

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

КУЗЬ ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ

УДК 621.384.4:615.8

**МЕТОД ТА СИСТЕМА ДИНАМІЧНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ФІЗІОТЕРАПІЇ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця - 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Андрійчук Володимир Андрійович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, професор кафедри електричної
інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сторчун Євген Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри електронних засобів інформаційно-
комп'ютерних технологій

кандидат технічних наук, доцент
Мосійчук Віталій Сергійович
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
доцент кафедри радіоприймання та оброблення
сигналів

Захист відбудеться «24» жовтня 2019 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «23» вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. В. Тимчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Серед пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки («Про внесення змін до закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» від 9 вересня 2010 року №2519-VI» на період до 2020 року) важливе місце займає наука про лікування найпоширеніших захворювань (зокрема фізіотерапія шкіри людини). За даними Міжнародної федерації асоціацій псоріазу близько 3% населення Землі мають проблеми з хворобами шкіри. В Україні діє Державна цільова програма фізіотерапії хворих на псоріаз.

У фізіотерапії набув широкого застосування метод, в якому використовується ультрафіолетове опромінення (УФО) ураженої ділянки шкіри. Джерелом ультрафіолетового випромінювання впродовж довгого періоду є ртутні газорозрядні лампи низького тиску, з потоком енергії до 10-200 мВт/см² та довжиною хвиль 280-400 нм. Таке випромінювання забезпечує позитивний ефект при лікуванні псоріазу (лишаїв, лімфоми Беркитта тощо). Відомо, що використання газорозрядних ртутних ламп має низку недоліків: а) небезпечне для пацієнта та персоналу (через широкий спектр та простір випромінювання); б) складне в експлуатації (через малий термін служби, великі габарити, незручність проведення процедури опромінення тощо); в) токсичне при утилізації ламп. Крім цього, їх застосування ускладнює необхідність забезпечення при фізіотерапії таких вимог: г) стабільності та направленості світлового потоку; д) контролю інтенсивності та експозиції; е) синхронізації режимів з функціями організму. Для забезпечення якості фізіотерапії виникає потреба в стабільності форми опромінювання поверхні, автоматичності керування та визначення поглинутої енергії. Для зменшення виявлених недоліків експлуатації ртутних джерел УФО, при дослідженнях параметрів біотканин, та для фізіотерапії дістали використання світлодіодні джерела УФО.

Значний вклад в дослідження та використання світлодіодних джерел випромінювання внесли відомі вчені: F. Vasefi, N. Kollias, G. Stamatias, (дермо-спектроскопія), Allan Halpern (стандартизація напрямів спостереження ділянок шкіри), С.В. Павлов (удосконалення теорії розповсюдження оптичного випромінювання в біооб'єктах (БО) при побудові діагностичних та лікувальних систем), В.П. Кожем'яко (підвищення ефективності засобів оптоелектроніки та інтегральної оптики для їх використання в медицині), С.М. Злепко (розробка медичних інформаційних систем), А.М.Коробов (створення фізіотерапевтичних пристроїв та систем), Є.І. Сокол, О.І. Білий, А.Е. Пушкарева, В.Г. Петрук та інші. Результатом досліджень С.В. Павлова, В.П. Кожем'яко є нові методи створення оптичних приладів для діагностування й терапії людини. Проте, системи автоматичного керування параметрами та характеристиками УФО під час фізіотерапії з дотриманням вимог (а-е) не набули розвитку через недосконалість пристроїв з ртутними джерелами випромінювання.

Автоматизація системи УФО для фізіотерапії потребує моделювання для побудови системи керування параметрами УФО із зворотнім зв'язком за

результатом опромінення, що є важливим науковим завданням і матиме істотне значення для сучасної медичної галузі.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана із розв'язанням задач у галузі науки та техніки, що викладені у Законі України за № 2519-VI від 9.09.2010 р. «Про внесення змін до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки»» на період до 2020 року та Міжгалузевої комплексної програми "Здоров'я нації" (постанова Кабінету Міністрів України № 14 від 01.01.2002 р.), Указу №70/2010 від 27.01.2010 "Про додаткові заходи щодо реформування системи охорони здоров'я населення". Робота виконувалася відповідно до плану наукових досліджень Тернопільського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України на кафедрах біотехнічних систем, світлотехніки та електротехніки, ПП "Клініка мікрохірургії ока Медікус", в рамках держбюджетних тем: «Дослідження когнітивних властивостей однорідних обчислювальних середовищ та їх синтезу у високопродуктивні інформаційні технології» (номер держреєстрації 0117U002242); «Удосконалення інформаційного комплексу та модернізація пункту прийому інформації» (номер держреєстрації 0118u004721); «Удосконалення комплексу спостереження за об'єктами та модернізація програмно технічних засобів (номер держреєстрації 0118u004720); «Удосконалення методу виявлення об'єкту» (номер держреєстрації 0118u001483);

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розширення функціональних можливостей фізіотерапії шляхом розробки методу та системи динамічного ультрафіолетового опромінювання. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Проаналізувати відомі методи та засоби ультрафіолетового опромінювання та обґрунтувати необхідність автоматизованого керування параметрами та характеристиками опромінення при застосуванні напівпровідникових випромінювачів для фізіотерапії;
- Обґрунтувати вибір математичної моделі взаємодії УФО з біотканиною для побудови системи динамічного опромінення ультрафіолетом з контролем параметрів та характеристик впливу на біооб'єкт;
- Розробити імітаційну модель впливу системи динамічного УФО на шкіру людини;
- Розробити структуру та алгоритми функціонування системи опромінення з автоматичною зміною: параметрів інтенсивності потоку, модуляції випромінювання, врахуванням форми ураженої поверхні, експозиції;
- Побудувати фізичну модель системи динамічного опромінення для верифікації результатів дослідження;
- Провести верифікацію отриманих результатів функціонування системи опромінення біологічних об'єктів;

Об'єктом дослідження є процес динамічного ультрафіолетового опромінення шкіри при псоріазі.

Предметом дослідження є метод, модель і система динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії.

Методи досліджень. При виконанні дисертаційної роботи використані: для розробки методу автоматизованого динамічного опромінення та побудови функціональної схеми - припущення та результати теорій переносу УФО, оптики, світлорозсіювання та взаємодії електромагнітного випромінювання з біооб'єктом; комп'ютерне моделювання - для визначення параметрів математичної моделі; методи біофізики та математичного аналізу - для дослідження густини розподілу потоку, потужності джерела випромінювання; теорія біотехнічних систем, інформаційно-структурне моделювання - для побудови моделі функціонування та розроблення структурної та функціональної схем оптико-електронних пристроїв та системи контролю дози опромінення.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Отримало подальшого розвитку моделювання динамічного ультрафіолетового опромінення шляхом врахування локальності впливу, селективності довжини хвилі на відміну від статичного інтегрального опромінення, що дало змогу забезпечити якість УФО хворої ділянки шкіри.

- Вперше запропоновано метод контролю енергії динамічного УФО шкіри шляхом введення корекції випромінювання, яка на відміну від існуючих відрізняється просторово-частотною модуляцією впливу, що дало змогу скоротити час випромінювання під час фізіотерапевтичної процедури.

- Вперше побудовано структурно-функціональну організацію системи динамічного УФО шляхом встановлення зміни характеристик та параметрів впливу, що дало змогу автоматизувати процес опромінення хворої ділянки шкіри з врахуванням впливу попереднього сеансу.

- Удосконалено імітаційну модель процесу розсіювання енергії у випадково-неоднорідному біологічному середовищі при дії УФО, що дозволило, на відміну від існуючих моделей, отримати пошаровий розподіл енергії, яка поглинається даним середовищем і визначати на його основі коефіцієнти послаблення потужності випромінювання при його проходженні через роговий шар і нижній шар епідермісу

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблено проект медико-технічних вимог (МТВ) на «Систему динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії», який створює необхідні та достатні передумови для потенційного серійного виробництва зазначеної системи.

- Розроблено режими керування напівпровідниковою ультрафіолетовою матрицею для модуляції потоків випромінювання з формуванням просторового розподілу опромінення для оптимізації параметрів процедури фізіотерапії;

- Створено структурну схему системи та алгоритми динамічного УФО зі зворотнім зв'язком, контролем та корекцією параметрів процесу опромінення, що дає змогу суттєво розширити її клінічне застосування.

