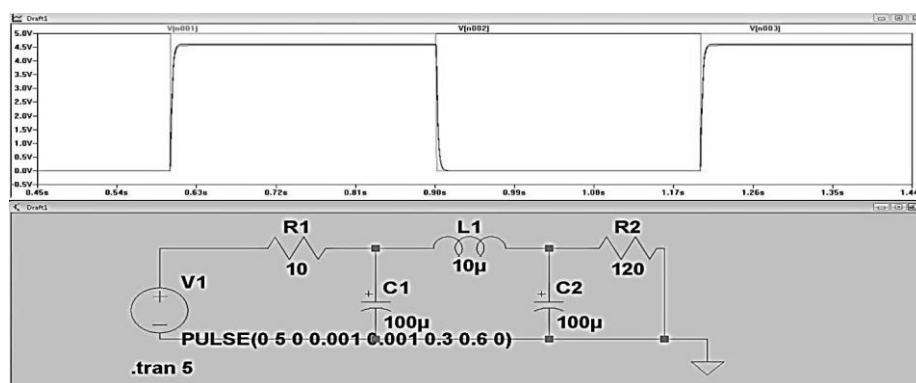


Рисунок 4 – Моделювання проходження прямокутного сигналу з частотою 1.667 Гц крізь дві згладжувальні ланки

У мікроконтролерах сімейства Atmel передбачено декілька режимів ШІМ: **Fast PWM; Phase Correct PWM; Clear Timer On Compare**. Досліджено для задачі моделювання хвиль опромінення сукупності світлодіодів матриці трьох режимів ШІМ. Показано, що ШІМ сигнал потребує згладжування для всіх трьох можливих режимів утворення плавно зростаючого та плавно спадного сигналів, які співпадатимуть з біологічними сигналами, наприклад, пульсовою хвилею. На рисунках 5 та 6 показані результати моделювання низькочастотного ШІМ сигналу, що пройшов крізь RC-ланки з різними значеннями опорів та ємності.

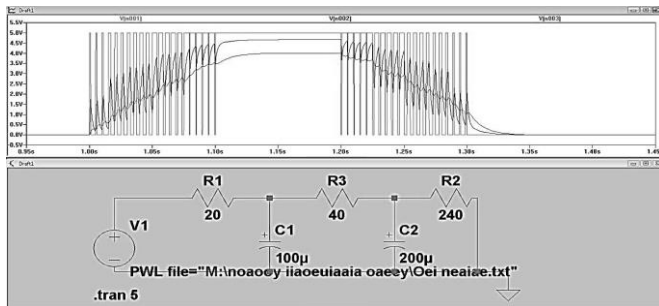


Рисунок 5 – Графічне представлення результатів моделювання проходження ШІМ сигналу крізь дві RC-ланки 20Ω та 40Ω, 100µF та 200µF відповідно

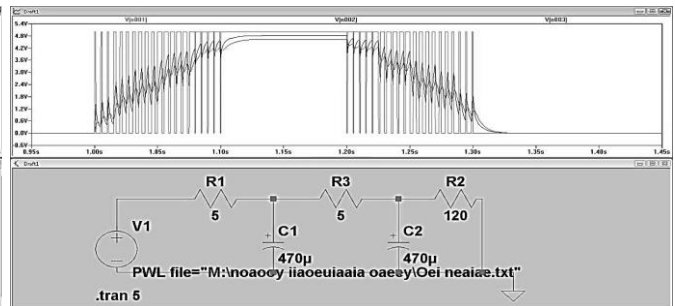


Рисунок 6 – Моделювання проходження ШІМ сигналу крізь дві RC-ланки 5Ω та 5Ω, 470µF та 470µF відповідно

Зменшення пульсацій як після першої, так і після другої ланки досягається як у разі збільшення значень опорів, що знижує ККД, так і під час збільшення ємності конденсаторів, що збільшує габарити та вартість. Крім того, збільшення опорів RC-ланок призводить до затягування часу спаду сигналу до нуля та його виходу за межі прямокутного. Незначні залишкові пульсації сигналу не впливатимуть на якість випромінювання світлодіодів, оскільки вони мають інерційність, яка обумовлена власною ємністю переходу і нівелює ці пульсації. Встановлено, що оптимальним для задачі побудови хвиль опромінення є використання ОМК за умов формування ШІМ сигналів. Для згладжування пульсацій сигналів слід використовувати RC-ланки з мінімальним значенням опору та достатнім номіналом електролітичних конденсаторів. Для покращення якості згладжування слід використовувати дві послідовно з'єднані RC-ланки. З метою зменшення значень опорів та ємностей RC-ланок слід використовувати максимальну частоту ОМК та «Fast PWM», режим формування ШІМ сигналу апаратними засобами SPI та UART-інтерфейсів або драйверами світлодіодів WS2811 та WS2812. Таким чином, першочергово визначені компоненти запропонованої архітектури на основі моделювання та порівняльного аналізу уточнюються як однокристальні 8-бітні мікроконтролери або 32-бітні мікроконтролери та платформи на їх основі. Останнє є *розв'язком задачі визначення структури – другої задачі дослідження*. Продemonстровано, що розв'язок задачі формування хвиль впливу як альтернативне рішення, яке з метою економії кількості каналів управління матричними випромінювачами, моделює процеси застосування мікросхем-драйверів адресних світлодіодів або крокових двигунів. Встановлено, що мікросхеми WS2812 хоча і мають більш високу швидкість порівняно з WS2811, але непридатні для живлення матричних випромінювачів. Причиною тому є

застосування у корпусах світлодіодів для WS2812 вбудованих збірок мікросхеми, що унеможлиблює будь-яку корекцію та інтеграцію. Продемонстровано, що для визначення просторового розташування патологічних ділянок існуючі засоби отримання, обробки та передачі зображень у видимій та інфрачервоній частинах спектра потребують удосконалення. Показано, що додатково обраний лазерний далекомір та засоби переміщення в просторі детекторів інфрачервоного вимірювання температури і випромінювачів забезпечують розширення інформаційної обізнаності про стан біотканини і потребують включення до переліку параметрів зворотного зв'язку. Для підвищення густини ймовірності активації клітин фотонами під час фототерапії була поставлена та розв'язана задача про струм, що тече у колі із послідовно з'єднаними струмо-залежними індуктивністю і ємністю – рисунок 7. Результати чисельного вирішення показані в таблицях 1 та 2.

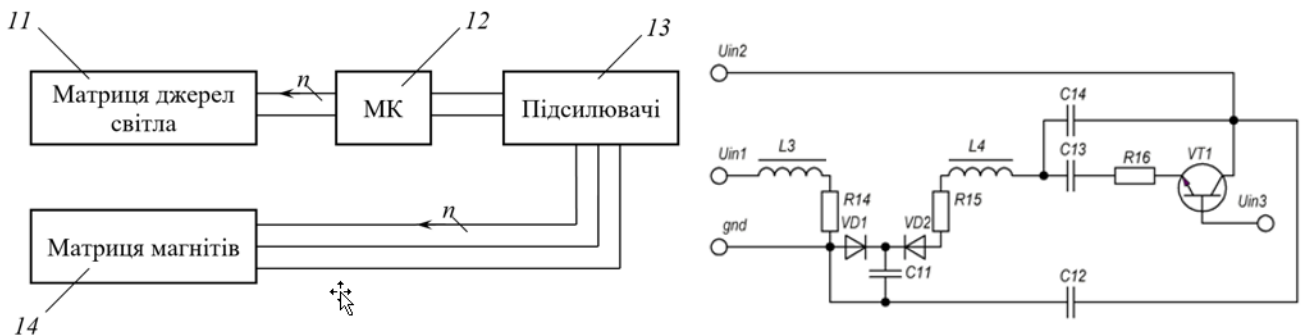


Рисунок 7 – Функціональна схема та схема під'єднань джерел опромінення до комірки що формує комбіноване магнітне поле

