

Роман Ткачук, Божена Робулова, Василь Кузь

**МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ
УЛЬТРАФІОЛЕТОМ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ЛІКУВАННІ
ПСОРІАЗУ**

Стаття присвячена побудові удосконалених технічних засобів (СВД-матриці) для фотомедичних технологій при лікуванні захворювань шкіри (псоріазу, екзем) шляхом імпульсного опромінення ультрафіолетом пошкодженої поверхні із безперервним контролем процесу та регулюванням параметрів у інтерактивному та автоматичному режимах. Запропонований підхід забезпечує використовувати вибрані критерії для оперативного контролю параметрів процесу та підвищення ефективності технічних засобів на основі оптико-електронних пристроїв.

Ключові слова: *опромінення, СВД-матриця, ультрафіолет, шкіра.*

Вступ. Серед поширених хвороб шкіри людини, які важко піддаються лікуванню відносять дерматози (псоріаз, екземи), що характеризується запальним, хронічним, рецидивним характером захворювання. В світі декілька десятків мільйонів людей страждають від цієї хвороби [1]. Відомі методи лікування (фармакологічні, кріотерапія, плазмафорез, народна медицина тощо) не завжди є ефективними, тому потребують додаткових досліджень та їх удосконалень, особливо мало дослідженими є неінвазивні методи на основі опромінення шкіри пацієнта ультрафіолетом (УФ). Ультрафіолетова терапія набуває широкого застосування у випадках, коли існують проблеми індивідуальної непереносимості ліків та алергії на їх застосування. Перспективним напрямом лікування псоріазу є метод, який передбачає контрольований вплив на окремі ділянки біооб'єкту (БО) з використанням світлового потоку УФ-А з довжиною хвиль в діапазоні 320-420 нм [2]. Він має

перевагу при комплексному застосуванні у випадках алергії на окремі суспензії, медикаменти. При неконтрольованій дії ультрафіолету можливе пошкодження білків, ліпідів та нуклеїнових кислот через підвищену чутливість організму до УФ і внаслідок фотохімічного руйнування компонентів, тому це потребує оперативного оцінювання стану поверхні шкіри і підшкірних змін та регулювання цих процесів [2, 3].

Відомі до застосування пристрої при опроміненнях шкіри (на базі ртутних ламп) не передбачають керування та регулювання потоку ультрафіолету, тому не враховуються індивідуальні особливості пацієнта із-за відсутнього зворотнього зв'язку, а дія УФ контролюється практично тривалістю процесу. Виникає необхідність враховувати зміну оптичних характеристик БО в процесі дії опромінення для забезпечення контролю і регулювання інтенсивності опромінення [4]. Саме тому існує потреба у розробці нових удосконалених приладів, які би вирішували цю задачу.

Постановка задачі дослідження та шляхи вирішення проблеми.

Для динамічного опромінення УФ та регулювання процесу з контролем стану шкіри потрібне створення технічної системи, яка б відповідала наступним вимогам. Вона повинна забезпечувати оперативне керування процесом при зміні динаміки стану шкіри під час проведення процедур опромінення. Формування просторового і спектрального розподілу випромінення при проведенні процедури з використанням світлодіодних (СВД) матриць потребує розроблення моделі та конструкції системи динамічного опромінення об'єкту. Такі матриці мають ряд переваг у порівнянні з ртутними лампами. Енергоефективність світлодіодів у п'ять разів вища, ніж в ртутно-кварцових лампах та істотно збільшений корисний термін служби, забезпечується стабільність колірної температури та характеристик і параметрів. Світлодіодні пристрої є малоінерційними, а керування роботою може здійснюватися за допомогою цифрового мікроконтролера, який оперативно забезпечує необхідні зміни режимів згідно розробленого алгоритму.

Розглянемо процес опромінення БО із регулюванням енергії в імпульсному режимі з допомогою СВД-матриці, що розташована в площині випромінювання із заданими координатами. Схема опромінення шкіри на основі СВД-матриці з контролем відбитої енергії від епідермісу, що знаходиться на віддалі h від елементів матриці, наведена на рис. 1.