Отримані в дисертаційній роботі результати наукових досліджень впроваджено в ПП «Клініка мікрохірургії Медікус», м. Тернопіль (акт від 30 березня 2018 року) з метою вивчення можливості застосування методу та системи динамічного випромінювання у розробках нових методик лікування.

Результати реалізовано у формі алгоритмів та програм для розрахунку оптимальних режимів опромінення у фізіотерапії;

Результати дослідження впроваджено також у навчальному процесі кафедри «Біотехнічних систем» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (акт від 5 червня 2018 року) з метою побудови систем та пристроїв динамічного ультрафіолетового випромінювання з автоматизованими та інтерактивними режимами для фізіотерапії, при створенні алгоритмів функціонування із контролем режимів в процесі динамічного впливу на біологічні об'єкти і прогнозом впливу змін параметрів різних типів шкіри при лікуванні псоріазу;

Результати досліджень впроваджено у районній комунальній міській лікарні м. Бучач (акт від 13 березня 2018 року) з метою розширення наукових досліджень побудови системи та створення методу динамічного ультрафіолетового випромінювання у фізіотерапії, що дасть змогу покращити оцінювання якості лікувальних засобів та прогнозу патологічних змін шкіри при таких захворюваннях, як псоріаз, лишай, вітіліго, акне;

Отримані результати досліджень впроваджено у Науково-виробничому експериментальному спільному малому підприємстві «МЕДАП» м. Тернопіль (акт від 17 травня 2018 року) з метою розширення наукових досліджень для побудови комп'ютерної системи з автоматизованими та інтерактивними режимами регулювання динамічного опромінювання ультрафіолетом з оцінюванням якості процедур при лікуванні псоріазу.

Особистий внесок здобувача. Всі нові наукові та практичні результати отримані автором особисто. В працях, опублікованих в співавторстві, здобувачеві належать: [1] - метод та засоби програмного керування динамічними стимуляційними режимами із контролем параметрів процесу опромінення; [2] - спосіб аналізу розподілу енергії в багатошаровій системі біологічного об'єкту шляхом застосування методу Монте-Карло та імітаційного моделювання випромінювання; [3] - система для керування динамікою програмованих амплітудних, просторових і спектральних характеристик випромінювання, для забезпечення роботи в імпульсних режимах; [4] - методика оцінювання інформативності індикації для медперсоналу при зміні експозиції та параметрів опромінення; [5] - схеми для побудови автоматизованих систем з підвищенням рівня ефективності опромінення; [6] - алгоритм та пристрій перетворення параметрів світлового потоку; [7] - система для забезпечення контролю дози поглинутої енергії опромінення в діапазоні частот модуляції; [8] - методика розрахунку для створення рівномірного розподілу опромінення на поверхні біологічного середовища та рекомендації, щодо отримання оптимального енергетичного поля для пристроїв фізіотерапії та системи контролю; [10] - моделювання динамічного опромінення з використанням світлодіодних випромінювачів у вигляді матриці; [11], [12] - формула патенту на корисну модель; [13], [15], - схемотехнічні рішення та алгоритм роботи пристрою фізіотерапії; [14], [18] - контроль поглинутої енергії у біологічному середовищі; [21], [22] - математична модель процесу динамічного імпульсного опромінювання поверхні біоб'єкту; [23] -

забезпечення екологічного ефекту та можливості регулювання параметрами процесу опромінення у фізіотерапії; [24], [25] - система для забезпечення контролю дози поглинутої енергії; [26] – контроль опромінення біологічного об'єкту в імпульсному режимі; [27], [28] – автоматизація процесу з частотною модуляцією та скануванням ділянки опромінювання.

Апробація матеріалів дисертації. Результати досліджень доповідались на 16-ох наукових конференціях: 5-ій Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів 17-18 листопада 2016 в ТНТУ (м. Тернопіль, 2016 р.); 3-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук» (м. Київ, 2016 р.); 8-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Одеса, 2014 р.); Всеукраїнській конференції «Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії» (м. Київ, 2014 р.); 5-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Современные тенденции развития светотехники» (Харків, 15-16.05.2013 р.); 5-ій міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика, історія проблеми, перспективи» (Тернопіль – Яремче, 23-27 лютого 2015 р.), XIII-ой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» в рамках IV светотехнического форума с международным участием (15-16 березня 2017, м. Саранськ); Міжнародній науково-практичній конференції ІТКМ-2017 (15-20 травня 2017 року (Івано-Франківськ - Яремче); II Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення, (м. Житомир 17-19 жовтня 2017 р.); Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування», (м. Вінниця, 28-30 вересня 2017 р.); Матеріали конференції VI Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю, (м. Вінниця 21-22 вересня 2017 р.); International research and practice conference «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences» Radom, Republic of Poland, (December 27-28, 2017); VI Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», (30 січня 2 лютого, м. Тернопіль - м. Яремче – 2018р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Computer science, information technologies and management systems», (28-30 листопада 2018 року, м. Івано-Франківськ).

В цілому результати дисертації доповідалися на спільному семінарі кафедр світлотехніки та електротехніки і біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, та на семінарах кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету.

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 28-и наукових працях; у тому числі: в 10-и статтях (з яких 7 - у фахових наукових виданнях ([1], [3] - [8]), 6 робіт індексуються у міжнародних наукометричних базах даних), 2-ох

патентах на корисну модель ([11], [12]) та 16-и матеріалах і тезах конференцій та семінарів ([13] - [28]).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 168-и найменувань, 5 - додатків. Загальний обсяг роботи 197 сторінок, у тому числі 123 сторінки основного тексту, 41 рисунку і 6 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір напряму наукового дослідження, актуальність роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження. Наведено наукову новизну роботи й практичну цінність отриманих результатів, відомості про апробацію і публікацію результатів, зв'язок роботи з науковими програмами і планами досліджень.

У **першому** розділі наведено результати аналізу стану досліджень та тенденції розвитку фізіотерапевтичних пристроїв та систем, особливості біотканин та їх взаємодія при дії енергетичних параметрів УФО. Проаналізовано елементну базу випромінювачів для фізіотерапії, де найбільших змін потребують, передусім, джерела ультрафіолетового випромінювання, що стало важливим й актуальним завданням для створення автоматизованої системи динамічного УФО.

Встановлено, що для побудови автоматизованих систем і пристроїв опромінення у фізіотерапії спектр УФ-джерела повинен відповідати заданим медичними вимогам: інтенсивності опромінення (зокрема потужності випромінювання джерела), рівномірності опромінення, відсутності токсичних випаровувань. Для підвищення ефективності лікувального процесу у фізіотерапії використовуються такі фактори: тривалості процесу опромінення, динамічності режиму модуляції (змінюючи групи джерел випромінювання в матриці, його частоти та інтенсивності, інше).

За результатами аналізу систем опромінення шкіри встановлено недосконалість застарілих пристроїв («УУД-1», «УУД-1А», «ОУГ-1», «ОУК-1», «Waldmann UV-7001», «Waldmann PUVA-200»), неспроможність вирішення прикладних задач - підвищення ефективності та автоматизації керування опроміненням в процесі фізіотерапевтичної процедури. Також виникає потреба додаткових досліджень взаємодії УФ-випромінювання з шарами біотканин, для оцінювання локального впливу, контролю впродовж процесу опромінення. Аналізом аналітичного огляду літературних та інших інформаційних джерел виявлено, що визначення параметрів впливу, які забезпечують отримання максимального терапевтичного результату при псоріазі й підтверджується актуальність даної роботи. Це дає підстави для створення нових автоматизованих систем, пристроїв фізіотерапії.

У **другому** розділі обґрунтовано вибір математичної моделі для розробки методу та побудови системи динамічного УФО з контролем і керуванням параметрами опромінювання.