Розв'язок поставленої задачі здійснено за умов, що напруга, яку подано на вхід обмотки, змінюється за законами: лінійним $U(t) = U_0 + U_a t$ та імпульсно періодичним із шаруватістю: $U(t) = U_a t + C \sum_{k=1}^K e^{-\alpha(t-kT_k)^2}$, де позначено T – період, а $k = [t/T]$ – цілу частину числа для відносного часу відповідно. Аналітично отримано рішення для лінійного закону зміни напруги за умов струмозалежності індуктивності і ємності:

$$i(t) = -\frac{R}{2L} e^{-\frac{Rt}{2L}} (C_2 \cos \omega t + C_3 \sin \omega t) + \omega e^{-\frac{Rt}{2L}} (-C_2 \sin \omega t + C_3 \cos \omega t) + b.$$

Величину амплітудного значення сили струму знайдемо додаванням взаємно ортогональних коливань:

$$I_{\max} = U_a C \left[1 + e^{-\frac{Rt}{2L}} \sqrt{1 + \left(\left(\frac{q_0}{U_a C} - \frac{U_0}{U_a} - RC \right) \frac{R}{L} - 1 \right)^2} \right].$$

Таким чином, синтез параметрів спаду напруги приладів профілактики та постлікувального відновлення проведемо за вимогою створення максимальної напруженості магнітного поля, для чого необхідно значення максимального струму:

$$I_{\max} = (H - I_{\min} n_{st}) / n_{var},$$

а мінімальне значення та швидкість зростання спаду напруги розрахуються:

$$U_0 = I_{\min} R_{14}; \quad U_a = \frac{(H - I_{\min} n_{st})}{n_{\text{var}} C \left[1 + e^{-\frac{Rt}{2L}} \sqrt{1 + \left(\left(\frac{q_0}{U_a C} - \frac{U_0}{U_a} - RC \right) \frac{R}{L} - 1 \right)^2} \right]},$$

та період слідування $T = 4\pi L/R$ і величину втрат енергії за проміжок часу дії імпульсу на активному опорі, що обмежено огинаючою до процесу зміни квадрату сили струму:

$$Q \leq \int_0^t \left[b + R \left(e^{-\frac{Rt}{2L}} \right) \times \sqrt{b^2 + \left(\left(q_0 - U_0 C - R U_a C^2 \right) \frac{R}{L} - b \right)^2} \right] dt.$$

Таким чином, навіть за наближеного розгляду видно, що збільшення ємності пропорційно збільшує амплітуду сили струму, а збільшення індуктивності зменшує швидкість її спаду у часі. Численні дослідження цих процесів довели їх швидку спадність, коливання яких затухають до початку наступного імпульсу, що еквівалентно $K=1$, якщо інтервал часу менше за період. Враховуючи, що для струмозалежних величин будь-який параметр є складною функцією часу, досліджено рівняння:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \right) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} - \frac{U(t)}{L} = 0.$$

Останнє розв'язано чисельним методом Ейлера, де друга, перша похідні і розв'язок у момент часу $t + \Delta t$ дорівнюють:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = \left[\frac{U(t)}{L} - \left(\frac{R}{L} \right) i - \frac{q}{LC} \right] \left[1 + \frac{idL}{Ldi} \right]^{-1}; \quad \frac{dq}{dt} = i_0 + \frac{d^2 q}{dt^2} \Big|_{t=t_0} \Delta t; \quad q = q_0 + \frac{dq}{dt} \Delta t.$$

Таблиця 1

№	Індуктивність, L3, Гн	Індуктивність, L4, Гн	Ємність C11, мкФ	Ємність C12, мкФ	Ємність, C13, мкФ	Опір R14, Ом	Опір R15, Ом
1	2	6	0,47	0,1	0,22	100	10
2	2	8	2	0,1	0,47	100	10
3	2	10	3	0,22	0,22	200	20
4	2	12	4	0,22	0,47	200	20

Таблиця 2

№	Сила струму, мА	Часова протяжність імпульсу, $T_{\max}$, мс	Приріст Часової протяжності $\Delta T_{\max}$, мс	Частота слідування ν , Гц	Скважність $\tau = \Delta T_{\max} / T_{10^3}$	Максимальний струм, А
1	10	118,658	5,522	1,1666	6,44265	2,576
2	20	159,52	46,384	1,1666	54,1173	2,465
3	60	277,1254	163,9894	1,1666	191,33	2,135
4	100	357,7674	244,6314	1,1666	285,417	1,915

На підставі аналізу результатів моделювання встановлено, що застосування аналітичних та чисельних методів опису і моделювання перехідних процесів у колі імпульсного струму дозволяє модифікувати сучасні драйвери та розширити межі їх застосування, у тому числі для живлення випромінювачів приладів фототерапії.

Таблиця 3

t, c	$\ddot{q}_8$	I ₈ , A	q ₈ K	L ₈ , Гн	$\ddot{q}_9$	I ₉ , A	q ₉ , К	L ₉ , Гн
0,001	-2,95512	0,007045	7,05488E-06	1,347241	-2,95773	0,007042	7,05227E-06	1,346855
0,002	-2,95659	0,007043	7,05341E-06	1,347024	-2,95706	0,007043	7,05294E-06	1,346955
0,003	-2,95738	0,007043	7,05262E-06	1,346907	-2,9559	0,007044	7,0541E-06	1,347126
0,004	-2,95976	0,00704	7,05024E-06	1,346556	-2,94795	0,007052	7,06205E-06	1,348299
0,005	-2,88874	0,007111	7,12126E-06	1,357039	-2,88919	0,007111	7,12081E-06	1,356972
0,006	-2,57008	0,00743	7,43992E-06	1,404056	-2,56811	0,007432	7,44189E-06	1,404347
0,007	-1,55986	0,00844	8,45014E-06	1,552914	-1,54423	0,008456	8,46577E-06	1,555215
0,008	0,258866	0,010259	1,02689E-05	1,820157	0,290206	0,01029	1,03002E-05	1,824754
0,009	2,195828	0,012196	1,22058E-05	2,103718	2,126358	0,012126	1,21364E-05	2,093566
0,01	3,053673	0,013054	1,30637E-05	2,228955	2,888124	0,012888	1,28981E-05	2,204803
0,011	2,187507	0,012188	1,21975E-05	2,102502	2,130514	0,012131	1,21405E-05	2,094174
0,012	0,26883	0,010269	1,02788E-05	1,821619	0,288579	0,010289	1,02986E-05	1,824515
0,013	-1,54438	0,008456	8,46562E-06	1,555192	-1,54438	0,008456	8,46562E-06	1,555193
0,014	-2,56158	0,007438	7,44842E-06	1,40531	-2,56464	0,007435	7,44536E-06	1,404858

Таким чином, драйвери крокових двигунів ТМС2100 після програмування з урахуванням параметрів струмозалежних індуктивностей можуть використовуватись елементи подвійного призначення. Отримані чисельні дані моделювання доводять кількісно, таблиці 3, що будь-який драйвер повинен містити засоби моделювання та корекції виду імпульсного сигналу з урахуванням властивостей струмозалежних елементів та задачі, що розв'язується. Такий висновок обґрунтовує пропозицію стандартизувати лінійку драйверів доповненням – засобами моделювання та корекції параметрів імпульсного сигналу з урахуванням властивостей струмозалежних елементів кола та вимог до параметрів перехідного процесу. *Таким чином, розв'язана третя поставлена задача.*

На підставі припущення про існування неперервних законів розподілу інтенсивності, поставлена та розв'язана методом множників Лагранжа задача про оптимальні відстані між осями світлодіодів у випромінювачі, що побудована у вигляді матриць.

