

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В СВІЛЛОТЕХНІЧНИХ УСТАНОВКАХ

Червінський Л. С., Луцак Я. М., Шевченко Ю. В.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*На основі положень квантової біофізики викладено методичний підхід до керування енергетичною дією монохроматичного випромінювання світлодіодів на біологічні об'єкти в процесі отримання їх продуктивності.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що світлодіоди випромінюють монохроматичне (однієї довжини хвилі) когерентне (однієї фази коливання) випромінювання. Фотони такого випромінювання взаємодіють лише з електронами сприймаючих структур, що мають відповідні енергетичні рівні збудження та можуть спричинити резонансний ефект.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Фотобіологічні дослідження останніх років надають можливість реалізувати пояснення механізму дії з позицій квантово-механічної теорії.

**Мета дослідження.** Теоретичне обґрунтування принципів керування енергетичною дією світлодіодного випромінювання на біологічні об'єкти через визначення шляхів проникання та механізму дії оптичного випромінювання.

**Основні матеріали дослідження.** Встановлено, що у залежності від енергії кванту (фотону) оптичного випромінювання ( $h\nu$ ), що діє на біологічний об'єкт, відбувається його поглинання (взаємодія) з електроном, який знаходиться на відповідному за енергією ("дозволеному") енергетичному рівні атома чи молекули сприймаючої структури об'єкту: кванти великої енергії поглинаються атомарними електронами, менш енергетичні фотони - поглинаються електронно-енергетичними оболонками молекул і т.п.

Енергетичні рівні поділяють на синглетні і триплетні, стабільні і метастабільні і т.п. [1 - 4]. Згідно із законом квантової еквівалентності Ейнштейна число реагуючих молекул  $M$  пропорційно квантовому виходу фотореакції  $\eta$

$$M = \eta n_{\phi}, \quad (1)$$

де  $n_{\phi}$  - кількість поглинутих фотонів (квантів) випромінювання,  
 $\eta$  - квантовий вихід фотореакції.

Процес поглинання та перетворення енергії фотонів може проходити в один або декілька етапів (ступенів).

Наведемо приклад проходження одноступінчастої фотохімічної реакції. Відомо, що квантовий вихід фотохімічної реакції визначається через відношення швидкості проходження хімічної реакції з конкретного енергетичного рівня до суми всіх швидкостей можливих дезактивацій енергії даного рівня [3,8]. Наприклад, квантовий вихід фотохімічної реакції із першого збудженого синглетного енергетичного рівня можна визначити із виразу:

$$\chi_{chem}^S = \frac{1/\tau_{chem}^S}{1/\tau_{chem}^S + 1/\tau_s^* + 1/\tau_{isc}^S + 1/\tau_{fl}^S + \sigma_2^S \phi} \quad (2)$$

а квантовий вихід фотохімічної реакції із першого триплетного енергетичного рівня можна визначити за формулою:

$$\chi_{chem}^T = \frac{1/\tau_{chem}^T}{1/\tau_{chem}^T + 1/\tau_T^* + 1/\tau_{isc}^T + 1/\tau_{fl}^T + \sigma_2^T \phi} \cdot \psi_{isc} \quad (3)$$

де  $\chi_{chem}^S$ ,  $\chi_{chem}^T$  відповідно квантові виходи фотореакцій із синглетного і триплетного енергетичних рівнів збудження молекул;

$1/\tau_{chem}^S$ ,  $1/\tau_s^*$ ,  $1/\tau_{isc}^S$ ,  $1/\tau_{fl}^S$  - константи швидкостей дезактивації енергії збудження із синглетного і триплетного рівнів, відповідно, через хімічну реакцію, темнову релаксацію, інтеркомбінаційну конверсію, флуоресценцію;

$\sigma_2 \phi$  - енергетична характеристика кількості молекул і тривалості їх резонансного збудження на вищій (другий) енергетичний рівень.

Аналіз даних виразів показує, що чим більша тривалість і інтенсивність світлодіодного випромінювання тим менша ймовірність у опромінюємих молекул вступити у фотохімічну реакцію після первинного (збуджуючого) імпульсу випромінювання і більша ймовірність перейти на вищий енергетичний рівень і отриманням іншої фотохімічної реакції. Тобто, регулюючи інтенсивність і тривалість опромінювання можна регулювати фотохімічні процеси в опромінюваних біологічних об'єктах.

Правомірність даних викладок можуть підтвердити експериментальні дослідження люмінесценції опромінюваних об'єктів.

Оскільки в процесі опромінювання молекул високоорганізованих біологічних структур, які характеризуються складною будовою, значна ймовірність відновлення початкового стану збуджених молекул через випромінювання поглинутої енергії у вигляді фотонів люмінесценції, енергія яких дорівнює повній енергії, затраченій на фотореактивацію, то кількість фотореактивованих молекул біооб'єкта можна визначити по інтенсивності потоку цих фотонів (по інтенсивності флуоресценції, або фосфоресценції) або в загальному випадку – по інтенсивності, спектру і тривалості люмінесценції [1].