Розраховано інтенсивність випромінювання напівпровідникової матриці

A (рис. 1) із симетричним розподілом I , який задано залежністю $I=f(\beta)$, де β – кут між оптичною віссю A матриці випромінювання і вибраним напрямком $C(x,y,z)$. На заданій відстані від матриці, яка значно перевищує її розміри, розташовано опромінювальну поверхню S , довільно орієнтовану в просторі. Виділивши елемент поверхні dS , який охоплює довільну точку поля випромінювання C , опромінення елементарної поверхні dS згідно закону квадратів відстаней буде мати вигляд:

$$E_c = \frac{I(\beta)}{(AC)^2} \cdot \cos \chi \quad (1)$$

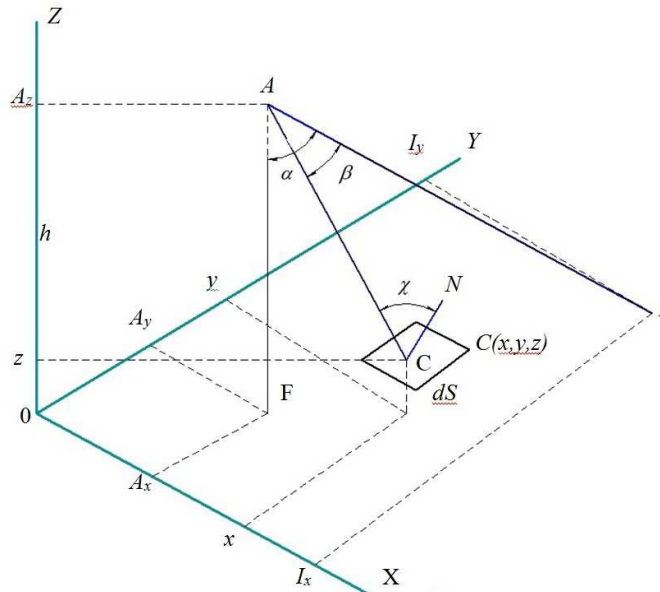


Рисунок 1 - Геометрична схема для розрахунку опромінення поверхні dS у вибраній точці світлового поля $C(x,y,z)$

де, AI - оптична вісь опромінювача; α - кут між оптичною віссю джерела світла A та вертикаллю до F ; β - кут між віссю джерела світла і напрямком до точки поля C ; χ - кут між напрямком інтенсивності випромінювання в точці C і нормаллю до dS .

Для розрахунку взаємодії випромінювання з неоднорідними біотканинами використані значення коефіцієнтів поглинання й відбивання біологічним середовищем шкіри. В цьому випадку шкіру людини зручно представити у вигляді багатошарового середовища, яке містить неоднорідні включення: кровоносні судини (в яких відбувається рух крові), волосяні фолікули, потові залози та ін. Оскільки це ускладнює врахування процесів, які відбуваються при дії УФ випромінювання на шкіру, для опису цих процесів використано математичні і фізичні моделі, на базі яких сформульовано конкретні завдання. Для вирішення яких було необхідним побудувати геометрію випромінювання, визначити оптичні і фізичні параметри всіх його компонентів та розрахувати розподіл інтенсивності випромінювання в біологічному середовищі.

У дисертаційній роботі для розрахунку використано технологічну модель прямої імітації фотонного переносу в середовищі та метод Монте-Карло, який

дозволяє передбачити втрати енергії при поширенні випромінювання в ньому. Він дав змогу використати вільний перехід фотонів у шарі шкіри, що містить розсіяні частки. Шлях переходу одиночного фотону в такому середовищі визначено методом комп'ютерної імітації (фотони вважалися за балістичні частки). Кожен фотон є еластично розсіяним або поглиненим при зіткненні з частками тканини шкіри. Результати кожного виду зіткнення представлено випадковими числами з рівномірним розподілом їх імовірності. Імовірність розсіювання за даним напрямом визначається відповідно до розсіювання одиночних частинок.

Використано припущення, що фотон в розсіювальному шарі, проходить вільний шлях довжиною l . Значення l – випадкова величина, яка залежить від концентрації частинок і величини поперечного перерізу шару.

$$p(l) = \rho\sigma_{ext} \quad (2)$$

де ρ і σ_{ext} - концентрація частинок і величина перерізу розсіяних частинок відповідно. Довжина шляху l визначається величиною випадкового числа γ , яке рівномірно розподілене в інтервалі $[0,1]$

$$\int_0^1 p(l)dl = \gamma \quad (3)$$

Розрахункове значення l визначається виразом:

$$l = \frac{1}{\rho\sigma_{ext}} \ln \gamma \quad (4)$$

Пройшовши дистанцію l , фотон залишається всередині розсіювального об'єму, тоді можлива фотонно-часткова взаємодія (розсіювання чи поглинання) вибрана випадковим чином.

Імовірність розсіювання фотонів у вказаному напрямку представлена у системі координат функцією двох змінних $p(\theta, \varphi)$, вектором Стокса S та матрицею Мюллера $M(\theta, \varphi)$. Балістика фотона в біологічному середовищі являє собою послідовне перетворення відносної системи координат. Вектор Стокса, взаємодіючи з фотоном, змінюється при кожному розсіюванні. Новий вектор Стокса - попередньо перетворений вектор Стокса в нову площину розсіювання матрицею Мюллера. Тоді, використовуючи генератор випадкових чисел, наступне значення l вільної довжини шляху фотона запам'ятовується і обчислюється нове значення координат зіткнення фотону в просторі. Ця процедура повторюється доти, поки фотон проходить через розсіювальну систему.

Згідно моделі Монте-Карло, моделювання фотонної траєкторії являється адекватним для імітації множини розсіювальних ефектів в системі випадково розміщених часток. Більше того, ця схема дає можливість для наближеного підходу до описання ефектів інтерференції, спричинених просторовими частками.

На основі аналізу процесу розсіювання в шарах шкіри й енергетичного впливу на біологічну поверхню з урахуванням параметрів оптичної системи матриці встановлено необхідність розроблення алгоритмів керування роботою

системи динамічного ультрафіолетового випромінювання та його автоматизації.

У **третьому** розділі досліджено особливості напівпровідникових джерел випромінювання та їх параметрів, що здатні забезпечити автоматизацію динамічного керування режимами роботи. Для цього змодельовано процес поширення випромінювання в структурах шкіри. Враховуючи, що біологічне середовище є непрозорим, його коефіцієнт послаблення дорівнює $\mu_a = \mu_c + \mu_r$.

Функція $p(\vec{r}, \vec{r}')$ застосована для опису процесів дисгрегації в біологічному шарі середовища і є функцією густини розсіювання в напрямку падаючої хвилі \vec{r}' . Фотони, які рухаються в заданому напрямку поширення світла \vec{r} , характеризують елементарне розсіювання. Змодельоване розсіювання симетричне до напрямку падаючої хвилі, а значить фазова функція залежатиме тільки від кута розсіювання θ між напрямками \vec{r} та \vec{r}' , тобто $p(\vec{r}, \vec{r}') = p(\theta)$. Процес розсіювання світла в неоднорідному середовищі є випадковий процес, описаний наступним виразом:

$$\int_0^\pi p(\theta) 2\pi \sin \theta d\theta = 1 \quad (5)$$

Для апроксимації функції розсіювання для кожного випадку використано фазову функцію Хені-Грінштейна:

$$p(\theta) = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^{3/2}} \quad (6)$$

де p - густина шару тканини; θ - коефіцієнт розсіювання; g - коефіцієнт анізотропії. При моделюванні опромінення в шарах біологічного середовища використано програмне забезпечення Trace Pro, яке базується на методі Монте Карло.

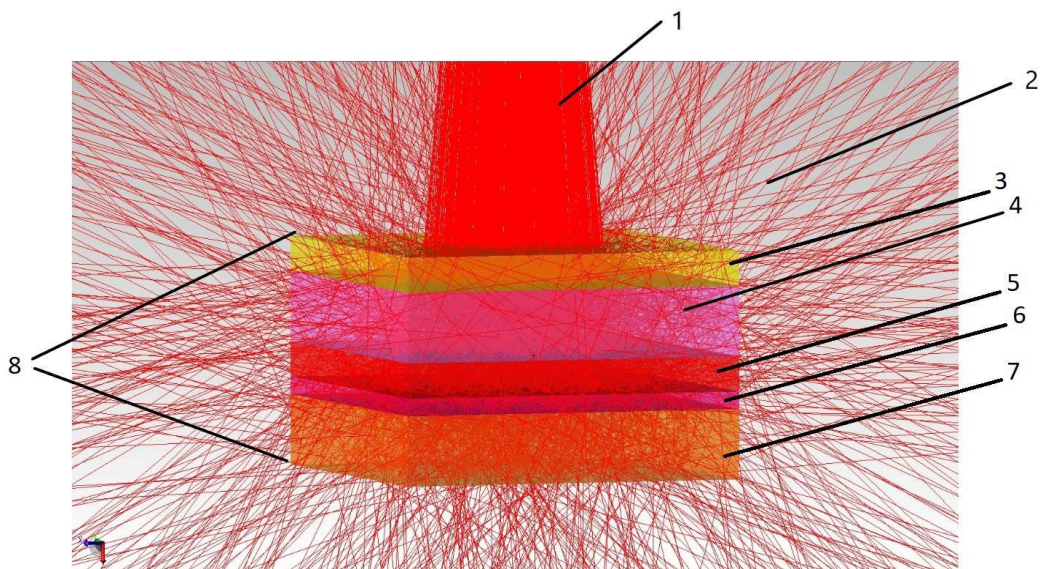


Рисунок 2 - Модель опроміненого багатошарового біологічного середовища де, 1 - пучок фотонів, 2 - відбитий фотон, 3 - верхній роговий шар шкіри, 4 - нижній роговий шар шкіри, 5 - верхній шар епідерми, 6 - нижній шар епідерми, 7 - дерма, 8 - процес розсіювання/поглинання фотонів

Результатами моделювання опромінення в середовищі встановлено, що розповсюдження випромінювання всередині біооб'єкта відбувається внаслідок дифузної складової поглинаючого середовища. На (рис. 2) наведено результати моделювання опромінення багатошарового біологічного середовища.