У третьому розділі розглянуто розвиток архітектурних реалізацій інноваційних приладів із застосуванням мережевих технологій для перевірки точкових, матричних та інших систем випромінювачів. Такі системи досліджено як елемент комп'ютеризованих систем, що у сукупності реалізують технології профілактики та лікування. Представлено результати 3D-моделювання їх елементів, розроблено стенди для експериментального дослідження. Показано на прикладах розбіжності фактичних і паспортних параметрів просторового розподілу одиничних випромінювачів, що забезпечити адекватний припису лікаря терапевтичний вплив неможливо без проведення перевірки та калібрування. Експериментально досліджено основні методи перевірки та калібрування напівпровідникових випромінювачів, визначені недоліки цих методів та запропоновані шляхи удосконалення за рахунок новітніх комп'ютерних компонентів та засобів. Розроблено мікроконтролерний стенд для перевірки енергетичної потужності точкового випромінювача (рис. 8). Проведені дослідження восьми обраних типів випромінювачів червоної та інфрачервоної частини спектра були рекомендовані для подальшого використання.

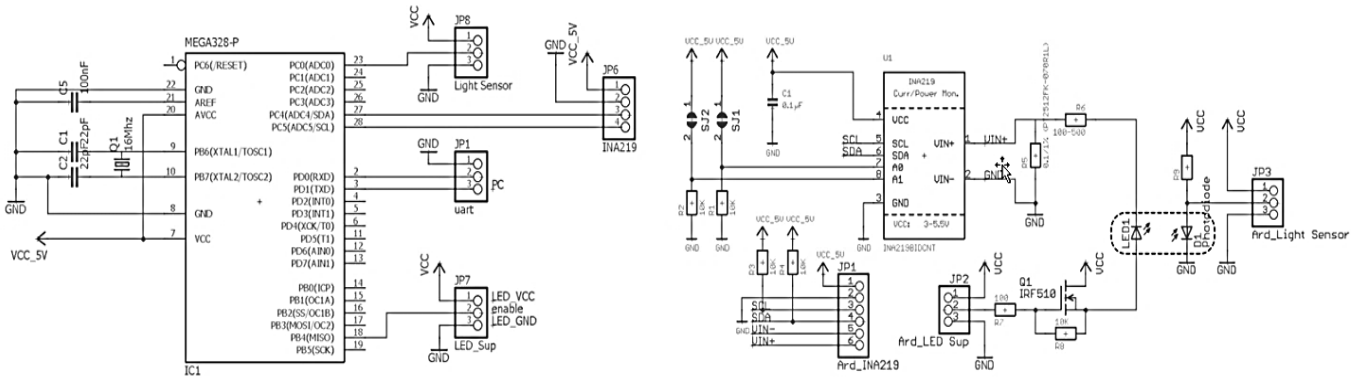


Рисунок 8 – Схема електрична принципова мікроконтролерного стенда для перевірки точкових випромінювачів

Розроблено та досліджено функціональну схему та просторову модель у ліцензованому середовищі Onshape (рис. 9) і мікроконтролерну частину стенда для перевірки просторового розподілу енергетичної потужності випромінювача (рис. 10):

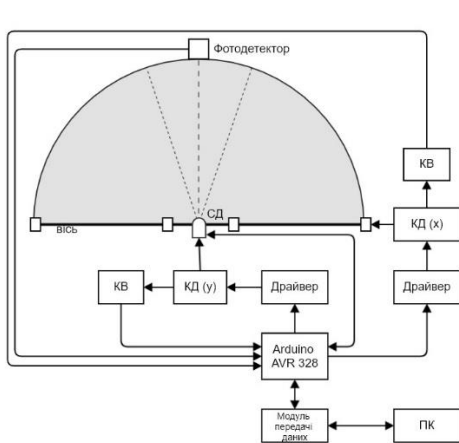


Рисунок 9 – Функціональна схема стенда для перевірки

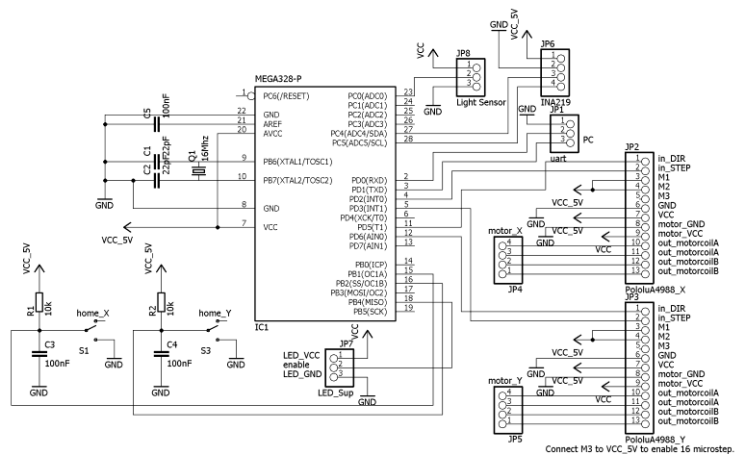


Рисунок 10 – Схема електрична принципова стенда для перевірки просторового розподілу

На основі проведених досліджень були сформовані просторові діаграми випромінювачів (рис. 11), що дозволило підвищити точність формування площі матричних випромінювачів.

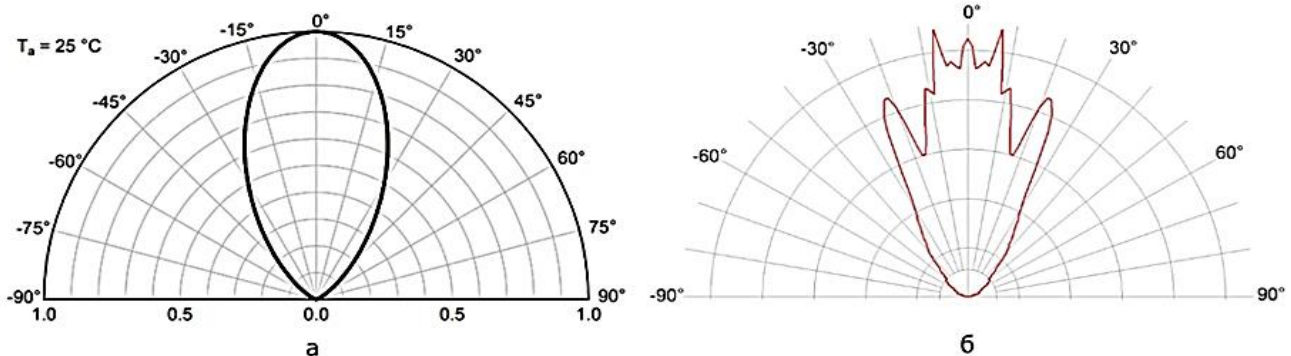


Рисунок 11 – Просторові діаграми точкових випромінювачів, де а – надана виробником, б – отримана під час досліджень на розробленому стенді

На рисунку 12 показана функціональна схема розробленої системи повірки спектрального складу випромінювання точкового випромінювача.