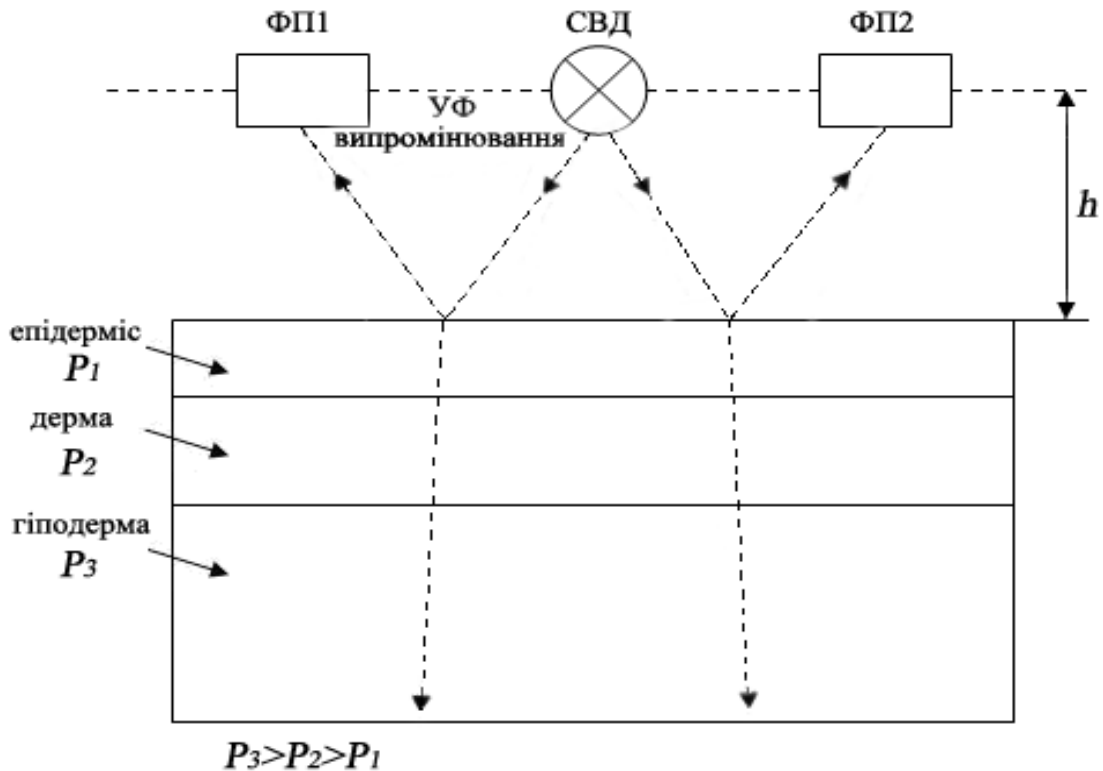


Рисунок 1. Схема опромінення шкіри ультрафіолетом з контролем процесу

В залежності від стану епідермісу, дерми і гіподерми та ураженої поверхні шкіри, змінюються коефіцієнти поглинання опроміненої поверхні та відбитої енергії, що потрапляє на розташовані в площині матриці фотоприймачі ФП1 та ФП2, а зміна величини струму служить для вироблення керуючих команд регулювання енергії випромінювання СВД. Для представлення усіх взаємозв'язків технічної системи динамічного опромінення з можливістю подальшого керування, контролю і корекції параметрів опромінення ультрафіолетом на рис. 2 наведено її блок-схему. Фотоприймачі ФП1, ФП2 являють собою фотодіоди УФ діапазону, принцип дії яких ґрунтується на зміні струму через р-п-перехід при потраплянні світла з довжиною хвилі, що відповідає області власного поглинання напівпровідникового матеріалу. Для технічної системи застосовано фотодіоди німецької компанії “SGlux” типу SG01M-18ISO90, зі спектральною чутливістю в діапазоні до 367 нм [6], а світлодіоди типу UVTOP 335-TO39HS компанії “Sensor Electronic Tehnology” (довжина хвилі 340 нм) [5,6]. Блок керування змінює режими СВД-матриці з врахуванням стану шкіри.