Глибина проникнення випромінювання в неоднорідному середовищі та значення параметра неоднорідності (анізотропії) впливає на розсіювання енергії в кожному шарі, тому виникає необхідність в автоматизації та оперативному керуванні процесом опромінювання.

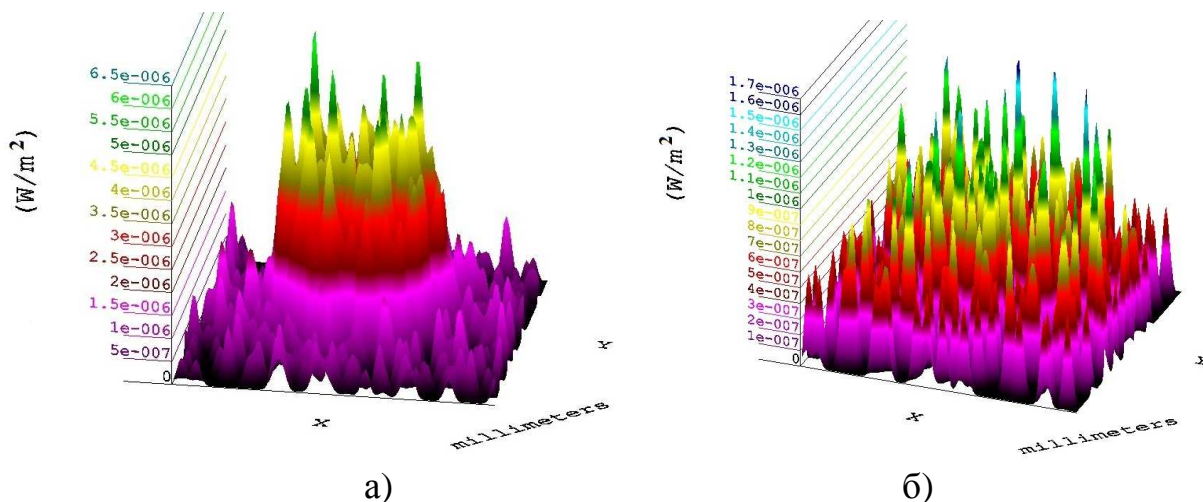


Рисунок 3 - Енергетичні діаграми проходження УФО крізь шкіру:
а) енергетична діаграма верхнього рогового шару шкіри; б) енергетична діаграма нижнього шару епідермісу

В пошкодженій частині шкіри, при захворюванні псоріазом, для додаткового стимуляційного ефекту необхідне використання динамічного випромінювання в імпульсному режимі. В цьому випадку використано змінні у часі характеристики опромінювання об'єкта з модуляцією на біорезонансних частотах в діапазоні 0.4 – 100 Гц. На (рис. 3; 4) зображено графіки точкових енергетичних характеристик верхнього рогового та нижнього шару епідермісу у точці з координатами (0;0). Просторові значення яких розділенні на вертикальні та горизонтальні складові, що дозволяє з високою точністю визначити кількість енергії в будь-якій точці площини біологічного середовища. Отримані енергетичні значення у роговому шарів шкіри в точці координат (0;0) були наступними: мінімальним значеннями є $2.8 \cdot 10^{-7} \text{ Вт} / \text{ м}^2$, середнім значенням є $2.4 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} / \text{ м}^2$, максимальним $4.6 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} / \text{ м}^2$.

Внаслідок проходження електромагнітного випромінювання крізь роговий шар та шар епідермісу отримано наступні показники: мінімальним значеннями є $5 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / \text{ м}^2$, середнім значенням є $4.5 \cdot 10^{-7} \text{ Вт} / \text{ м}^2$, максимальним - $1.1 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} / \text{ м}^2$. Отже коефіцієнт послаблення при порівнянні середніх показників буде дорівнювати 5,3 рази, що дає можливість точно розрахувати необхідну енергетичну дозу ультрафіолетового опромінювання. Потужність відбитого УФ при постійній енергії випромінювання СВД-матриці

залежить від стану поверхні пошкодженого епідермісу. Наведені (рис. 3; 4) діаграми величини поглинутого ультрафіолету шарами шкіри в програмному середовищі Trace Pro 6 підтвердили правильність підходу до створення системи динамічного УФО із можливістю подальшого керування, контролю і корекції параметрів опромінення.

Отримані результати досліджень на змодельованій системі, що складається з СВД-матриці на базі світлодіодів типу BIO-UV LED S8D31D та контролю відбитого потоку енергії від опроміненої поверхні, дозволяють стверджувати, що моделювання процесів динамічного опромінення шкіри ультрафіолетом при псоріазі є значним кроком в комплексному лікуванні цієї хвороби. Удосконалення технічної системи на базі проведених досліджень дозволить ширше застосовувати фізіотерапевтичні технології опромінення УФ при захворюваннях псоріазу внаслідок автоматизованого контролю параметрів процесу та його ефективного керування зі скорочення часу та кількості процедур.

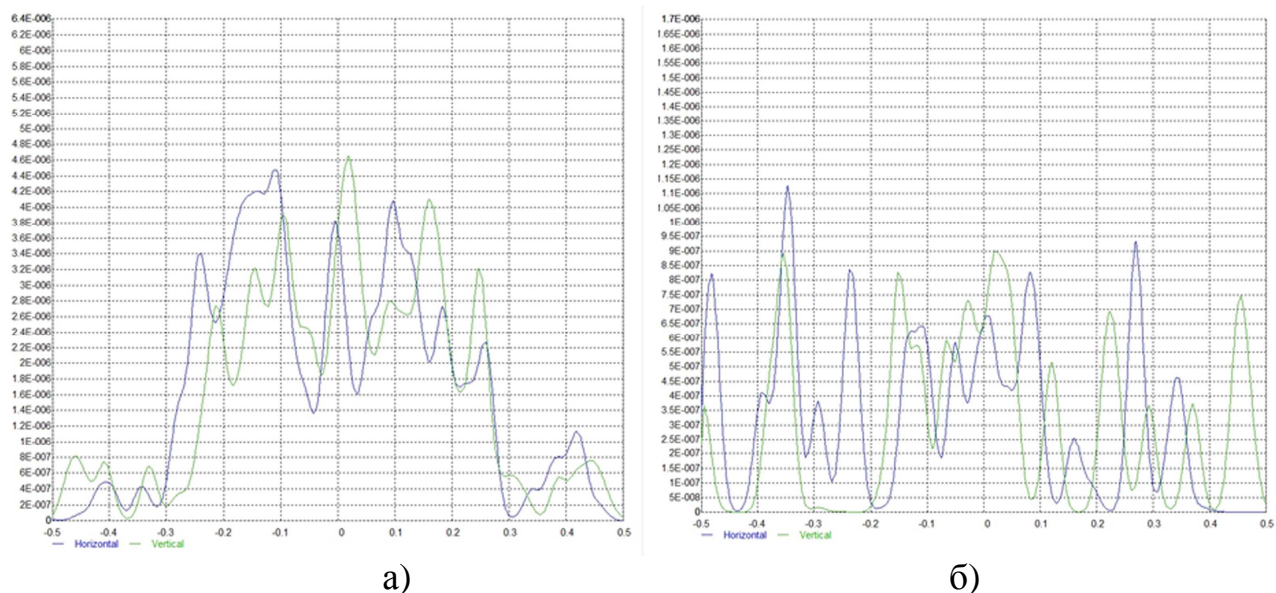


Рисунок 4 - Порівняльна енергетична характеристика отриманого пучка фотонів шарами шкіри в точці координат (0;0); а) верхній роговий шар шкіри; б) нижній шар епідермісу

Результати досліджень на моделі системи, що складається з СВД-матриці на базі діодів типу BIO-UV LED S8D31D та контролю відбитого потоку енергії від опроміненої поверхні, дали змогу встановити, що динамічне опромінення шкіри ультрафіолетом при псоріазі інтенсифікує комплексне лікування цієї хвороби. При цьому вперше забезпечено введення зворотного зв'язку за результатом опромінення, що дає змогу автоматизувати процес та оптимізувати параметри. Результатами моделювання (рис. 4) підтверджено, що розподіл енергії розсіювання у верхньому шарі є більш нерівномірним, ніж в нижньому, що дало змогу корегувати процес лікування шкірних захворювань в інтерактивному чи автоматичному режимі.

