

Модель динамічного імпульсного опромінення і контролю параметрів процесу фотоферезу

Кузь В. І.

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, 46001, м.Тернопіль, вул.Руська,56, тел.(0352)524181 vasylkuz1992@gmail.com

Проведено аналіз методів дослідження та запропонована модель і сформульовано критерії для оперативного контролю параметрів фотоферезу з метою підвищення ефективності оптико-електронних пристроїв при їх застосуванні.

Широкого розвитку та застосування набуває фотомедицина, особливо, технологія біологічної дії ультрафіолетового випромінювання, яка передбачає опромінення визначеної області біооб'єкта (БО) й зумовлена властивістю молекул речовин, що входять до складу клітин живих організмів, поглинати кванти випромінювання та спричиняти фотохімічні реакції, які змінюють їхню структуру і функції [1-3]. Випромінювання ультрафіолету широко застосовують у медицині для діагностики та лікування різних захворювань шкіри (екзем, псоріазу, фототерапії пухлин тощо). Лікувальна дія залежить від довжини хвилі, інтенсивності, тривалості, локалізації та площі опромінення, а також від виявленої *in vivo* зміни реакції організму. Відомо, що в деяких випадках може спостерігатися сенсibiliзоване пошкодження нуклеїнових кислот, білків та ліпідів, порушення енергетичного обміну клітин за рахунок фотохімічного руйнування окремих компонентів, що в свою чергу потребує оперативного врахування цих змін в організмі [3].

Для розвитку фотомедичних технологій (ФМТ) є потреба удосконалення пристроїв опромінення із впровадженням контролю параметрів процесу й оцінюванням дози впливу на біооб'єкт, наприклад при лікуванні захворювань шкіри із застосуванням фотоферезу (ФФ) [3]. Оцінювання поглинання ультрафіолетом в області А (УФ-А) та впливу на нього складових зразка БО із лейкомасою (ЛМ) заданої товщини, її коефіцієнтом розсіювання та поглинанням, що змінює початкову інтенсивність потоку падаючої хвилі відповідної довжини, здійснюють за законом Бугера-Ламберта-Бера. При цьому слід врахувати додаткове нагрівання при тривалому включенні джерела випромінювання (ДВ). Для покращення проведення ФМТ запропоновано імпульсне опромінення рухомої частини БО, тому виникає завдання розвитку математичних моделей для пошуку нових підходів у виборі ДВ та реалізації на їх основі нових оптико-електронних пристроїв (ОЕП) із неперервним контролем параметрів процесу. Використання напівпровідникових елементів для оптико-електронних пристроїв (ОЕП) динамічного випромінювання, що можуть застосовуватися у фотомедичних технологіях в діапазоні довжин хвиль (313 - 556) нм є перспективним, оскільки вони володіють покращеним коефіцієнтом корисної дії і можливістю регулювання просторового розподілу енергії в малих площинах для різного спектру випромінювання і характеризуються незначною величиною робочої напруги та струму (для типу LED 330DG: 1.5–3.0 В, 3–50 мА), малою інерційністю при роботі, забезпечують надійну роботу в імпульсному режимі, допускають керування випромінюванням в заданому діапазоні енергетичних та часових параметрів.

Розглянемо процес проведення ФФ в імпульсному режимі. Для імпульсного режиму опромінення значення енергії відбитого променя адекватно моделюється функцією, що є розв'язком лінійного неоднорідного (неоднорідність — функція-модель світлового подразнення БО) диференціального рівняння 2-го порядку з постійними коефіцієнтами [4]. Оскільки оцінювання реакції БО здійснюється обчислювальними методами, то представимо її розв'язком диференціального різницевого рівняння:

$$b_2 s_{n-2} + b_1 s_{n-1} + s_n = \xi_n, n = \overline{0, N}, \quad (1)$$

де послідовність ξ_n — математична модель світлового опромінення, значення коефіцієнтів b_1, b_2 та початкові значення енергії відбитої від поверхні s_{-1}, s_{-2} що визначаються параметрами (амплітуд сигналів, площі, тривалості дії тощо). Значення s_n обчислюватимемо за алгоритмом, який впливає з рівняння (1). Якщо праву частину замінити на значення енергії x_n , а коефіцієнти b_1 і b_2 , початкові умови x_{-1}, x_{-2} та значення N вибрати такими, щоби виконати умову

