

МЕТОД УЗГОДЖЕННЯ СПЕКТРУ ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОДІОДНОГО ДЖЕРЕЛА ЗІ СПЕКТРОМ ФОТОСИНТЕЗНОЇ ДІЇ

Червінський Л. С., Луцак Я. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Запропоновано метод підбору світлодіодних джерел оптичного випромінювання для опромінення тепличних рослин за узгодженням із усередненим спектром фотосинтезної дії.

Постановка проблеми. У зв'язку з сучасною проблемою - необхідністю розширення площ під світлокультуру рослин значно збільшується потреба в джерелах випромінювання, що мають високу біологічну фотосинтезну ефективність.

Для виконання цього завдання необхідний випуск спеціальних рослинницьких ламп, що мають не тільки високий світловий ККД, а й найбільш ефективний для рослин спектральний склад. Висока біологічна і енергетична ефективність джерел штучного світла в кінцевому рахунку визначить економічний ефект світлокультури рослин і надасть можливість більш широкого їх використання в тепличних господарствах нашої країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багаторічними дослідженнями фотосинтезної дії оптичного випромінювання вченими різних країн світу визначено усереднений спектр фотосинтезу. Його покладено в основу при виборі джерел для оптичного опромінення при вирощуванні рослин в спорудах захищеного ґрунту.

Мета статті. Запропонувати методику розробки ефективного джерела фотосинтезного випромінювання на основі світлодіодів різного спектру шляхом підбору їх спектрів випромінювання у відповідності до спектру фотосинтезної дії.

Основні матеріали дослідження. Загальноприйнятним усередненим спектром фотосинтезної дії на рослин серед науковців всього світу прийнято спектр, приведений на рис. 1

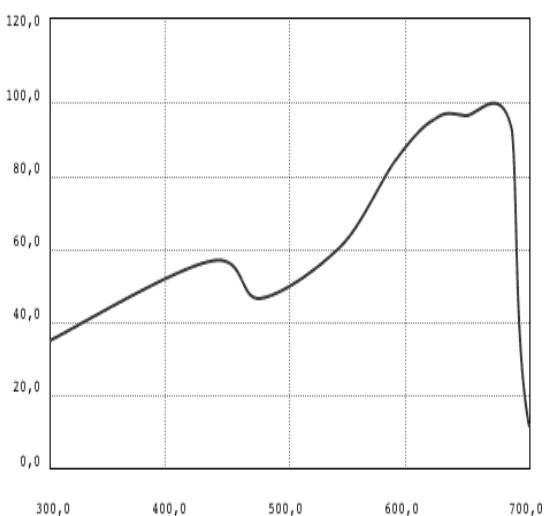


Рисунок 1 – Усереднений спектр дії фотосинтезу у зелених рослин [McStee, 1972]

Для вирішення поставленої нами задачі необхідно математично описати дану криву.

Якщо дану залежність апроксимувати, то залежність може бути представлена у вигляді рівняння:

$$g(\lambda) = 1,28 \cdot \cos(0,005 \cdot \lambda)^2 \cos(0,63 + \sin(2,21 \cdot \sin(0,009 \cdot \lambda + 0,45 \cdot \sin(0,09 \cdot \lambda)) \times \cos(0,63 + 1,66 \cdot \sin(0,009 \cdot \lambda)))^2 \times \cos(0,63\lambda + 1,66 \cdot \sin(0,009 \lambda)) \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання в нм (380 нм до 700 нм)

$g(\lambda)$ – спектральна ефективність фотосинтезу.

Штучні джерела оптичного випромінювання для фотосинтезу необхідно створювати такими, щоб вони мали аналогічний спектр випромінювання чи близький по формі до усередненого спектру дії.

Визначимо основні оптимізаційні вимоги до джерел фотосинтезного випромінювання. Для ефективного використання штучного джерела повинно виконуватися дві основні умови:

1. Частка збігу спектрального розподілу випромінювання джерела світла із функцією заснованою на спектрі дії фотосинтезу повинна наближатись до одиниці.