Потужність відбитого УФ при постійній енергії випромінювання запропонованою СВД-матрицею, залежить від стану поверхні ураженого епідермісу. Діаграми (рис. 4) розподілу потужності відбитого та поглинутого випромінювання шарами шкіри підтвердили важливе практичне значення динамічності, автоматизації та модуляції УФО.

При побудові алгоритму (рис. 5) роботи системи динамічного опромінення було припущено, що частки середовища, на яких відбувається розсіювання і поглинання, є сферично симетричними. Алгоритм передбачає: а) запис та пошук даних про тип шкіри, форму та площу ураження, кількість попередніх процедур, дозу опромінення, отриманні коефіцієнти (2); б) заміри параметрів здорової та хворої шкіри (3); в) налаштування системи, введення параметрів опромінення (4); г) запуск системи опромінення при заданому налаштуванні (5); д) контроль просторових та енергетичних параметрів опромінення (6); е) аналіз зміни параметрів опроміненої шкіри – відбулись зміни продовжити (перехід на 8), не відбулись зміни (перехід на 4) (7); є) аналіз зміни фізіологічного стану людини під час процедури – відбулись критичні зміни (перехід на 10), не відбулись (перехід на 9) (8); формування результатів процедури (кількість направленої енергії, відбитої та поглинутої; час проведення опромінення, форму та площу опромінення) (9); ж) запис сформованих результатів процедури на електронну карту пацієнта (10).

Особливістю системи є контроль параметрів опромінення та реєстрація фізіологічного стану людини. Результатом опромінення шкіри буде стан та визначені коефіцієнти поглинання енергії, які змінюються в процесі її оновлення. Автоматизація контролю та параметрів процесу у фізіотерапії на базі запропонованої технічної системи дозволить широко застосовувати УФО при захворюваннях шкіри на псоріаз, шляхом скорочення тривалості та кількості процедур й вибору параметрів.

На основі використання вибраних засобів дослідження, запропоновано конструктивну модель динамічного УФО із застосуванням зворотного зв'язку для автоматизації процедури фізіотерапії із використанням частотної і просторової модуляції та контролем потужності випромінювання.

У четвертому розділі на основі вибраної моделі для проведення експериментальних досліджень було



Рисунок 5 - Алгоритм роботи системи фізіотерапії

розроблено дослідний зразок для фізіотерапії. Застосовано нові засоби опромінення на сучасній елементній базі, з інформаційним оцінюванням опромінення та автоматизованим контролем процедури з занесенням результатів в базу даних. Визначено критерії для формулювання вимог, щодо характеристик та параметрів побудови системи динамічного опромінювання при псоріазі.

Структура запропонованої системи для фізіотерапії (рис. 6) складається з чотирьох частин: передавальної, приймальної, випромінювальної та блоку обробки і аналізу (ОА-ПК). Джерело випромінювання (ДВ) являє собою матрицю СВД УФ діапазону - 3, а в приймальній розташований фотоприймач (ФП) - 2, передавальну функцію даних з ФП виконує wi-fi передавач. СВД матрицю розташовано в місці для забезпечення якомога більшого і рівномірного потрапляння енергетичних потоків на ФП. На основі вибраних типів випромінювачів BIO-UV LED S8D31D для СВД-матриці, характеристики якої знаходяться в УФ-Б діапазоні, розроблена структурна схема системи.

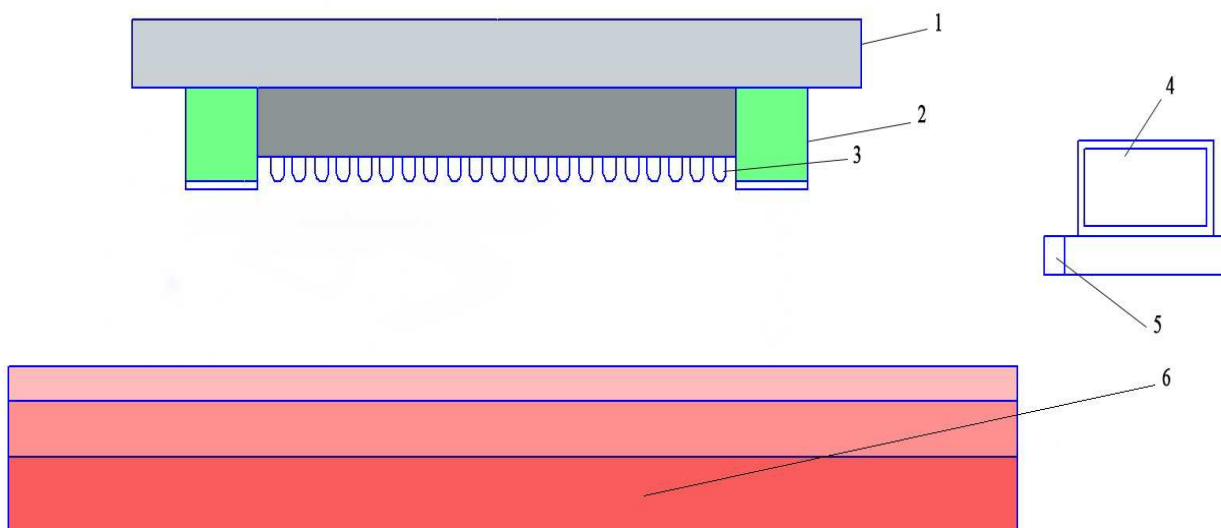


Рисунок 6 - Структурна схема системи контролю процесу фізіотерапії: 1 - каркас СВД матриці з вмонтованим wi-fi передавачем (передавальна частина), 2 - ФП (приймальна частина), 3 - випромінювальна частина (матриця СВД), 4 - ПК (опрацювальна частина), 5 - wi-fi передавач на ПК, 6 - БО

Нижче на (рис. 7) представлена функціональна схема запропонованої фізіотерапевтичної системи для корекції та контролю процесу, що забезпечує автоматичну зміну параметрів при відхиленні енергії відбитого опромінення від норми протягом сеансу.

Фізіотерапевтична система містить світлодіодну матрицю 1, світлочутливий елемент 2, перетворювач струм-напруга 3, генератор опорної напруги 4, керований перемикач 5, вибірковий підсилювач частоти комутації 6, синхронний детектор 7, інтегратор 8, аналого-цифровий перетворювач 9, ЕОМ 10, датчики фізіологічного стану пацієнта 11, модуль зв'язку 12, блок комутації та керування 13, дзеркало 14, об'єкт опромінення 15.

Система динамічного ультрафіолетового впливу працює в два етапи наступним чином:

На першому етапі перед процедурою проводиться розміщення матриці відносно тіла пацієнта. Після цього між об'єктом опромінення 15 і матрицею 1 встановлюється дзеркало 14 та проводиться вимірювання максимальної інтенсивності світлового потоку світлодіодної матриці 1. При такому розміщенні дзеркала 14 весь світловий потік світлодіодної матриці 1 відбивається на світлочутливий елемент 2, що призводить до встановлення струму I_1 через нього.