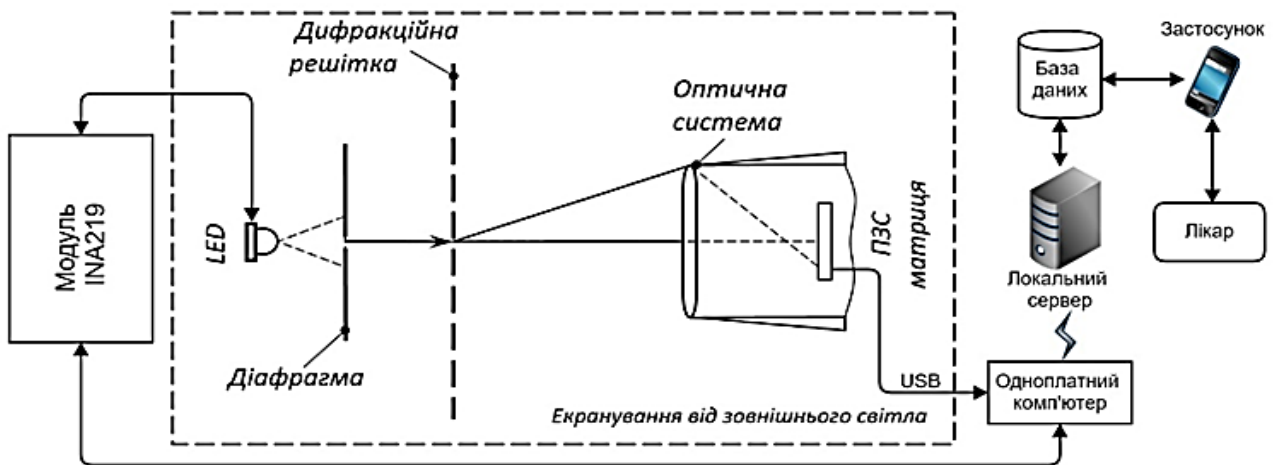


Рисунок 12 – Комп'ютеризована система отримання зображення для визначення довжини хвилі точкового напівпровідникового випромінювача

Використання відомого способу визначення довжини світлової хвилі, що проходить через дифракційну решітку з фіксацією засобами комп'ютерних компонентів та програмних продуктів обробки зображень (наприклад, Photoshop demo), дозволило отримати чисельні значення довжин хвиль випромінювачів для задач фототерапії.

Проведені дослідження матричних випромінювачів за допомогою засобів отримання зображень (рис. 13) і моделювання в системі Maple (рис. 14) експериментально встановили діапазон величин відстаней до біотканини для розташовування випромінювача або їх системи для забезпечення оптимальної густини розподілу енергії по поверхні та підтвердили працездатність і практичну необхідність розробленої методології повірки устаткування фототерапії.

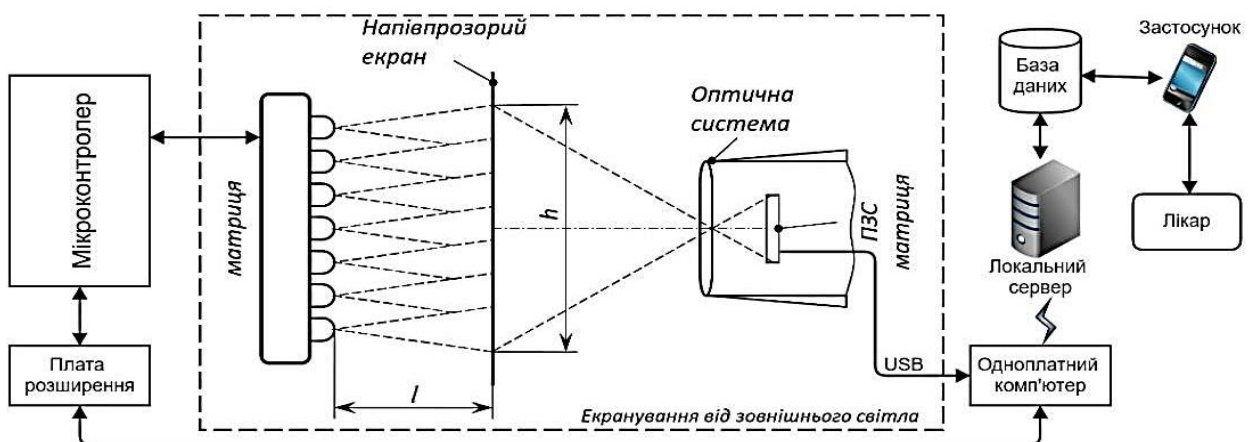


Рисунок 13 – Функціональна схема дослідження площі опромінення біотканини LED-матрицею в режимі реального часу

Запропоновані комп'ютеризовані стенди для повірки характеристик випромінювачів та результати досліджень стимулювали запропонувати систему передпроцедурної експрес-повірки приладів фототерапії, просторова модель якої показана на рисунку 15.

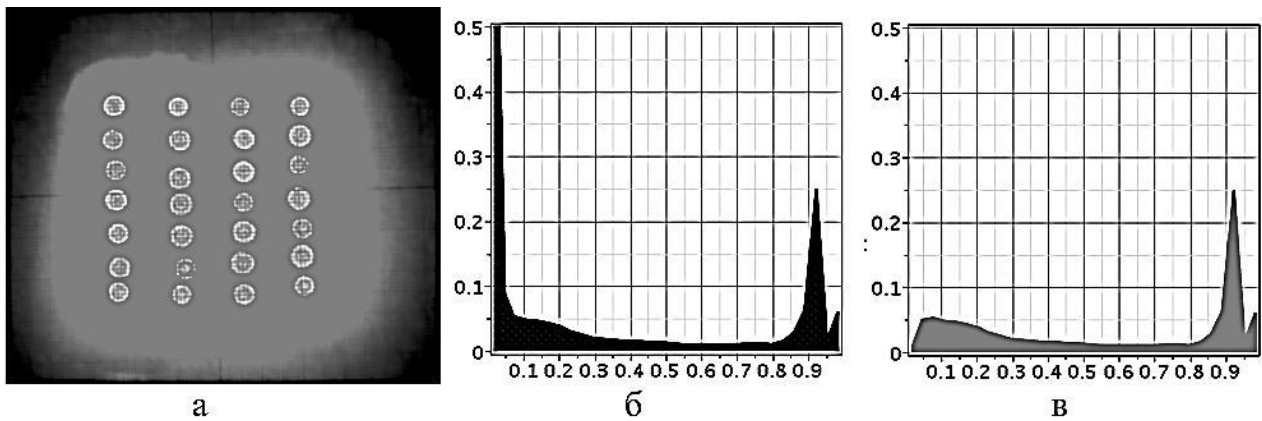


Рисунок 14 – Дослідження на відстані 10 мм,
де а – отримане зображення, б – гістограма інтенсивності зображення,
в – гістограма інтенсивності червоного шару

Таким чином, створення моделі елементів випромінювача, розробка архітектурної реалізації мікроконтролерної та програмної частин стенда перевірки просторового розподілу енергетичної потужності точкового, одиничного і системи випромінювачів дозволяє на основі проведених експериментальних досліджень формувати просторові діаграми випромінювачів і визначати їх придатність для виконання процедур.

