

УДК 621.384.4

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОФІЗИЧНОГО ЕФЕКТУ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ

Кузь В.І.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Проаналізовано низку методів дослідження та механізми проходження оптичного випромінювання крізь біооб'єкт та встановлено залежності оптичних параметрів опромінення в процесі оздоровлення шкіри. Змодельовано і створено критерії для неперервного аналізу параметрів з метою підвищення ефективності його застосування. Проведено імітаційне моделювання та систематизовано взаємодію біооб'єкта з оптичним випромінюванням.

Ключові слова: біооб'єкт, ультрафіолетове випромінювання, фототерапія, світлодіодна матриця, динамічне опромінення, фотоприймач.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день все більшого значення та застосування набули світлотехнічні технології, особливо у світлолікуванні, яке передбачає оптичне опромінення біологічного середовища певної інтенсивності та довжини хвилі на визначену область. Встановлено, що жоден з існуючих випромінювальних пристроїв не надає необхідної рівномірності та динамічності опромінювання також відсутня можливість контролю над рівнем випромінювання і поглинання енергії світлового потоку об'єктом опромінення в процесі опромінення.

У світлотехнічній промисловості існує ряд задач, які зводяться до моделювання проходження процесу опромінення, та дослідження його ефекту.

Для розвитку існуючих технологій є потреба удосконалення пристроїв опромінення із впровадженням зворотнього зв'язку та регуляції основних параметрів опромінення з подальшою корекцією процесу опромінення та контролю за рівнем поглинання енергії світлового потоку.

Аналіз останніх публікацій. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано ряд публікацій та практичних матеріалів, у тому числі закордонних, таких як:

• –Круковская Л.П. Ультрафиолетовое излучение – его биологическая возде́йствие, приемники, 2009.

• –Photobiology: The science of life and light / Lars Olof Vjorm. 2010.

• –Івах М.С. Розроблення медичних оптико-електронних пристроїв динамічного випромінювання, контролю та корекції фотоферезу, 2012.

• –Ткачук Р.А, Опромінення шкіри людини із безперервним контролем та регулюванням параметрів процесу, 2014.

• –Пушкарева А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани., 2008.

Аналіз цих та багатьох інших професійних технічних посібників дозволяє зробити попередній висновок, що моделювання опромінення та удосконалення наявних технічних засобів є невід'ємною складовою якісного проведення процесу опромінення.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для забезпечення якісного опромінення слід розглянути оптичні властивості біологічного об'єкта, а саме коефіцієнти відбивання та поглинання з урахуванням технічних характеристик апаратури і особливостей випромінювання. Методи лікування та застосування

технічних засобів, які розглядаються в статті для досягнення необхідної дози опромінення в режимі реального часу, вимагають безперервної передачі даних в режимі он-лайн.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження процесу проходження оптичного випромінювання крізь біологічно-активне середовище. Інтегрування засобів зворотного зв'язку та обладнання контроллера, з урахуванням динамічного розвитку сучасних світлотехнічних технологій.

Виклад основного матеріалу. Використання напівпровідникових елементів для оптико-електронних пристроїв випромінювання у світлолікуванні, є перспективним напрямком розвитку фотомедичних технологій.

Світлодіодні джерела світла володіють високим коефіцієнтом корисної дії і можливістю регулювання просторового розподілу енергії в малих площинах для різного спектру випромінювання. Також вони характеризуються незнайомою величиною робочої напруги та струму (1,5–3,0 В, 3–50 мА), малою інерційністю при роботі в імпульсному режимі, високою надійністю, низькою вартістю тощо.

У світлолікуванні шкірних захворювань таких як псоріаз, екзема застосовують ртутні джерела світла в діапазоні довжин хвиль (320–550) нм, які несуть небезпеку для пацієнта і потребують заміну кожні 500–1000 год., що в свою чергу є основним недоліком.

Розглянемо процес опромінення біологічного середовища із регулюванням енергетичних характеристик випромінювання в імпульсному режимі за допомогою світлодіодної матриці.

Структурна схема складатися, з трьох частин – випромінювальної – 3, приймальної – 2,

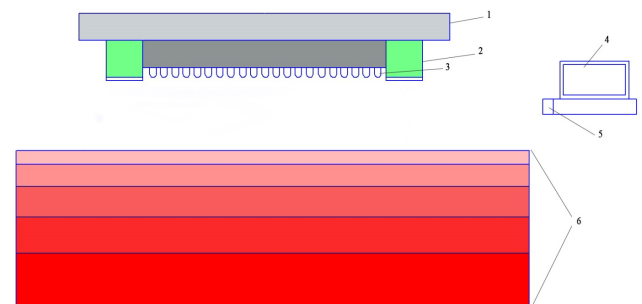


Рис. 1. Структурна схема процесу опромінення

Джерело: розроблено автором

передавальної – 1 (рис. 1). Джерело випромінювання являє собою матрицю СВД ультрафіолетового діапазону 3, а в приймальній – розташований фотоприймач 2, передавальну функцію даних з фотоприймача виконує Wi-fi передавач 5, 4 – персональний комп'ютер, 6 – біологічний об'єкт (шкіра).