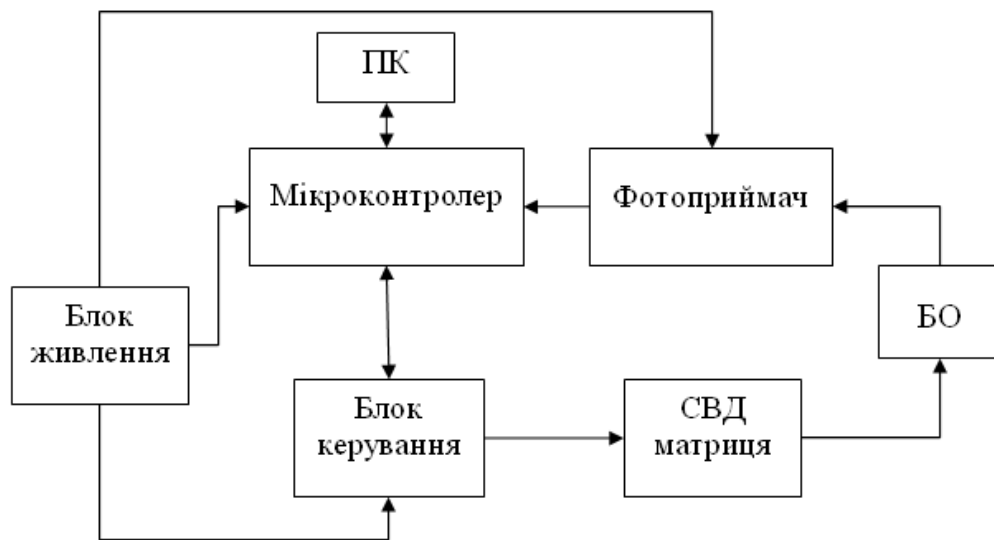


Рисунок 2. Блок-схема системи динамічного опромінення ультрафіолетом

Для функціонування системи необхідна розробка алгоритму роботи мікроконтролера, що забезпечує оперативну зміну режимів опромінення шкіри, в залежності від величини відбитої енергії, яка реєструється ФП. Інформація про величину цієї енергії постійно передається на мікроконтролер, що стає підґрунтям для прийняття рішення щодо початку внесення змін в регулювання та підтримування потрібного режиму роботи.

Визначення енергії, яка поглинається шкірою людини при випромінюванні СВД в заданому діапазоні довжин хвиль (згідно формули Планка для розподілу енергії в залежності від довжини хвилі), розраховуються коефіцієнти поглинання для монохроматичного випромінювання, або знаходять їх у виді залежних функцій для всього діапазону випромінювання [4]. Для потоку, який випромінюється і проходить через шари товщиною x неоднорідного середовища (для захворювань шкіри: пухирці, відшарування епідермісу, зміна параметрів дерми, гіподерми), відбувається ослаблення інтенсивності, внаслідок зміни параметрів середовища в процесі лікування. Інтенсивність потоку визначається для кожного шару наступним чином:

$$I_{\lambda,x} = I_{\lambda,x=0} e^{-k_{\lambda}x}, \quad (1)$$

де $I_{\lambda,x=0}$ – інтенсивність потоку, що випромінюється СВД на поверхні епідермісу; k_{λ} – коефіцієнт ослаблення інтенсивності потоку в шарах біологічного середовища із змінними параметрами (коефіцієнтів

поглинання і розсіювання, нерівномірності щільності дерми і гіподерми, впливу анізотропії тощо).

Конструктивна рамка СВД-матриці, в якій розміщено дев'ять світлодіодів (рис.3), 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. Незначним внесенням затінення та відбиття УФ-А при випромінюванні та формуванні світлового потоку для цієї конструкції рамки будемо нехтувати.

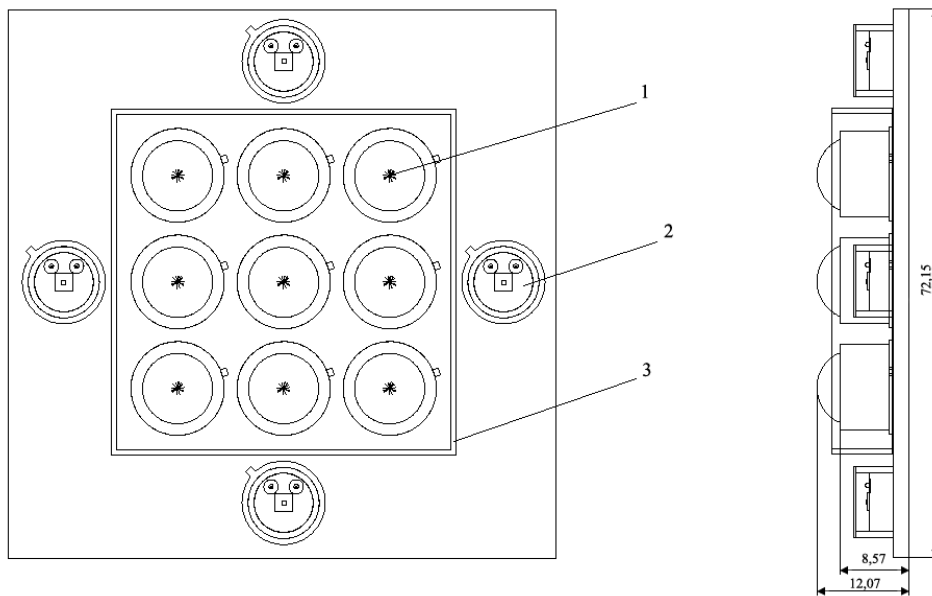


Рисунок 3. Конструкція СВД-матриці: 1 – УФ-світлодіод; 2 – фотодіод; 3 – обмежуюча рамка