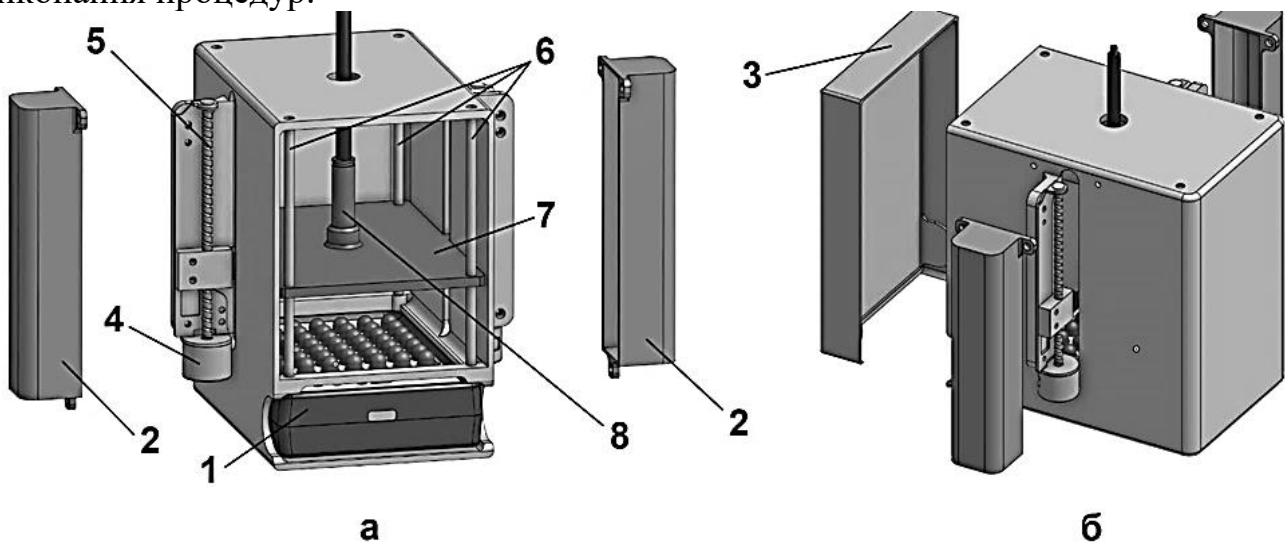


Рисунок 15 – Проектована комп'ютеризована автоматизована
система експрес-перевірки, де а – вид спереду; б – вид збоку

У четвертому розділі розроблено макети та конструкції комп'ютеризованих систем фототерапії, в яких реалізовані отримані теоретичні положення наведених результатів досліджень. Продемонстровано, що результати удосконалення запропонованих архітектур комп'ютерних систем за допомогою мобільних застосунків впроваджуються у фотодерматологію (рис. 16). Досліджено і визначено умови, що забезпечать перпендикулярність падаючих променів на поверхню шкіри обличчя людини.

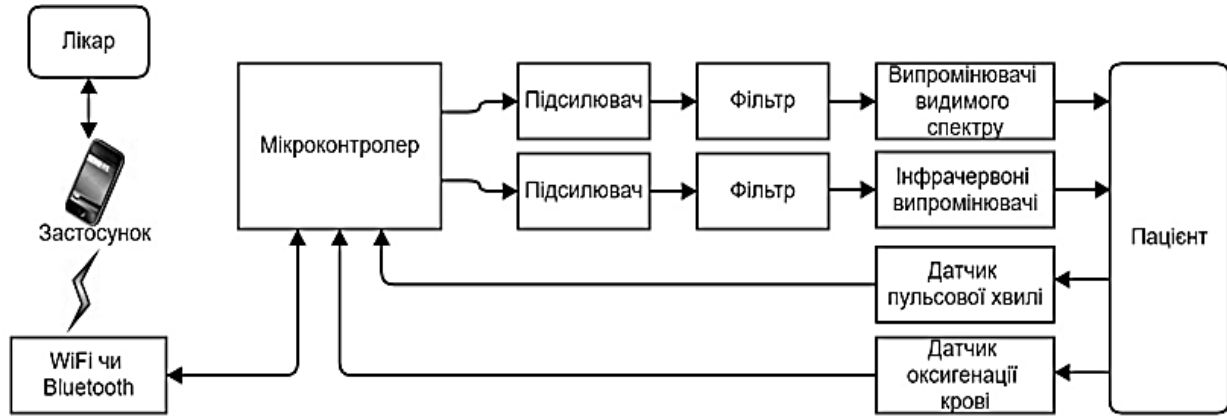


Рисунок 16 – Функціональна схема комп'ютеризованої системи для дерматології

Реалізація умов перпендикулярності падаючих променів дозволила розробити просторову модель маски, виконати розгортку як основу для гнучких плат з вмонтованими випромінювачами (рис. 17). Схема електрична принципова комп'ютеризованої системи дерматології показана на рис. 18.