$\arg \min_{\forall \{b_1, b_2, x_{-1}, x_{-2}, N\}} K(s, \hat{s})$, де $K = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_n - \hat{s}_n)^2}$ — критерій вибору, тоді отримана послідовність \hat{s}_n стає близькою до послідовності s_n (2), а її дисперсія є значною. Тоді у просторі змінних стану рівняння (1) набуває такого вигляду [4]:

$$\begin{cases} Y_{n-1} = AY_n + B\varepsilon_n, \\ X_n = CY_n + D\varepsilon_n + \eta_n, \end{cases} \quad (2)$$

де у термінах калманівської фільтрації, Y_n — вектор стану БО, ε_n — вектор входу (параметри опромінення), A — матриця стану БО, B — матриця входу (енергія імпульсного подразнення), C — матриця виходу (відбита енергія від БО), D — матриця впливу параметрів входу на зміну параметрів матриці виходу. За методом калманівської фільтрації при апріорних даних про опромінення БО ξ_n та отримане значення енергії від поверхні опромінення x_n , автокореляційні та взаємкореляційні функції шумів ε_n та η_n визначають матриці коефіцієнтів підсилення K рекурсивною процедурою, за допомогою яких оцінюють змінні стану та їх дисперсії. На кожному кроці процедури розв'язують рівняння Ріккати, складене з використанням так званого оновлюючого шуму:

$$\begin{aligned} Y_{n+1} &= AY_n + B\varepsilon_n + G\varepsilon_n, \\ X_n &= CY_n + D\varepsilon_n + F\varepsilon_n + \eta_n, \\ \hat{Y}_{n+1} &= A\hat{Y}_n + K[X_n - C\hat{Y}_n - D\varepsilon_n] \end{aligned} \quad (3)$$

де Y_n - невідомий вектор змінних стану; відомі: ε_n - параметри опромінення БО; X_n - відібрана (відбита) енергія з енергією шуму та похибкою вимірювання; η_n та ε_n - параметри відбору та змін параметрів поглинання й відбиття опроміненої поверхні, A - матриці стану БО, B - матриця входу, C - виходу, матриці впливу D та кореляції G, F . Для підвищення ефективності лікувального сеансу опромінення УФ-А при ФФ запропоновано використання динамічного випромінювання в імпульсному режимі, яка побудована на основі СВД-матриці з СВД типів L330 (375, 385, 395)R-04, що створює додатковий стимуляційний ефект в об'ємі БО.

Можливості створеної системи керування ОЕП дозволяє оператору спостерігати за проведенням сеансу ФФ та приймати рішення щодо корегування режимів опромінення в інтерактивному чи автоматичному режимі в залежності від оцінювання ефективності процесу.

Висновок. Вдосконалено систему керування динамікою програмованих змін амплітудних, просторових і спектральних характеристик випромінювання для забезпечення роботи фотостимуляційних імпульсних режимів опромінення БО, що забезпечує підвищення ефективності опромінення при ФФ. На основі математичної моделі поширення оптичного випромінювання в БО та відбиття від поразеної поверхні, встановлено вимоги щодо вибору оптимальних параметрів, які визначають характеристики розроблюваного ОЕП й оцінювання ефективності опромінення при ФФ, що враховано при побудові оперативного контролю ефективності опромінення.

Література

1. Круковская Л.П. Ультрафиолетовое излучение - его биологическая воздействие, приемники: Методическое пособие. – СПб.: СПбТПУ, 2009. –26 с.
2. Photobiology: The science of life and light / Lars Olof Vjorm. – 2-nd edition. Lund : Springer. 2010. – 695 p.
3. Івах М.С. Розроблення медичних оптико-електронних пристроїв динамічного випромінювання, контролю та корекції фотоферезу /автореф. дис... канд. техн. наук // – Львів, 2012. – 22с.
4. Ткачук Р.А. Математична модель та оптимальна обробка електроретиносигналу в задачах офтальмодіагностики / Р.А. Ткачук // Вісник ТДТУ. – №2. –Т14. –2009. – С. 142–149.