Перевірка функціонування окремих блоків потребує імітаційного моделювання. Для розробки віртуальної 3D-моделі-симулятора ультрафіолетом та створеної СВД-матриці, використано метод моделювання в програмному середовищі Trace Pro 6. Проведення імітаційного моделювання дозволяє провести верифікацію моделі. Для цього необхідно розрахувати і уточнити параметри, що максимально наближені до реальних характеристик біологічного об'єкту, де забезпечено необхідне керування СВД-матриці світловими потоками (діапазон довжин хвиль 320-400 нм).

Для кожного окремого шару шкіри визначаються параметри за формулою (2) їх межі змін, які згодом вносяться в підпрограми Bulk Scatter, та Material програмного середовища Trace Pro 6 [7, 8]:

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

де p – щільність шару тканини; θ – коефіцієнт розсіювання; g – коефіцієнт анізотропії.

В режимі повного випромінювання (включені усі СВД матриці) сумарна потужність становить 6,94 мВт/мм². Для автоматичного керування випромінювання ультрафіолету СВД-матриці необхідний перехід та зміна наступного режиму, а тому встановлюється поріг величини потужності відбитого УФ, який для здорової шкіри становить 0,76 мВт/мм². Перевірка проводилась в 5-ти режимах, при яких поступово змінювали кількість випромінюючих УФ СВД. При виключенні кожного послідовного світлодіода СВД-матриці, цей поріг буде зменшуватися на 0.084 мВт/мм². У режимі повного випромінювання УФ (наведений на рис. 4) встановлюється рівномірний розподіл світлового поля на віддалі 10-20 мм від поверхні випромінювання.

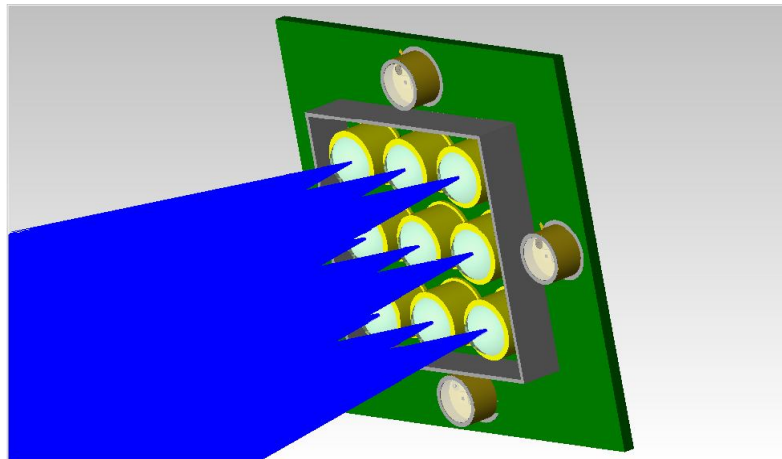


Рисунок 4. Режим повного випромінювання УФ СВД-матрицею

Потужність відбитого УФ при постійній енергії випромінювання СВД-матриці залежить від стану поверхні пошкодженого епідермісу. Наведені на рис. 5 діаграми розподілу потужності відбитого та величини поглинутого шарами шкіри ультрафіолету в програмному середовищі Trace Pro 6 підтвердили правильність підходу до створення технічної

системи динамічного опромінення із можливістю подальшого керування, контролю і корекції параметрів опромінення.