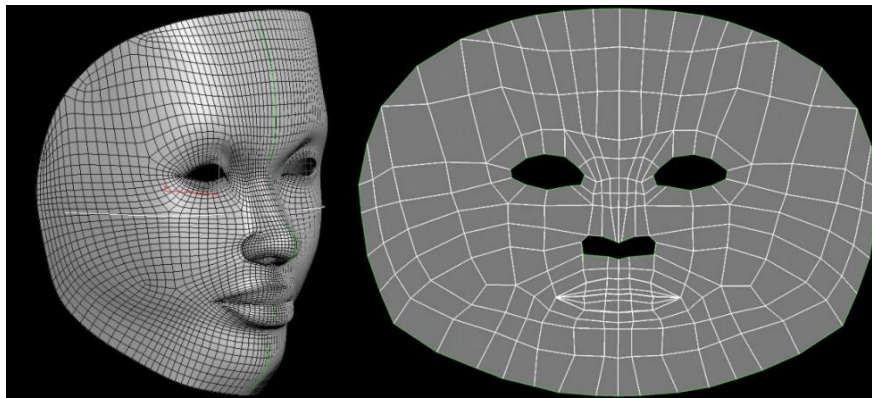


Рисунок 17 – Просторова модель маски для фототерапії обличчя та її розгортка

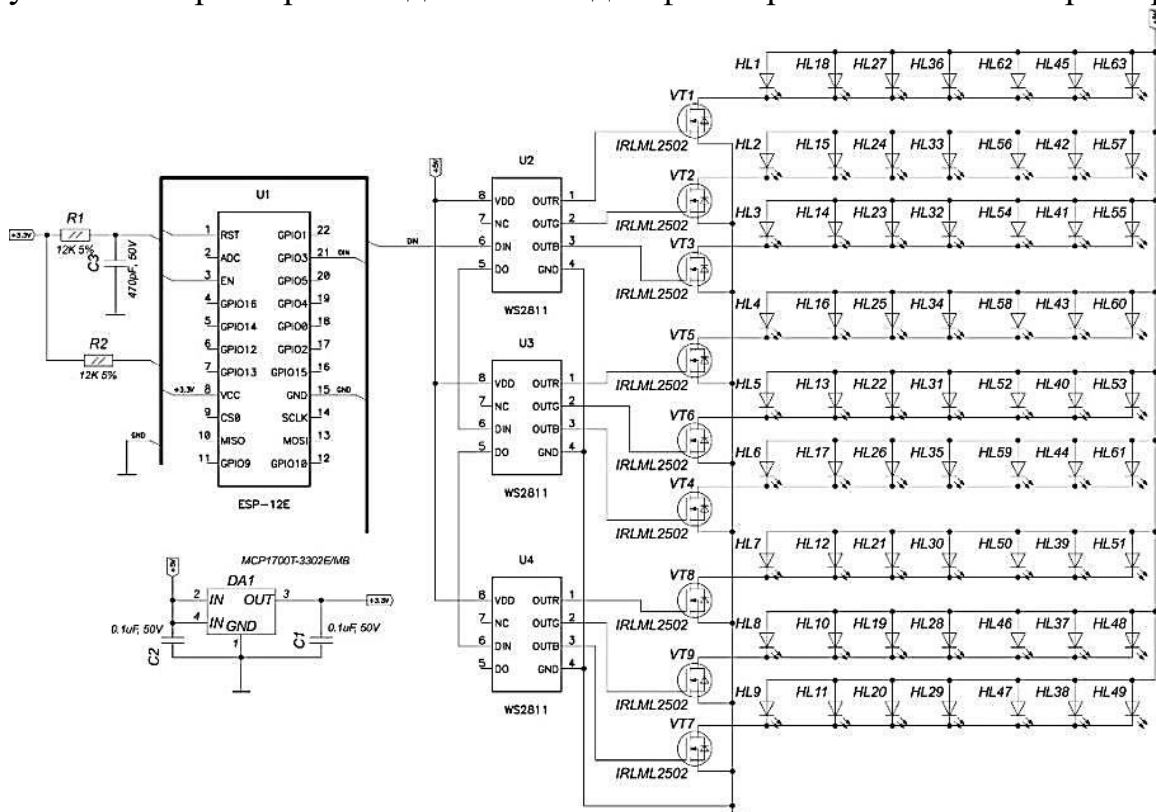


Рисунок 18 – Схема електрична принципова системи фототерапії в дерматології

На підставі вимог до реабілітації новонароджених для лікування неонатальної гіпербілірубінемії визначено зміни до архітектурних рішень функціональної схеми, запропонованої у розділі 2, комп'ютеризованої системи фототерапії (рис. 19).

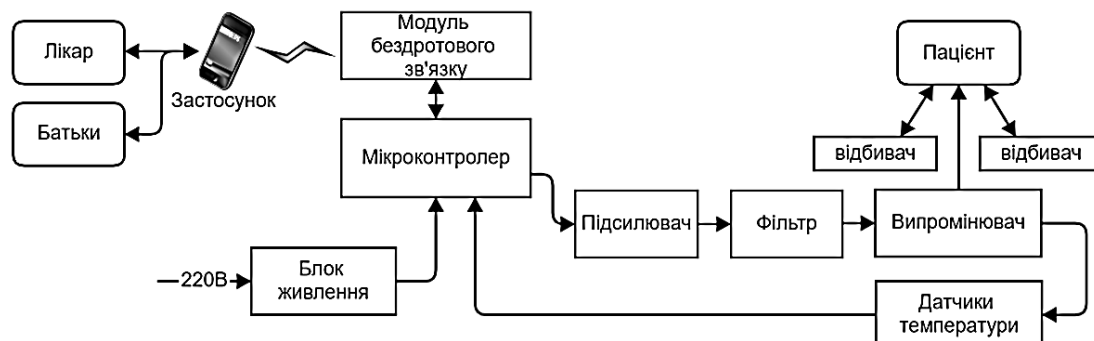


Рисунок 19 – Функціональна схема комп'ютеризованої системи для лікування неонатальної гіпербілірубінемії

Запропоновано на підставі результатів аналізу властивостей SMD-світлодіодів застосувати спеціалізовану підложку, з фіксацією випромінювачів та придатну до дезінфекції і знезараження, внаслідок чого змінюються спектральний склад випромінювання. Впровадження запропонованих змін та високоефективних випромінювачів дозволило реалізувати гнучкі інкапсульовані матричні випромінювачі і контактне опромінювання, убезпечити очі дитини від шкідливого яскравого світла та підвищити ефективність терапії мінімум на 15%. Інтеграція датчиків до інкапсульованого випромінювача (рис. 20) та наявність керування через мобільний застосунок дозволяє контролювати процес терапії віддалено та навіть у домашніх умовах.

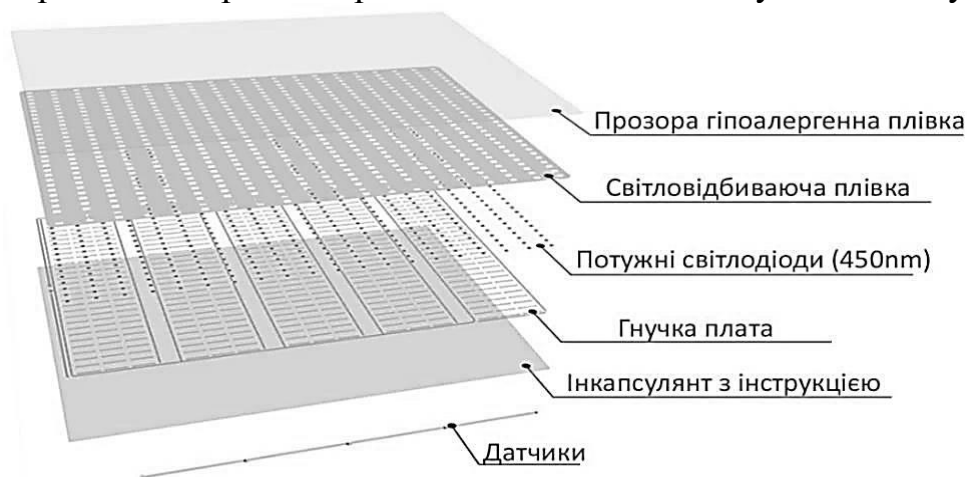


Рисунок 20 – Будова гнучкого інкапсульованого випромінювача на гнучких платах

Запропоновані технічні рішення цього дисертаційного дослідження були імплементовані в приладах фототерапії для відновлювальної медицини. На рис. 21 продемонстровані мікроконтролерні прилади для відновлення ділянок хребта

людини, портативні прилади для локального відновлення мікрокровоотоку та прилад для лікування ЛОР-захворювань людини.

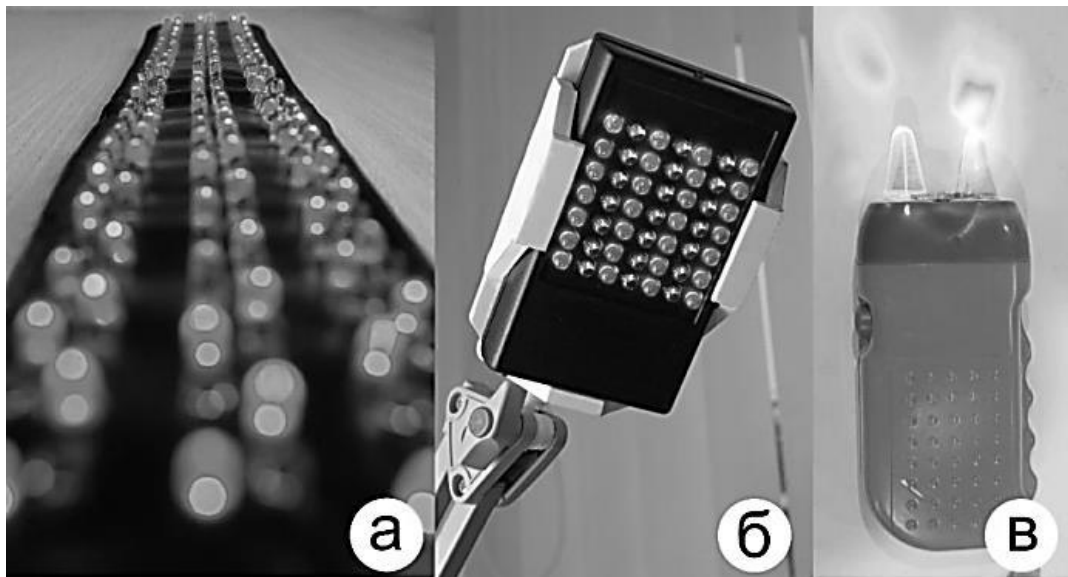


Рисунок 21 – Прилади фототерапії для відновлювальної медицини, де а – для лікування хребта, б – для локального відновлення мікрокровоотоку, в – для лікування ЛОР-захворювань

Розроблені конструктивні рішення було впроваджено під час розробки IoT «Ultimate mask» та «MedLED» в однойменних стартапах (<https://www.facebook.com/UltimateLEDMask>) (<https://www.facebook.com/ledsforkids>).