В залежності від стану ураженої поверхні шкіри, змінюються коефіцієнти поглинання біооб'єкта та відбитої енергії, що потрапляє на розташовані в площині матриці фотоприймачі (рис. 2).

Конструктивна рамка СВД-матриці, в якій розміщено тридцять світлодіодів (рис. 2), обмежує кути випромінювання у кожному зі світлодіодних каналів і захищає від небажаного розсіювання. Корпус рамки виконано з електроізоляційного, непрозорого, міцного та нетоксичного матеріалу, який забезпечує надійне кріплення всіх елементів матриці.

Світлові потоки від кожного з СВД, потрапляючи на біооб'єкт поглинаються та частково відбиваються на фотоприймач приймальної частини. Після прийняття фотоприймачем відбитого від шкіри опромінення, сигнал з фотоприймача проходить до передавальної ланки wi-fi, а далі безпроводником передається до персонального комп'ютера де оцінюється лікарем. Така структура дає можливість порівняння оптичних характеристик біооб'єкта на початку світлолікування.

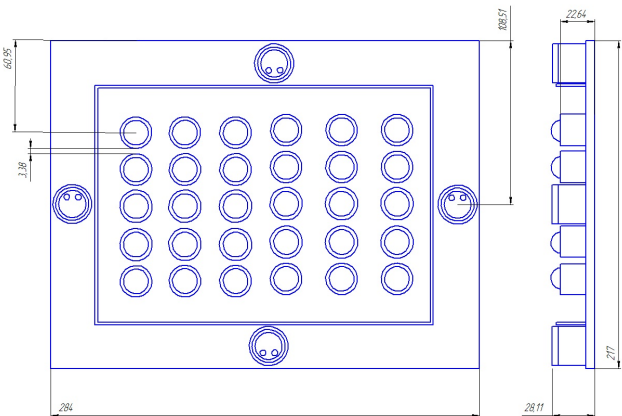


Рис. 2. Конструкція СВД матриці із фотоприймачами
Джерело: розроблено автором

Для кожного окремого шару шкіри визначаються параметри за формулою (1) їх межі змін, які згодом вносяться в підпрограми Bulk Scatter, та Material програмного середовища Trace Pro 6, в основі якої є метод Монте-Карло [6; 7]

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

На основі математичного моделювання процесу поширення оптичного випромінювання в БО встановлено оптимальні параметри, які визначають характеристики випромінювання оптико-електронного пристрою, а саме: товщини шару БО (до 3 мм), чутливості фотоприймача (1..10 мкА), оптичної потужності джерел випромінювання (0.6 мВт), частоти випромінювання (4-0,4 Гц). Потужність відбитого оптичного випромінювання СВД-матриці залежить від стану поверхні пошкодженого епідермісу.

Наведені (рис. 3, 4) діаграми розподілу потужності та інтенсивності величини поглинутого ультрафіолету шарами шкіри в програмному середовищі Trace Pro 6 підтвердили правильність підходу до створення технічної системи динамічного опромінення із можливістю подальшого керування, контролю і корекції параметрів опромінення.

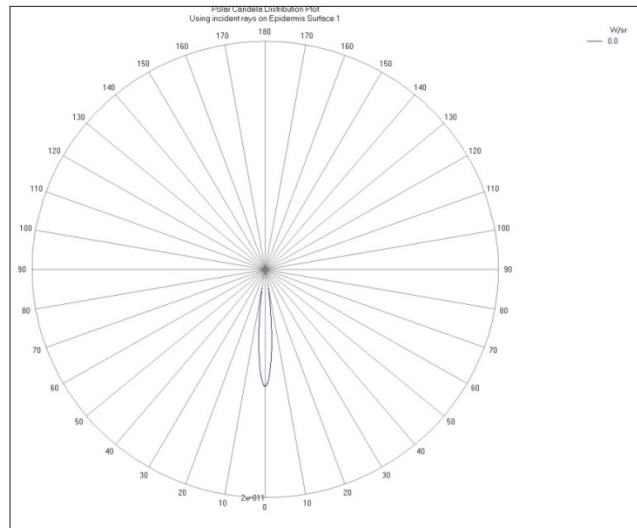


Рис. 3. Полярний розподіл інтенсивності падаючого УФ променя при повному випромінюванні СВД-матриці у нижньому роговому шарі