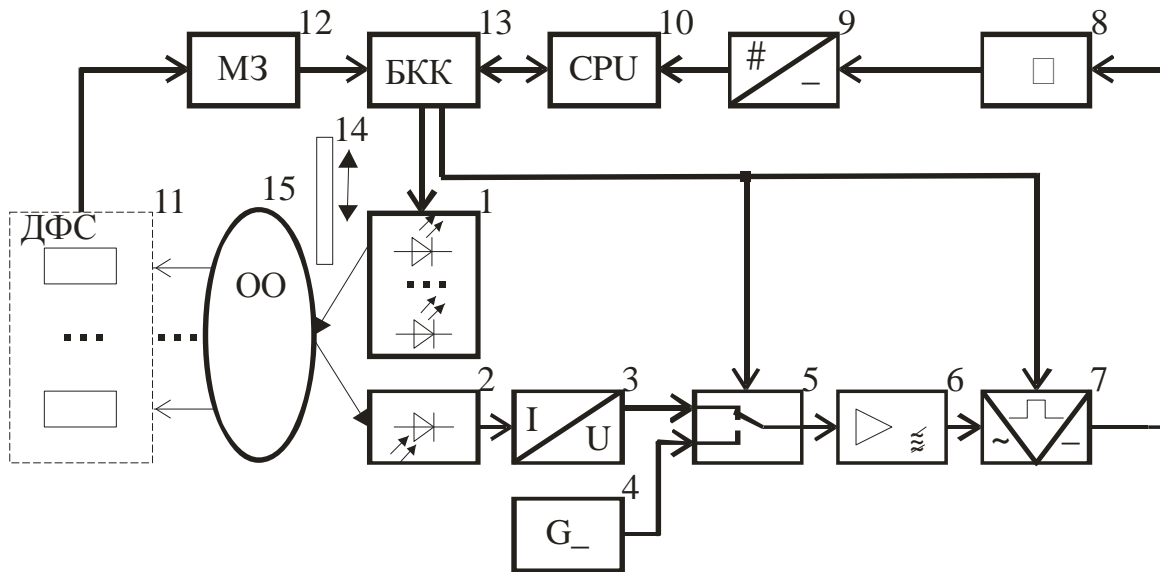


Рисунок 7 - Функціональна схема системи контролю УФО для фізіотерапії

При цьому на виході перетворювача струм-напруга 3 виділяється напруга:

$$U_1 = I_1 R_N, \quad (7)$$

де I_1 - струм через світлочутливий елемент 2 при максимальній інтенсивності світлового потоку УФ світлодіодної матриці 1; R_N - вхідний опір перетворювача струм-напруга 3. Напруга U_1 подається на перший вхід керованого перемикача 5.

На другий вхід керованого перемикача 5 подається напруга U_0 з генератора опорної напруги 4. Значення напруги U_0 визначено зі співвідношення:

$$U_0 = U_T = I_T R_N, \quad (8)$$

де I_T - темновий струм через світлочутливий елемент 2; U_T - відповідна темнова напруга.

На управляючий вхід керованого перемикача 5 з другого виходу блоку комутації та керування 13 з частотою Ω подаються прямокутні імпульси, які забезпечують періодичне перемикачання контактів керованого перемикача 5.

В один напівперіод комутації на виході керованого перемикача 5 утворюється напруга (7), а в другий напівперіод комутації – напруга (8). В результаті періодичного перемикачання перемикача 5 з послідовності імпульсів напруг U_1 і U_0 вибіркоким підсилювачем частоти комутації 6 виділяється і підсилюється змінна складова напруги з амплітудою

$$U_2 = K_1 \frac{U_1 - U_0}{2}, \quad (9)$$

де K_1 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 6 частоти комутації.

Змінна напруга після підсилення випрямляється синхронним детектором 7, який керується напругою частоти комутації керованого перемикача 5. Випрямлена напруга накопичується в інтеграторі 8, в якому пригнічуються низькочастотні шуми перетворювальних і підсилювальних блоків. На виході інтегратора 8 виділяється постійна різницева напруга вигляду:

$$U_3 = \frac{K_1 K_2 K_3}{2} (U_1 - U_0) \quad (10)$$

де K_2 - коефіцієнт випрямлення синхронного детектора 7; K_3 - коефіцієнт передачі інтегратора 8.

При подальшому перетворенні в аналого-цифровому перетворювачі 8 формується код, що відповідає максимальній інтенсивності світлового потоку УФ світлодіодної матриці 1.

$$N_1 = \alpha U_3 = \frac{SK_1 K_2 K_3}{2} (U_1 - U_0), \quad (11)$$

де α – сумарний коефіцієнт перетворення вимірювального каналу; S - масштабний коефіцієнт аналого-цифрового перетворення. Код (11) записується в пам'ять мікро ЕОМ 10.

На другому етапі дзеркало прибирається і опромінюється вибрана ділянка шкіри об'єкту 15. Лікар визначає параметри опромінення, режим включення груп світлодіодів, перевіряє та аналізує дані з датчиків фізіологічного стану пацієнта 11. Після нормування значень датчиків фізіологічного стану, лікар має можливість опромінювати уражену ділянку. При опроміненні виконуються перетворення, аналогічні першому етапу, на виході аналого-цифрового перетворювача 8 формується код, що відповідає інтенсивності світлового потоку УФ світлодіодної матриці 1, відбитого від об'єкта опромінення 15:

$$N_2 = \alpha U'_3 = \frac{SK_1 K_2 K_3}{2} (U'_1 - U_0), \quad (12)$$

де U'_1 - напруга, обумовлена інтенсивністю відбитого випромінювання від об'єкта опромінення 15; U'_3 - друге значення різницевої напруги. Код (12) записується в пам'ять мікроЕОМ 10.

Різниця між результатами вимірювань на першому та другому етапах, яку вираховує мікроЕОМ 10, характеризує поглинуту об'єктом опромінення 15 частину світлового потоку світлодіодної матриці 1:

$$N_3 = N_1 - N_2 = \alpha(U_3 - U'_3). \quad (13)$$

В кінці процедури всі дані про перебіг процесу опромінення записуються на особисту карту пацієнта для подальшого відстеження змін лікування.

На (рис. 8) представлено дослідний зразок системи динамічного ультрафіолетового опромінення для фізіотерапії. Запропонована система відрізняється від існуючих фізіотерапевтичних систем забезпеченням: а) можливості вимірювання та контролю потужності УФ-потoku; б) контролю за рівнем поглинання енергії БО в процесі процедури (за розробленим алгоритмом); в) оцінювання біологічного ефекту процедури та прогнозування результату опромінення; г) автоматизації керування характеристиками та параметрами опромінення.

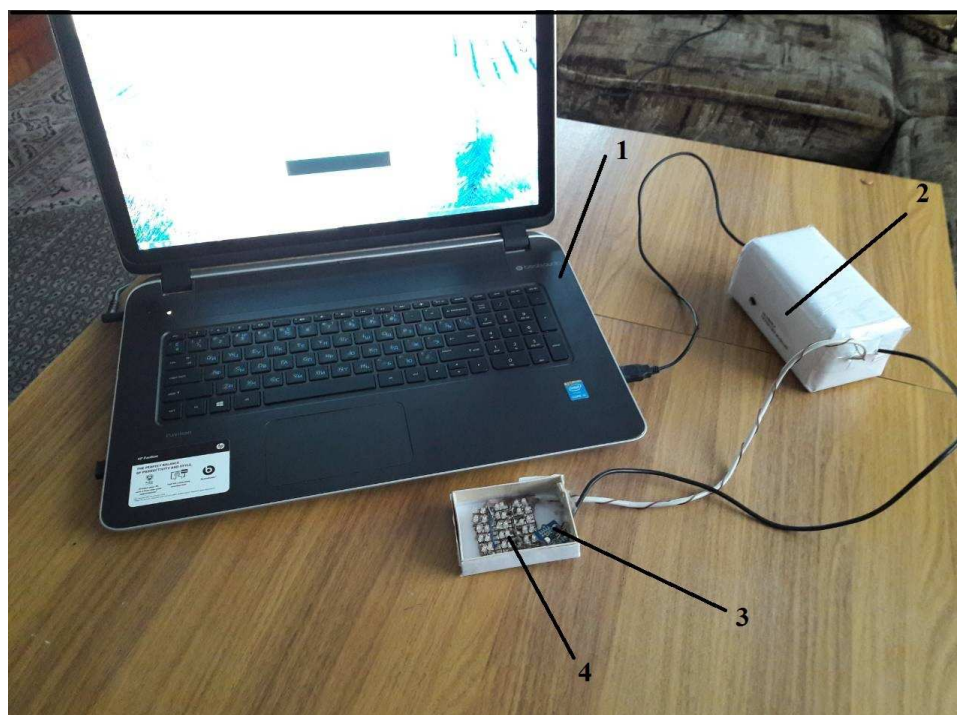


Рисунок 8 - Загальний вигляд дослідного зразка системи фізіотерапії.
1 - персональний комп'ютер з робочою програмою, 2 - мікроконтролер з елементами перетворювання вхідного сигналу, 3 - фотоприймач, 4 - напівпровідникова матриця з випромінювачами

Окрім того, дослідний зразок забезпечує наступні режими роботи: модуляція потоків випромінювання (12 режимів роботи), вмикання – програмне, шляхом вводу відповідного коду; модуляція груп випромінювачів (шляхом вибору відповідного режиму); вибір частоти опромінення матриці інтерактивно в діапазоні від 1мс до 32 с., або програмне (згідно вибраного режиму роботи).