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, описи та зображення розроблених реалізацій.

У дисертації, на основі виконаних автором досліджень, вирішено науково-технічну задачу створення комп'ютеризованої системи, що забезпечує терапевтичні процедури засобами фототерапії з підвищеною ефективністю. У результаті виконаних автором досліджень було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі задачі можуть вважатися виконаними. Під час виконання роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження.

ВИСНОВКИ

1. Сучасний стан елементної бази дозволяє конфігурувати фототерапевтичну систему нерухомих дискретних випромінювачів на базі однокристальних мікроконтролерів та одноплатних комп'ютерів.

2. Як свідчать результати моделювання елементів комп'ютеризованих систем і мереж, що реалізують технології профілактики та лікування, ефект модульованого випромінювання досягається шляхом широтно-імпульсного моделювання, з подальшою фільтрацією сигналу, апаратними засобами SPI та UART-інтерфейсів або драйверами світлодіодів WS2811 та WS2812.

3. Розробка архітектури для відлагоджування процедури фототерапії на базі однокристальних мікроконтролерів з використанням далекомірів та інфрачервоної

матриці контролю температури дозволяє реалізовувати як метод резонансно-конформаційної терапії, так і контролювати параметри процедур.

4. Рекурентна аналітична залежність, що описує динаміку змін заряду та сили струму у колі зі змінними індуктивністю та ємністю, дозволила синтезувати двопараметричний закон зміни зовнішньої напруги, що забезпечує досягнення необхідної величини максимального значення сили струму за заданий проміжок часу з необхідною частотою слідування.

5. Застосування чисельних методів опису і моделювання перехідних процесів у колі імпульсного струму дозволяє модифікувати сучасні драйвери крокових двигунів ТМС2100.

6. Комп'ютеризована система повірки дозволяє проводити вимірювання параметрів випромінювання як одиничних, так і груп випромінювачів на базі оцінки інтегральних величин, а також індикатрис.

7. Застосування алгоритмів і програм у середовищі програмування Arduino дозволяє реалізовувати необхідний набір функції комп'ютеризованих систем калібрування та повірки фототерапевтичних приладів.

8. Запропонований пристрій передпроцедурної повірки дозволяє контролювати параметри устаткування відповідно до вимог протокольної медицини.

9. Результати експериментальних випробувань систем практичного впровадження в дерматології, в неонатології та відновлювальній медицині комп'ютеризованих систем фототерапії показали, що розроблені компоненти мають необхідні параметри для організації фототерапевтичних процедур за приписами лікаря.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Трунов О. М., Беліков О. Є., Приставко Л. О., Саченко П. П. Апаратні засоби для лікування ушкоджень хребта: проблеми та перспективи. *Наукові праці. Серія : Екологія : наук.-метод. журнал. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2008. Т. 74. Вип. 87. С. 57–59; внесок автора: технічна реалізація дослідного стенда та опис основних елементів; база (и): Google Scholar*

2. Трунов О. М., Іхсанов Б. Ш., Беліков О. Є., Маташніков С. В. Експериментальне дослідження апаратних та програмних засобів МПС фізичної реабілітації хребта й тазостегнових суглобів. *Наукові праці. Серія : Екологія : наук.-метод. журнал. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2008. Т. 74. Вип. 87. С. 63–65; внесок автора: отримання експериментальних даних з досліджуваного стенда засобами комп'ютерних технологій та їх первинна обробка; база (и): Google Scholar*

3. Трунов О. М., Беліков О. Є. Моделювання взаємодії ЕМВ з біологічними об'єктами під час світлолікування. *Наукові праці. Серія : Екологія : наук.-метод. журнал. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. Т. 107. Вип. 94. С. 23–27; внесок автора: пошук та аналіз існуючих теорій взаємодії електромагнітного випромінювання з біологічними об'єктами; база (и): Google Scholar*

4. Беліков О. Є., Чимбір О. М., Щесюк О. В. Система забезпечення мікроклімату в кювезі. *Наукові праці. Серія : Техногенна безпека : наук.-метод. журнал. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 233. Вип. 221. С. 134–138; внесок автора: аналіз технічних реалізацій, пропозиція основної ідеї, структура*

пропонованої комп'ютеризованої системи та складові елементи конструкції; **база (и):** *Google Scholar, Index Copernicus*

5. Беліков О. Є. Кисличенко Є. О. Штучне освітлення рослин захищеного ґрунту. *Наукові праці. Серія : Екологія : наук.-метод. журнал.* Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 232. Вип. 220. С. 20–23; **внесок автора:** пропозиція основної ідеї, склад комп'ютеризованої системи, технічні та мережеві засоби для реалізації запропонованої ідеї, аналіз засобів реалізації та вибір оптимальних, формулювання висновків; **база (и):** *Google Scholar, Index Copernicus*

6. Беліков О. Є., Плохенко М. В., Щесюк О. В. Система автоматизації апарату для фотодинамічної терапії при лікуванні захворювань шкіри *Наукові праці. Серія : Техногенна безпека. Радіобіологія : наук.-метод. журнал.* Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 261. Вип. 249. С. 74–78; **внесок автора:** пропозиції щодо удосконалення ідеї, структура запропонованої автоматизованої системи та технічні засоби для реалізації ідеї; **база (и):** *Google Scholar, Index Copernicus*

7. Кубов В. І., Беліков О. Є., Фабрикова В. С. Автономний лічильник кількості води. *Наукові праці. Серія : Комп'ютерні технології : наук.-метод. журнал.* Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2017. Т. 307. Вип. 295. С. 60–65; **внесок автора:** порівняння основних конкурентних ідей, формування структури з основних елементів комп'ютеризованої системи, аналіз та вибір засобів бездротової передачі даних; **база (и):** *Google Scholar, Ulrichsweb, Index Copernicus*

8. Беліков О. Є. Розробка комп'ютерної системи вимірювання просторового розподілу сили світла напівпровідникових випромінювачів для задач фототерапії. *Наукові праці. Серія : Комп'ютерні технології : наук.-метод. журнал.* Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. Т. 317. Вип. 305. С. 91–96; **база (и):** *Google Scholar, Ulrichsweb, Index Copernicus*

Доповіді, на міжнародних конференціях

9. Trunov A., Belikov A. Application of recurrent approximation to the synthesis of neural network for control of processes phototherapy. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) : proceedings of the 8th IEEE Int. Conf., Warsaw, 24–26 Sept. 2015.* Warsaw, 2015. Vol. 2; **внесок автора:** пропозиції що до елементів структури комп'ютеризованої системи, побудова структури системи; **база (и):** *SCOPUS*.

10. Trunov A., Kozub N., Belikov A. The Methods and Means for Enhancement of the Rehabilitation Efficiency of the Tone of the Spine Areas. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO 2018) : proceedings of the 38th IEEE Int. Conf., Kyiv, 24–26 Apr. 2018.* Kyiv, 2018. P. 387–393; **внесок автора:** технічна реалізація системи отримання теплових зображень, їх комп'ютерний аналіз; **база (и):** *SCOPUS*.