Джерело: розроблено автором

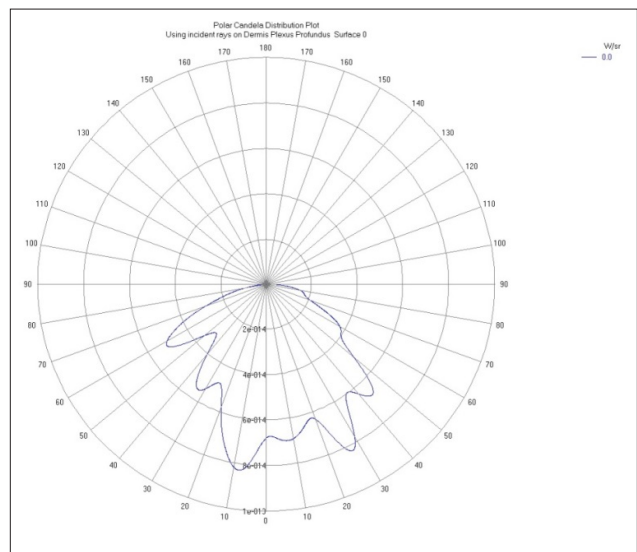


Рис. 4. Полярний розподіл інтенсивності падаючого УФ променя при повному випромінюванні СВД-матриці у нижньому шарі дермису

Джерело: розроблено автором

В результаті математичного моделювання при режимі повного випромінювання (включені усі СВД матриці) сумарна кількість променів на верхньому роговому шарі 2495, а повна потужність становить $5,94 \cdot 10^{-13} \text{ Вт/ср}$. На нижньому шарі кількість променів зменшилась до 978, а потужність до $2,3 \cdot 10^{-13} \text{ Вт/ср}$. У режимі повного випромінювання встановлюється рівномірний розподіл світлового поля на віддалі 10-20 мм від поверхні випромінювання

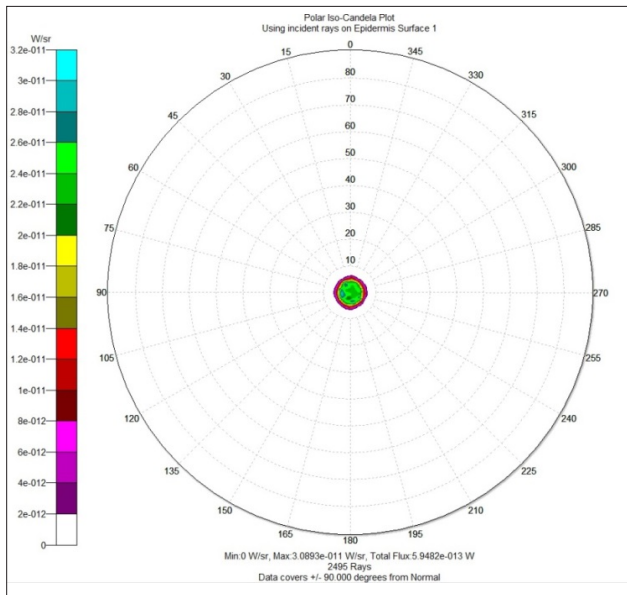


Рис. 5. Розподіл величини поглинутого опромінення нижнім роговим шаром

Джерело: розроблено автором

В ультрафіолетовій області поглинання тканини визначається спектрами поглинання пігментів, зокрема для шкіри – спектрами поглинання меланіну. Для розрахунків інтерес представляє величина оптичної щільності (OD) епідермісу, яка є результатом наступного виразу:

$$OD = \mu_{mel} \cdot h_e, \quad (2)$$

де μ_{mel} – коефіцієнт поглинання меланіну, h_e – товщина шару епідермісу.

Оптична щільність залежить від кількості меланіну в базальному шарі, що в свою чергу, залежить від багатьох факторів, основним з яких є тип шкіри. Залежно від нього, процентний вміст меланіну в базальному шарі епідермісу шкіри людини може змінюватися від 1,5% до 43%. Тому оптична щільність епідермісу має сильну залежність від типу шкіри людини.

Біологічні тканини є сильно розсіюючими об'єктами, поширення світла через які може вважатися дифузним процесом [8]. Важлива властивість розсіювання тканини – анізотропія, яка визначається величиною, так званої фактором анізотропії g – середній косинус кута розсіювання.

Отримані результати досліджень в змодельованій системі, що складається з СВД-матриці на базі світлодіодів типу BIO-UV LED S8D31D та контролера відбитого потоку енергії від опроміненої поверхні, дозволяють припустити, що коефіцієнт поглинання значно менше коефіцієнта розсіювання в області коротких довжин хвиль.