Так для випадку, коли випромінювальна дезактивація високоенергетичного збудженого стану ( $A^{**}$ ) здійснюється за час значно менший, ніж періоди життя проміжних станів (протилежний випадок - поки що не інформативний) вирази для кількісного визначення випромінювання люмінесценції при ступінчатому або кооперативному механізмі збудження мають наступний вигляд:

- при ступінчатому збудженні молекул, процес зміни інтенсивності люмінесценції, після припинення дії реактивуєного збудження, буде відповідати експоненціальному закону:

$$n^{**}(t) = n_0^{**} \cdot e^{-t/\tau^{**}} \quad (4)$$

- залежність для визначення інтенсивності люмінесценції у випадку кооперативного механізму фотореактивації має вигляд:

$$n^{**}(t) = n^{**} \frac{e^{-2t/\tau^*}}{[1 - 2\alpha\tau^* n^* (1 - e^{-t/\tau^*})]^2} \quad (5)$$

З виразу 5 видно, що при кооперативному механізмі процес реактивації молекул другого збудженого стану є складною функцією від тривалості знаходження молекул у першому збудженому стані  $\tau^*$  та кількості (концентрації) молекул у цьому стані,  $n^*$ .

Одержати практичне підтвердження наведеного пояснення механізму фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектру оптичного випромінювання можна експериментальним шляхом за наступною методикою [3]:

- після первинного акту опромінення досліджуваного біологічного об'єкту короткохвильовим оптичним випромінюванням (випромінювання, що спричиняє очікувану біологічну дію) заміряти спектр його вимушеної люмінесценції,

- послідовно за першим опроміненням, вчинити керований акт опромінення об'єкту більш довгохвильовим випромінюванням, змінюючи час, спектр і інтенсивність цього реактивуєного випромінювання, і знову виміряти характеристики спектру люмінесценції,

- у випадку реалізації двофотонного процесу поглинання, в спектрі люмінесценції буде спостерігатися зсув максимуму інтенсивності випромінювання у більш короткохвильову область (порівняно із спектром люмінесценції від первинного опромінювання).

Варто зазначити, що основна складність проведення даних експериментів полягає в необхідності застосування джерел опромінення, що працюють як в безперервному так і в імпульсному режимі, причому, тривалість імпульсів повинна бути сумісною із тривалістю міжмолекулярних процесів (див. Рис.1).

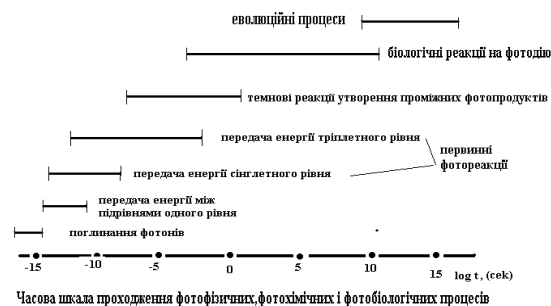


Рисунок 1 - Характеристика тривалості проходження процесів

Із рис. 1 видно, що іншою важливою особливістю проведення даного дослідження є необхідність у застосуванні сучасних швидко реєструючих спектрофотометрів із високою чутливістю.

**Висновки.** Узагальнюючи викладене, можна констатувати, що при відомій будові органічних структур у біологічних об'єктах і визначених їх оптичних характеристиках: спектрах поглинання, відбивання, люмінесценції і т.п. із достатнім ступенем точності можна кількісно спрогнозувати вплив на даний біологічний об'єкт конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання.

#### Список використаних джерел

1. Овсянкин В. В. Кооперативная сенсбилизация фотофизических и фотохимических процессов. / В. В. Овсянкин, П. П. Феофилов - В кн.: Молекулярная фотоника. - Ленинград: Наука, 1970. - С.86-105
2. Посудин Ю. И. Применение оптических стимулов в биологических исследованиях. // Ю. И. Посудин, Л. С. Червинский. Сб.тр. УСХА. // Методы и средства повышения надежности силового электрооборудования в условиях с. х. производства / - К.: 1984. - С. 62-70.

#### Анотация

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Червинский Л. С., Луцак Я. М., Шевченко Ю. В.

*На основе положений квантовой биофизики изложены методический подход к управлению энергетической действием монохроматического излучения светодиодов на биологические объекты в процессе получения их производительности.*

#### Abstract

### APPLICATION FEATURES OF LED LIGHT SOURCES IN LIGHTING INSTALLATIONS

L. Chervinsky, Y. Lutsyuk, Y. Shevchenko

*On the basis of quantum biophysics described methodical approach to energy management action monochromatic LED radiation on biological objects in the process of obtaining their productivity.*