11. Trunov A., Belikov A. Development of architectural realizations of phototherapy computer's systems for prevention and treatment. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) : proceedings of the 10th IEEE Int. Conf., Metz, 18–21 Sept. 2019.* Metz, 2019. No. 094; **внесок автора:** пропозиції щодо структурних елементів фототерапевтичних комп'ютеризованих систем, технічні реалізації; **база (и):** *SCOPUS*.

12. Formation of method of synthesis of parameters of devices of prevention and post therapeutic restoration of spine zones / Belikov A. et. al. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) : proceedings of the 15th IEEE Int. Conf., Zbarazh – Lviv, 23–26 Sept.*

2020. Zbarazh – Lviv, 2020. P. 247–250; **внесок автора:** схемо-технічні пропозиції та реалізації; **база (и):** SCOPUS.

Патенти

13. Спосіб світлолікування: пат. 28313 Україна: МПК А61N 5/06. № 200706073; заявл. 01.06.2007; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20. 4 с.

14. Апарат світлолікування: пат. 55251 Україна: МПК А61N 5/06. № 201006373; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23. 5 с.

15. Апарат штучного кровообігу: пат. 63837 Україна: МПК А61М 1/00, А61М 5/00, А61М 39/00. № 201102684; заявл. 09.03.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. 6 с.

16. Апарат інфузійної терапії новонароджених із внутрішньовенним опроміненням крові: пат. 70364 Україна: МПК А61М 5/142, А61N 5/067. № 201113251; заявл. 10.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11. 7 с.

17. Ультразвуковий зволожувач для кувеза: пат. 85905 Україна: МПК А61М 11/00. № 201305140; заявл. 22.04.2013; опубл. 11.12.2013, Бюл. № 23. 9 с.

18. Спосіб лікування хвороб хребта та апарат для його реалізації: пат. 96333 Україна: МПК А61Н 23/02, А61Н 1/02, А61F 5/04, А61F 5/37, А61F 7/00, А61N 5/06, А61N 1/00, А61N 2/00. № 200913033; заявл. 14.12.2009; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. 7 с.

19. Освітлювач для теплиць: пат. 102166 Україна: МПК А01G 9/20. № 201501548; заявл. 23.02.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20. 6 с.

20. Автоматизована система для гістроскопічного дослідження з терапевтичними функціями: пат. 107081 Україна: МПК А61В 1/00, А61В 1/303, А61N 5/06. № 201509957; заявл. 12.10.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. 7 с.

21. Пристрій для профілактики і лікування інфекційних захворювань та білірубінемії у дітей до 2-х років: пат. 108116 Україна: МПК А61N 5/06. № 201509405; заявл. 30.09.2015; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. 5 с.

22. Портативний сонячний зарядний пристрій: пат. 123067 Україна: МПК Н02J 7/35. № 201707949; заявл. 31.07.2017; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3. 6 с.

23. Автономний тепловізор: пат. 124369 Україна: МПК G02B 23/00. № 201709362; заявл. 25.09.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7. 8 с.

24. Автономний лічильник кількості води: пат. 124371 Україна: МПК G01F 1/06. № 201709368; заявл. 25.09.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7. 11 с.

25. Дослідницький стенд для демонстрації та вимірювання прискорення вільного падіння: пат. 137616 Україна: МПК G09B 23/08. № 201904586; заявл. 26.04.19; опубл. 25.10.19, Бюл. № 20. 8 с.

26. Установка для лазерної різки і гравірування із системою автоматичного фокусування лазерного променя на поверхні оброблюваного матеріалу: пат. 138634 Україна: МПК B23K 26/046. № 201904584; заявл. 26.04.2019; опубл. 10.12.2019, Бюл. № 23. 8 с.

27. Сканер об'ємних об'єктів: пат. 139992 Україна: МПК G03C9/08, G03B35/00. № 201904585; заявл. 26.04.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3. 7 с.

28. Пристрій для об'ємного друку з магнітними шарнірними з'єднаннями: пат. 142629 Україна: МПК B41F17/00, F16C11/06. № 201910167; заявл. 03.10.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 7 с.

АНОТАЦІЯ

Бєліков О. Є. Підвищення ефективності елементів комп'ютерних систем і мереж для профілактики і лікування засобами фототерапії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності фототерапії за рахунок розробки та впровадження архітектури, компонентів та засобів комп'ютерних систем і мереж.

У роботі проаналізовано існуюче фототерапевтичне обладнання та методики фототерапевтичного впливу на організм людини, існуючі засоби побудови комп'ютеризованих систем і мереж та інші технічні елементи побудови фототерапевтичного обладнання. Продемонстрована необхідність формування зворотних зв'язків за параметрами пацієнта та використання елементів комп'ютерних систем і мереж для формування відповідного терапевтичного впливу.

У роботі запропоновано архітектурні реалізації комп'ютеризованих систем профілактики та лікування на базі фототерапії та магнітотерапії, за рахунок яких впроваджено методику резонансно-конформаційного впливу.

У роботі були поставлені та аналітично вирішені задачі про струм у котушках матриці, задача про удосконалення драйвера крокового двигуна та задача про оптимальне розташування випромінювачів у матриці.

У рамках дисертаційного дослідження були розглянуті основні методи повірки та калібрування напівпровідникових випромінювачів, визначені недоліки цих методів та запропоновані шляхи удосконалення за рахунок використання новітніх комп'ютерних компонентів та засобів. У результаті проведених досліджень було запропоновано удосконалення засобів передпроцедурної експрес-повірки приладів фототерапії.

За результатом роботи над дисертаційним дослідженням були продемонстровані впроваджені архітектури комп'ютерних систем. А саме: удосконалення та впровадження комп'ютеризованої системи фотодерматології, впровадження систем фотореабілітації новонароджених в перші дні їх життя та удосконалення приладів швидкого відновлення мікрокровотоку портативного та стаціонарного призначень.

Ключові слова: фототерапія, комп'ютеризована система, зворотний зв'язок з пацієнтом, світлодіод, резонансно-конформаційний вплив.

ABSTRACT

Bielikov O. Improving the effectiveness of computer systems and networks for prevention and treatment with phototherapy. – As a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – Petro Mohyla Black Sea National University.

The dissertation research is devoted to the decision of an actual scientific and practical problem of increase of efficiency of phototherapy at the expense of development and introduction of architecture, components and means of computer systems and networks.

The existing phototherapeutic equipment and methods of phototherapeutic influence on the human body, existing means of construction of computerized systems and networks and other technical elements of construction of phototherapeutic equipment are analyzed in the work. The necessity of forming feedback on the parameters of the patient's condition

and the use of elements of computer systems and networks to form the appropriate therapeutic effect is demonstrated.

The architectural realizations of computerized systems of prevention and treatment on the basis of phototherapy and magnetic therapy are offered in the work, due to which the technique of resonant-conformational influence is introduced.

The problems of current in the matrix coils, the problem of improving the driver of the stepper motor and the problem of the optimal location of the emitters in the matrix were set and analytically solved in the work.

The dissertation research considered the main methods of verification and calibration of semiconductor emitters, identified the shortcomings of these methods and suggested ways to improve through the use of the latest computer components and tools. As a result of the conducted researches improvement of means before the procedure express verification of phototherapy devices was offered.

As a result of the dissertation research, the implemented architectures of computer systems were demonstrated. Namely, improvement and introduction of the computerized system of photo dermatology, photo rehabilitation of newborns in the first days of their life and improvement of devices of fast restoration of a microblood flow of portable and stationary appointments.

Keywords: phototherapy, computerized system, patient feedback, LED, resonance-conformational effect.

Підп. до друку 30.03.2021.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. 6229.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: (0512)50-03-32, (0512)56-55-81.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6124 від 05.04.2018.