Список літератури:

- Физика и биофизика : учебник / Под.ред. В.Ф. Антонова. – М. : ГЭОТАР- Медиа, 2008. – 480 е., ил.
1. Медицинская и биологическая физика: Учеб.для вузов / А.Н. Ремизов, Г.Максина. А.Я. Потапенко. – 4-е изд. перераб. и дополн. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.
 2. Tkachuk R. Modelling dynamic irradiation with ultraviolet light in the complex treatment of psoriasis / Tkachuk R.A., Kuz V.I., Robulova B.M. // Proceedings TO NTSh. – 2014. – № 9. – P. 176-183.
 3. R. Tkachuk. Study of effect of modeling biophysical light scattering in biological media / Tkachuk R.A., Kuz V.I. // Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах № 2'2015, 121-125.
 4. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. В. Тучина. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 560 с.

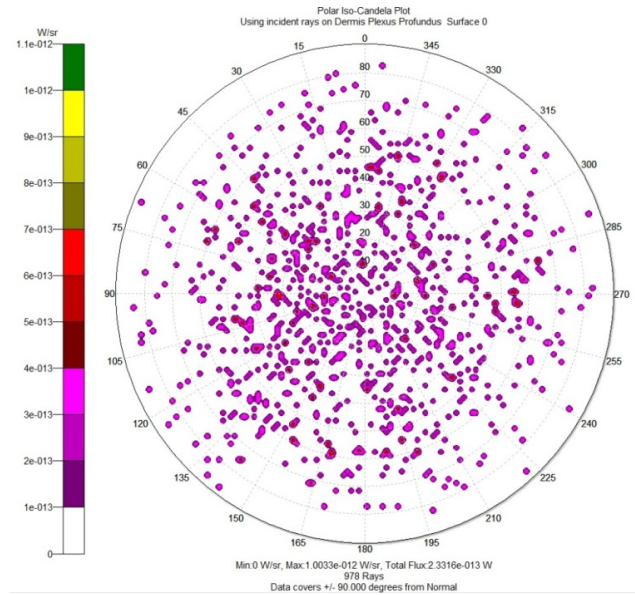


Рис. 6. Розподіл величини поглинутого опромінення нижнім шаром дерму

Джерело: розроблено автором

Розсіювання грає головну роль у визначенні глибини проникнення випромінювання в шкіру, для випромінювання з більшою довжиною хвилі глибину проникнення визначає поглинання.

Удосконалення технічної системи на базі проведених досліджень дозволить ширше застосовувати світлотехнічні технології опромінення при захворюваннях псоріазу внаслідок автоматизованого контролю параметрів процесу та його ефективного керування, скорочення часу та кількості процедур.

Висновки і пропозиції. Запропоновано, на основі експериментальних результатів комплексний підхід щодо створення альтернативи існуючим пристроям фототерапії на нових принципах об'єднання максимально мініатюризованих оптоелектронних елементів в єдиний оптико-електронний пристрій рівномірного динамічного випромінювання та контролю.

На основі аналізу фототерапевтичних пристроїв опромінення, запропоновано реалізувати у вигляді матриці СВД. Така матриця повинна забезпечувати технологічні вимоги, такі як спектр випромінювання, оптичну потужність випромінювання, рівномірність опромінення та низькі робочі температури, що необхідно математично оцінити.

Досліджено полярний розподіл інтенсивності падаючих променів на біологічний об'єкт, відбитих та поглинутих в системі випадково розміщених величин, що дозволяє вирахувати кількість поглинутих променів в біооб'єкті.

5. Фотобиофизика. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон, учеб.пособие / И.Е. Суковатая. В.А. Кратасюк. В.В. Межевикин и др. – Электрон, дан. (9 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ. 2008. – 438 с. – ISBN 978-5-7638-0890-2.
6. Photobiology: The science of life and light / Lars Olof Bjorm. – 2-nd edition. Lund :Springer. 2010. – 695 p.
7. Круковская Л.П. Ультрафиолетовое излучение: – его биологическая воздействие, приемники: Методическое пособие. – СПб.: СПбТПУ, 2009. – 26 с.

Кузь В.И.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОФИЗИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Аннотация

Проанализированы ряд методов исследования и механизмы прохождения оптического излучения через биообъект и установлены зависимости оптических параметров облучения в процессе оздоровления кожи. Смоделирован и создан критерии для непрерывного анализа параметров с целью повышения эффективности его применения. Проведено имитационное моделирование и систематизированы взаимодействие биообъекта с оптическим излучением.

Ключевые слова: биообъект, ультрафиолетовое излучение, фототерапия, светодиодная матрица, динамическое облучения, фотоприемник.

Kuz V.I.

Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University

RESEARCH BIOPHYSICAL EFFECT OPTICAL RANGE

Summary

Analyzed a number of research methods and mechanisms of optical radiation passing through biological objects and dependencies of optical parameters of radiation treatment in the healing of the skin. Modeled and established criteria for continuous analysis of options to improve the efficiency of its use. A simulation of biological objects and systematized interaction with optical radiation.

Keywords: biological objects, ultraviolet radiation, phototherapy, LED matrix, dynamic radiation sensor.