2. Реальна енергетична потужність світлодіодного світельника (інтенсивність опромінення) повинна знаходитися в діапазоні від 15 до 100 Вт/м² ФАР.

Виходячи з вище наведеного, можна визначити фотосинтезну ефективність опромінювача (світельника) за виразом 2.

$$f_{\text{опр}} = \int_{\lambda=380}^{\lambda=750} \phi(\lambda) \cdot K(\lambda)_{\phi} \cdot d(\lambda) / \int_{\lambda=380}^{\lambda=750} g(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

де $f_{\text{опр}}$ – ефективність світельника – опромінювача,

$\int_{\lambda=380}^{\lambda=750} \phi(\lambda) \cdot K(\lambda)_{\phi} \cdot d(\lambda)$ – сумарне значення спектрального розподілу енергії джерела оптичного випромінювання у відносних одиницях в спектральному діапазоні ФАР,

$\int_{\lambda=380}^{\lambda=750} g(\lambda) \cdot d(\lambda)$ – сумарне значення спектрального розподілу функції заснованої на спектрі дії фотосинтезу в відносних одиницях.

З виразу (2) видно що, чим вище співпадання спектру випромінювання джерела із спектром фотосин-

тезної дії тим ефективніше джерело світла для фотосинтезу, а величина коефіцієнту $f_{\text{опр}}$ ближче до одиниці. Спробуємо створити ефективний опромінювач на основі світлодіодних джерел оптичного випромінювання

Сучасні світлодіоди різних кольорів світіння мають діапазон випромінювання від 370 до 1000 нм.

На їх основі можна створювати системи освітлення з керованим спектральним складом випромінювання в області ФАР для рослинництва в захищеному ґрунті. Для мінімізації кількості кольорів світлодіодів визначимо ефективний спектр штучного джерела світла.

Розглянемо різні світлодіоди і математично апроксимуємо їх спектральні характеристики. На рис.2. показано спектральні характеристики випромінювання найбільш поширених світлодіодних випромінювачів: синього, зеленого і червоного:

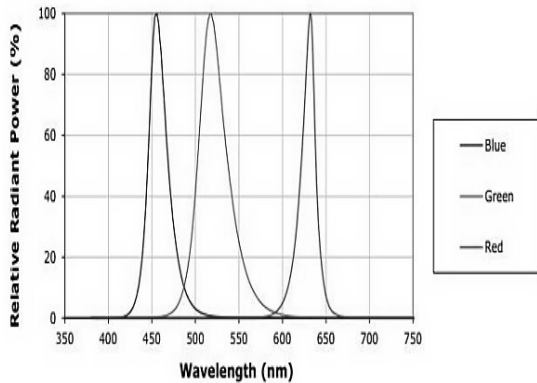


Рисунок 2 – Спектри випромінювання основних світлодіодів

Після математичної обробки кривих отримали наступні функції розподілу спектральної щільності випромінювання:

- для червоного світлодіода отримана функція спектральної щільності випромінювання має вигляд (похибка апроксимації 0,044):

$$\varphi_{\text{чере}}(\lambda) = 0,000492 + \frac{2,12 \times \cos(107\lambda) - 0,0322\lambda}{1,26 \times 10^3 \lambda + 133 \cos(6,11 - 0,115\lambda) - 3,95 \times 10^5 - \lambda^2} - 2,16 \times 10^{-6} \lambda \quad (3)$$

- для синього світлодіода вираз має вигляд (похибка апроксимації 0,031):

$$\varphi_{\text{син}}(\lambda) = \frac{2,19 \times 10^{-8} \lambda^4}{7,74 \times 10^8 \lambda + 2,1 \times 10^4 \lambda^2 + 0,0159 \lambda^4 - 6,58 \times 10^6 \lambda - 29,8 \lambda^3} - 6,02 \times 10^{-5} \quad (4)$$