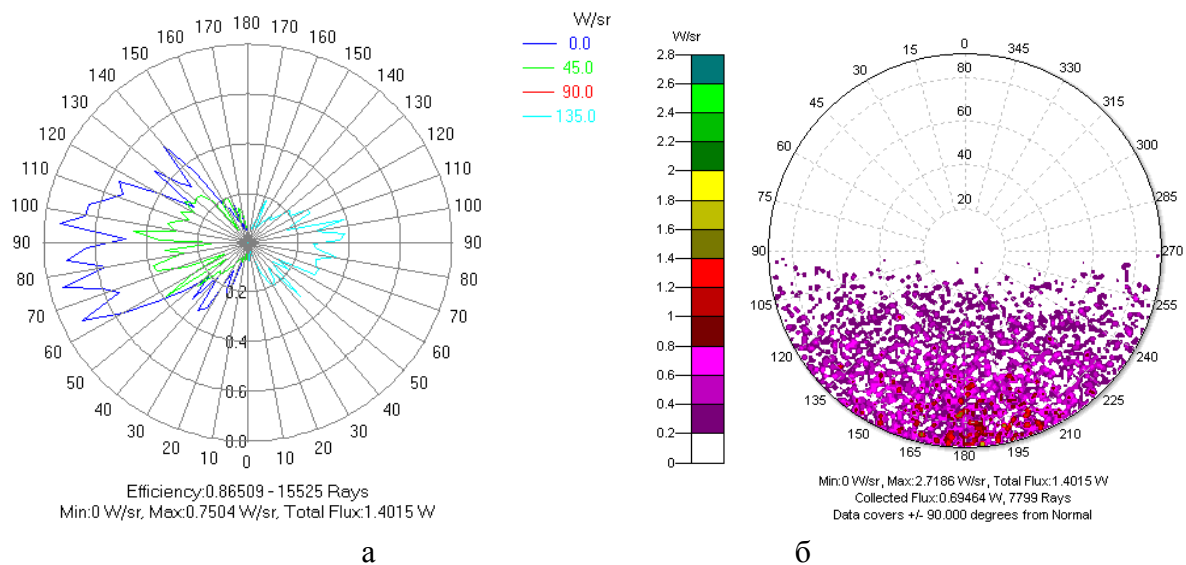


Рисунок 5. Діаграми розподілу: а – розподіл потужності відбитого УФ при повному випромінюванні СВД-матриці; б – розподіл величини поглинутого шарами шкіри УФ

Отримані результати досліджень на змодельованій системі, що складається з СВД-матриці на базі світлодіодів типу UVTOP335-TO39NS (довжина хвилі 340 нм) 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 фотомедичні технології опромінення УФ при захворюваннях псоріазу внаслідок автоматизованого контролю параметрів процесу та його ефективного керування, скорочення часу та кількості процедур.

Висновок. Для забезпечення необхідної динаміки просторового і спектрального розподілу опромінення в процесі фотомедичних технологій вирішена задача моделювання динамічного опромінення з використанням світлодіодних пристроїв у виді матриці. Для її вирішення було вибрано метод моделювання системи та здійснено розробку блок-схеми системи динамічного опромінення ультрафіолетом для лікування псоріазу. Описано основні блоки та взаємозв'язки між ними. Проведено

моделювання пристрою опромінення (СВД-матриці) при зміні режимів за допомогою програмного середовища Trace Pro 6.

Література

1. <http://uk.wikipedia.org/wiki/Псоріаз>. [Електронний ресурс]. – 2014.
2. Круковская Л.П. Ультрафиолетовое излучение – его биологическое воздействие, приемники: Методическое пособие / Л.П. Круковская // СПб: СПбТПУ, 2009. – 26 с.
3. Vjorm L. J. Photobiology: The science of life and light. – 2010. – 695 р.
4. Ткачук Р.А. Моделювання динамічного опромінення для фотомедичних технологій при неперервності контролю параметрів процесу / Ткачук Р.А., Івах М.С., Кузь В.І. // Вісник СумДУ. – 2013. – №2. – С.98-105.
5. UVTOP335 datasheet, Set, inc. <http://www.s-et.com/uvtop.html>. [Електронний ресурс].
6. SG01S–18 datasheet, «SGlux». <http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes/datasheets/sg01s-18.pdf>. [Електронний ресурс].
7. S.R. Mordon. Mathematical modeling of laser lipolysis. / S.R. Mordon, B.Wassmer, J.Pascal. OSYRIS Lasers et Applications 121 Rue Chanzy, 59260 Hellemmes, France. doi:10.1186/1475-925X-7-10.
8. Trace Pro 6.0 Lambda Research Corporation. [Електронний ресурс].

Roman Tkachuk, Bozhena Robulova, Vasyl Kuz

**MODELING OF DYNAMIC IRRADIATION WITH ULTRAVIOLET
LIGHT TREATMENT FOR PSORIASIS**

The article is devoted to the construction of advanced technical equipment for photomedic technology in the treatment of psoriasis and ekzema by pulsed irradiation damaged skin with continuous supervision and control of the process parameters in an interactive and automatic modes. The proposed approach provides the use of selected criteria for operational control of process parameters and improve the efficiency of optoelectronic devices.

Keywords: *radiation, LED-matrix, ultraviolet, skin.*