Отже, запропонований метод і створена система для фізіотерапії на сучасній елементній базі та проведена її верифікація забезпечують автоматизований контроль процедури опромінення при псоріазі з інформаційним оцінюванням й занесенням результатів в базу даних, що дозволяє розширити використання результатів в практичній медицині.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Результатом дисертаційного дослідження вирішено важливе наукове завдання щодо розширення функціональних можливостей фізіотерапії, шляхом розроблення методу та системи динамічного ультрафіолетового випромінювання. При цьому, розв'язано низку задач та отримано такі нові та практично корисні результати:

1. Аналітичним оглядом даних про методи та технології використання систем ультрафіолетового опромінювання при фізіотерапії встановлено, що необхідно: а) автоматизувати динаміку керування параметрами та характеристиками опромінювання, б) використати напівпровідникові випромінювачі, які дозволяють проводити швидку зміну інтенсивності випромінювання;

2. Обґрунтовано вибір досліджуваних процесів: а) взаємодії ультрафіолетового випромінювання з біотканиною, б) динаміки системи опромінювання, в) контролю параметрів та характеристик впливу опромінювання на біооб'єкт, г) математичного моделювання і верифікації. Синтезовано структуру та алгоритми функціонування системи динамічного УФО зі зворотнім зв'язком, що дало змогу автоматизувати зміну інтенсивності опромінювання шляхом просторової модуляції випромінювання;

3. Вперше розроблено метод визначення: а) енергії УФО напівпровідникової матриці, б) коефіцієнтів відбивання і поглинання шарами шкіри, в) одиничної потужності випромінювання, що дало змогу застосувати принцип модуляції енергетичного потоку та забезпечити необхідне дозування опромінювання ділянки шкіри під час фізіотерапії;

4. Експериментальним шляхом отримано і досліджено на імітаційній моделі пошаровий розподіл енергії, яка поглинається середовищем при його УФО, що дозволило визначити коефіцієнт послаблення потужності випромінювання при проходженні рогового шару і нижнього шару епідермісу.

5. Розроблення системи динамічного випромінювання і контролю їх ефективності доповнило алгоритм її роботи режимами просторової та енергетичної модуляції, що забезпечило рівномірне опромінювання ураженої ділянки шкіри.

6. Вперше розроблено систему автоматизованого впливу УФО на біооб'єкт та критерій ефективності фізіотерапії, що дало змогу: а) зменшити тривалість процедури фізіотерапії на (15-25%); б) оцінити пошаровий розподіл поглинання енергії (виявлено, що енергія між роговим шаром та нижнім шаром епідермісу здорової шкіри зменшується 5,3 рази); скороченням часу підготовки системи до процедури в 1,5÷2 рази, збільшенням пропускної здатності кабінетів фізіотерапії на 25-33%,

7. Розроблено схемо-технічні рішення та алгоритми роботи дослідного зразка системи фізіотерапії з автоматизованим керуванням характеристик та параметрів опромінювання зі зміною просторової та енергетичної модуляції потоку опромінювання, що дало змогу верифікувати результати дослідження;

Наукові й практичні результати дисертаційної роботи опубліковано в таких наукових виданнях:

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

[1] В. Кузь, Р. Ткачук, та М. Івах, "Моделювання динамічного опромінення для фотомедичних технологій при неперервності контролю параметрів процесу", *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, № 2, с. 98-105, 2013.

[2] V. Kuz, and R. Tkachuk, "Study of effect of modeling biophysical light scattering in biological media", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2 (51), с. 121-125, 2015.

[3] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Опромінення шкіри людини із безперервним контролем та регулюванням параметрів процесу", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1 (46), с.145-148, 2014.

[4] В. Кузь, Р. Ткачук, и Б. Яворский, "Повышение информативности автоматизированных электроретинографических систем", *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, № 3, с. 108-113, 2013.

[5] В. Кузь та Р. Ткачук, "Дослідження можливостей виявлення рівня нейротоксикації людини методом фотонної електроретинографії", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №4 (45), с. 124-127, 2013.

[6] V. Kuz, O. Yanenko, K. Shevchenko, and R. Tkachuk, "Phototherapy device with determination of absorbed energy dose", *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, № 3 (83), с. 154-158, 2016.

[7] V. Kuz, O. Yanenko, V. Adamenko, and K. Shevchenko, "Automated system for irradiation of biologically active points of the human body", *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, № 2 (86), с. 83-89, 2017.

[8] В. Кузь та О. Яненко, "Дослідження рівня опромінення пристрою світлотерапії", *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія приладобудування, № 53(1), с. 109-113, 2017.

[9] В. Кузь "Дослідження біофізичного ефекту оптичного діапазону", *Науковий Журнал «Молодий вчений» серія «Технічні науки»*, № 9 (36), с. 98-100, 2016.

[10] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Моделювання динамічного опромінення ультрафіолетом при комплексному лікуванні псоріазу", *Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка*, т. 9, с. 176-184, 2014.

[11] О. П. Яненко, К.Л. Шевченко, В.І. Кузь, та Р.А. Ткачук, "Пристрій для світлотерапії", *МПК (2016.01) А61В 5/00 А61В 18/18, №113732*, Лют. 10, 2017.

[12] О. П. Яненко, В.О. Адаменко, В.І. Кузь, та К.Л. Шевченко, "Автоматизована система для опромінення біологічно активних точок людського організму", *МПК А61Т 5/067, G01J 5/58, №122458*, Січ. 10, 2018.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[13] O. Yanenko, V. Kuz, R. Tkachuk, and K. Shevchenko "Light therapy by low-intensity optical signals", at *International research and practice conference Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical science*, Radom, Republic of Poland, 2017, pp. 71-75.

[14] В. Андрійчук, та В. Кузь "Дослідження взаємодії оптичного випромінювання з неоднорідним біологічним середовищем", на *V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів Актуальні задачі сучасних технологій*, Тернопіль, 2016, с. 141-142.

[15] В. Кузь, та Р. Ткачук, "Моделювання динамічного імпульсного опромінення шкірних патологій із контролем параметрів процесу", на *XIII міжнародній науково-технічній конференції Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах /*, Одеса, 2014, с. 137-138.

[16] В. Кузь "Створення моделі світлотехнічного пристрою для фотомедичних технологій динамічного опромінення із зворотнім зв'язком", на *VI-та Всеукраїнській студентській науково - технічній конференції Природничі та гуманітарні науки, актуальні питання*, Тернопіль, 2013, с. 198.

[17] В. Кузь, "Застосування методу Монте-Карло при дослідженні оптичних параметрів біологічного середовища", на *III Міжнародній науково-практичній конференції Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук*, Київ, 2016, с. 82-83.

[18] В. Кузь, О. Яненко, К. Шевченко, та Р. Ткачук, "Оптична система для фототерапії з контролем поглинутої енергії", на *Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*, Івано-Франківськ, 2017, с. 57-60.

[19] В. Кузь, "Модель динамічного імпульсного опромінення і контролю параметрів процесу фотоферезу", на *Международной науч.-тех. конф. Современные тенденции развития светотехники*, Харьков, 2013, с. 45-47.

[20] В. Кузь, "Устройство фотобиологического воздействия на основе светодиодных источников света", на *XIII Всеросс. научно-техн. конф. сМеждународным участием Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики*, Саранск, 2017, с. 3-7.

[21] О. Яненко, В. Кузь, та В. Чухов, "Моделювання опромінення світлодіодної матриці у пристроях медичного призначення", на *II Міжнародній науково-технічній конференції Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення - 2017*, Житомир, 2017, с. 185-186.

[22] O. Yanenko, V. Adamenko, K. Shevchenko, R. Tkachuk, and V. Kuz, "The device for determining the absorption capacity modulated light beams irradiation bar", на *VI Міжнародній наук.-техн. конф. Сучасні проблеми*

радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування, Вінниця, 2017, с. 120-122.