- для зеленого світлодіода рівняння кривої має вигляд (похибка апроксимації 0,054)

$$\varphi_{\text{зел}}(\lambda) = \frac{151 + 180 \sin(-0,0318\lambda)}{2,71 \times 10^5 + \lambda^2 - 1,04 \times 10^3 \lambda} - 0,00364 - 0,0048 \sin(0,032\lambda) \quad (5)$$

- для світлодіодів з короткохвильовим фіолетовим випромінюванням (див.рис.3) маємо наступне рівняння апроксимації кривої (похибка апроксимації 0,024)

$$\varphi_{\text{фіол}}(\lambda) = \frac{\lambda}{1,76 \times 10^9 \lambda + 6,63 \times 10^4 \lambda^2 + 0,00693 \lambda^4 - 1,76 \times 10^7 \lambda - 111 \lambda^3} \quad (6)$$

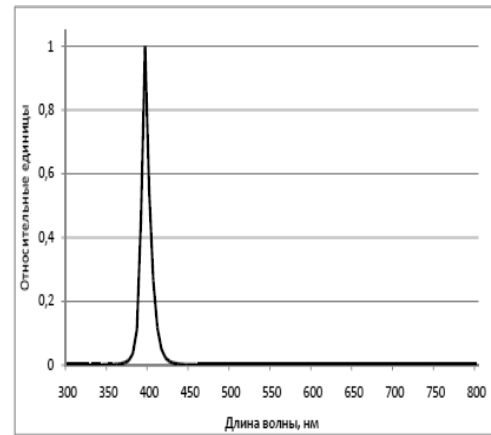


Рисунок 3 – Спектр випромінювання фіолетового світлодіода

- для оранжевого світлодіода спектральна характеристика випромінювання приведена на (рис.4).

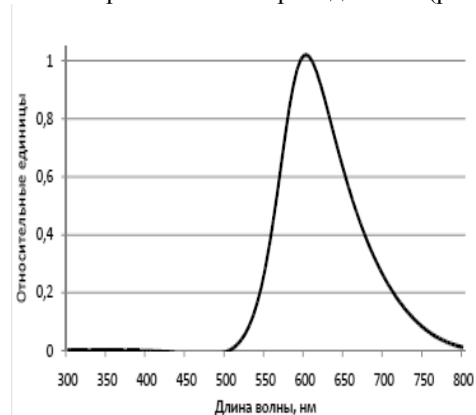


Рисунок 4 – Спектр випромінювання оранжевого світлодіода

Рівняння апроксимаційної залежності випромінювання від довжини хвилі (похибка апроксимації 0,041) має вигляд:

$$\varphi_{\text{оранж}}(\lambda) = \frac{2,1\lambda \cos(2,4 + 0,0063\lambda)^3 \cos(1,5 + 0,0063\lambda)}{2,66 \times 10^3 - 2,25 \times 10^3 \cos(5,68 + 0,0118\lambda)} -$$

$$\frac{4,59 \cos(2,4 + 0,0063\lambda)^2 \cos(1,53 + 0,0063\lambda)}{2,66 \times 10^3 - 2,25 \times 10^3 \cos(5,68 + 0,0118\lambda)} \quad (7)$$

Змоделюємо фотосинтез не джерело оптичного випромінювання побудоване на основі фіолетового, синього, зеленого і червоного світлодіодів і порівняємо його сумарний спектр із спектром фотосинтезу (рис.5).