[23] В. Кузь, Р. Ткачук, та О. Яненко, "Екологічний контроль системи ультрафіолетового випромінювання у фототерапії", на *VI Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 2017, с. 115-116.

[24] В. Андрійчук, та В. Кузь, "Опромінювальний пристрій медичного призначення", на *VI Міжнародній науково-технічній конференції Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи*", Тернопіль – Яремче, 2018, с. 106-107.

[25] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Світлотехнічні пристрої для динамічного опромінення при комбінованому лікуванні псоріазу", на *V Міжнародній науково-технічній конференції Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи*, Тернопіль - Яремче, 2015, с. 37-38.

[26] Б. Робулова, В. Кузь, та Р. Ткачук, "Удосконалення технічних систем для фотомедичних технологій при лікуванні псоріазу", на *Всеукраїнській конференції Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії*, Київ, 2014, с. 136-137.

[27] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Studies frequency deviation and modulation of the UV radiation power from a given value", *VIII міжнародна конференція Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка-ODS 2018»*, Вінниця, 2018, с.141-142.

[28] О. Krushets, V. Kuz and O. Yanenko, "Automated system for light therapy with frequency scanning irradiated areas", на *Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління*, Івано-Франківськ, 2018, с. 199-202.

АНОТАЦІЯ

Кузь В.І. Метод та система динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 "Біологічні та медичні прилади і системи". – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

Дисертація присвячена розвитку функціональних можливостей системи динамічного ультрафіолетового опромінення для фізіотерапії, шляхом визначення та контролю параметрів ультрафіолетового впливу на уражену шкіру. Проведено аналіз джерел електромагнітного випромінювання, які можуть бути використані при побудові системи для фізіотерапії, та підтверджено використання ультрафіолетових світлодіодів. Обґрунтовано вибір математичної моделі розподілу УФ випромінювання в біологічному об'єкті для оцінки енергетичного впливу та коефіцієнтів відбиття і поглинання різними шарами шкіри.

Побудовано функціональну модель системи автоматизованого динамічного ультрафіолетового опромінювання для фізіотерапії, шляхом розробки методу та системи корекції та контролю просторово-енергетичних параметрів процедури. Проведено моделювання процесу розсіювання енергії у випадково-неоднорідному біологічному середовищі використовуючи програмне забезпечення, яке базується на методі Монте Карло побудовано пошаровий розподіл поглинутої енергії.

Проведено експериментальні дослідження дослідного зразка системи динамічного УФ випромінювання, які впроваджено в НВЕСМП «Медап», ПП «Клініка мікрохірургії Медікус» м. Тернопіль, кафедри «Біомедичних систем» ТНТУ імені Івана Пулюя, Бучацькій центральній міській лікарні Тернопільської області.

Ключові слова: ультрафіолетова напівпровідникова матриця, динамічне опромінення біооб'єкту, просторово-енергетична модуляція, зворотній зв'язок, контроль дози ультрафіолетового випромінювання.

АННОТАЦІЯ

Кузь В. І. Метод и система динамического ультрафиолетового излучения для физиотерапии. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 "Биологические и медицинские приборы и системы". – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2019.

Диссертация посвящена развитию функциональных возможностей системы динамического ультрафиолетового облучения для физиотерапии, путем определения и контроля параметров ультрафиолетового воздействия на пораженную кожу. Проведен анализ источников электромагнитного излучения, которые могут быть использованы при построении системы для физиотерапии, и подтверждено использование ультрафиолетовых светодиодов.

Обоснован выбор математической модели распределения УФ излучения в биологическом объекте для оценки энергетического воздействия и коэффициентов отражения и поглощения различными слоями кожи. Построено функциональную модель системы автоматизированного динамического ультрафиолетового облучения для физиотерапии, путем разработки метода и системы коррекции и контроля пространственно-энергетических параметров процедуры. Проведено моделирование процесса рассеяния энергии в случайно-неоднородном биологической среде используя программное обеспечение, основанное на методе Монте-Карло и построено послойное распределение поглощенной энергии.

Проведены экспериментальные исследования опытного образца системы динамического УФ излучения, которые внедрены в НПЭСМ «Медап», ООО «Клиника микрохирургии Медікус» г. Тернополь, кафедре «Биомедицинских систем» ТНТУ имени Ивана Пулюя, Бучацкой центральной городской больницы Тернопольской области.

Ключевые слова: ультрафиолетовая полупроводниковая матрица, динамическое излучения, пространственно-энергетическая модуляция, обратная связь, контроль дозы ультрафиолетового излучения, матрица светодиодов.

ABSTRACT

Kuz V.I Method and system of dynamic ultraviolet radiation for physiotherapy. - Qualification research paper, manuscript copyright..

The thesis for a scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.11.17 "Biological and medical devices and systems". – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

The dissertation is devoted to the development of the functional capabilities of a dynamic physiotherapy system by determining and monitoring the parameters of ultraviolet exposure to affected skin.

An analysis of the existing methods and means of irradiating the skin with ultraviolet radiation has been carried out, and the physiotherapy devices are not in compliance with the necessary medical requirements. The elemental base of emitters in UV physiotherapy devices is analyzed, an alternative to mercury sources, namely UV LEDs with dynamic capabilities of spatial and energy flow modulation, is found.

The optical characteristics of the main structural components of the skin, the medical aspects of UV physiotherapy and the mechanisms of the influence of optical radiation on a biological object are considered, which confirmed the need for further research of this scientific problem

To solve the problem of local and energy modulation, mathematical modeling was carried out and an irradiation method based on UV LEDs was proposed by choosing the optimal light distribution method, which will allow us to build an automated model of energy distribution of ultraviolet radiation.

The analysis of electromagnetic radiation sources that can be used to build a system for physiotherapy, and the use of ultraviolet LEDs with a long service life, non-toxicity, and low inertia, is confirmed. The choice of a mathematical model of the distribution of UV radiation in a biological object for assessing the energy impact and the reflection and absorption coefficients of various skin layers is substantiated. A method of dynamic ultraviolet radiation has been developed, which provides constant monitoring and changing the spatial and energy parameters of the procedure during physiotherapy. A calculation was made of surface irradiation with a size of 0.1-0.1 m by a semiconductor diode array to obtain a uniform spatial-spatial field, which allows a predicted effect on the biological object to achieve a therapeutic effect during physiotherapy.

Based on the simulated process of the effect of ultraviolet radiation on a biological object, a model for the interaction of UV radiation with the skin is created to identify criteria for the effectiveness of physiotherapy, based on the determination of changes in the absorbing properties of the components of BO as a result of irradiation.

To determine the energy parameters in the skin layers, a simulation of the energy dissipation process in randomly inhomogeneous biological media was carried out using the Trace Pro 9 software, based on the Monte Carlo method. A layer-by-layer distribution of the absorbed energy by the skin layers was constructed, which made it possible to assess the energy level of absorption and reflection of ultraviolet radiation in BOs.

An automated physiotherapeutic system for the dynamic irradiation of human skin is proposed, which greatly simplifies the process of setting treatment parameters, improves objectivity and provides automation of the modulation process and determination of correlation dependencies.

Modes for controlling the radiation fluxes in a semiconductor ultraviolet matrix by modulating pulses and forming a spatial distribution of radiation that can reduce the duration of the physiotherapy procedure by 15-20% have been developed.

Based on the simulation of energy dissipation in a randomly inhomogeneous biological environment, a layer-by-layer distribution of absorbed energy was constructed and it was found that the coefficient of energy attenuation between the stratum corneum and the lower layer of the epidermis is 5.3 times.

Based on the structural diagram and the algorithm of the physical model of the device for physiotherapy, it was possible to automate the control of the characteristics and parameters of radiation, which allowed us to develop a prototype automated UV system for physiotherapy, with the possibility of changing the spatial and energy modulation of the radiation flux, which allowed us to verify the studies.

Thus, in the dissertation, the urgent and important scientific and technical problem of expanding the functionality of physiotherapy devices by solving the method and system of dynamic ultraviolet radiation was solved. The results obtained are of great scientific and practical importance in determining therapeutic UV exposure doses in local and general physiotherapy.

Key words: ultraviolet light-emitting diode, dynamic radiation, space-energy modulation, feedback, dose of ultraviolet radiation, matrix of light-emitting diodes.

Підписано до друку __.__.2019. Формат 60×90, 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman.
Умовно–друк. арк. 0,9. Наклад – 100 прим.
Замовлення № _____

Друк ФОП Паляниця В. А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б. Хмельницького, 9а, оф.38.
тел. (0352) 528–777.