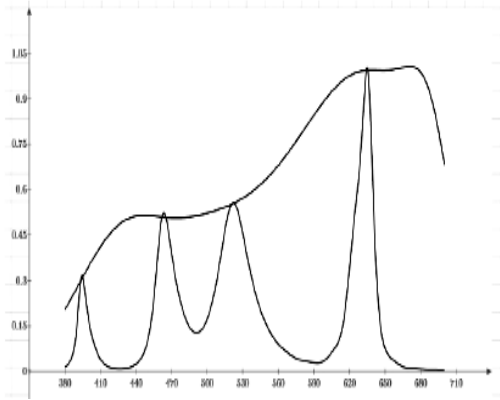


Рисунок 5 – Узгодження спектру комбінованого світлодіодного світильника і спектра фотосинтезної дії

Математична модель фотосинтезної ефективності сумарного спектру світлодіодного джерела випромінювання, побудованого на комбінації вищезазначених світлодіодів має наступний вигляд:

$$\varphi_{\text{комб}}(\lambda) = K_{\text{черв}} \times \varphi_{\text{черв}}(\lambda) + K_{\text{син}} \times \varphi_{\text{син}}(\lambda) + K_{\text{зел}} \times \varphi_{\text{зел}}(\lambda) + K_{\text{фіол}} \times \varphi_{\text{фіол}}(\lambda) \quad (8)$$

де K - відносні коефіцієнти максимальної фотосинтезної ефективності для кожного світлодіода становлять, відповідно:

$$K_{\text{черв}} = g_{\text{черв}} \max(\lambda) = 1, \quad K_{\text{син}} = g_{\text{син}} \max(\lambda) = 0,511$$

$$K_{\text{зел}} = g_{\text{зел}} \max(\lambda) = 0,55 \quad K_{\text{фіол}} = g_{\text{фіол}} \max(\lambda) = 0,31,$$

Процентне співвідношення співпаданя випромінювання від комбінованого світильника із світлодіодів із спектром фотосинтезної чутливості усередненого листа рослини (фотосинтезний к.к.д. даного світильника-опромінювача) визначимо за виразом

$$\eta_{\text{комб}} = \frac{\int_{\lambda=380}^{\lambda=750} \varphi_{\text{комб}}(\lambda) d(\lambda)}{\int_{\lambda=380}^{\lambda=750} \varphi_{\text{фотосин}}(\lambda) d(\lambda)} = \frac{125,02}{216,687} = 0,577, \quad (9)$$

Вираз (9) показує, що побудова штучних фотосинтезних джерел на основі світлодіодних випромінювачів є перспективним шляхом створення високо-

ефективних джерел для освітлення рослин в спорудах захищеного ґрунту.

Висновки. Підсумовуючи вище приведене, можна зробити наступні висновки:

1. Сучасна база промислового виробництва світлодіодних джерел оптичного випромінювання дозволяє розробити фотосинтезний світильник (опромінювач) із спектром випромінювання максимально наближеним до усередненої фотосинтезної кривої спектру поглинання усередненого листа рослини.

2. Опромінювач, побудований на основі комплексу із світлодіодів із різним спектральним складом випромінювання дозволяє змінювати в часі і просторі спектральний склад випромінювання, шляхом комбінації ввімкнених світлодіодів, що дає можливість встановлювати рекомендовану ефективну інтенсивність і спектральний склад випромінювання протягом зростання рослини у відповідності до фази її розвитку.

Список використаних джерел

1. Тихомиров А. А. Светокультура растений / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский – Новосибирск.: Издательство СО РАН, 2000. – 321 с.
2. Червінський Л. С. Електричне освітлення та опромінення / Л. С. Червінський, Л. О. Сторожук. – К.: Видавництво "Аграр Медіа Груп", 2013. – 214 с.
3. Червінський Л. С. Метод визначення просторової опроміненості / С. М. Усенко, Т. С. Книжка // Технічна електродинаміка, 2016. - Вип. 5. - С.88-90.
4. The Lighting Handbook/ Zumtobel Lighting GmbH, 4th edition, revised and updated: October 2013, AUSTRIA - 259 p.

Анотация

МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СО СПЕКТРОМ ФОТОСИНТЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Червинский Л. С., Луцак Я. М.

Предложен метод подбора светодиодных источников оптического излучения для облучения тепличных растений по согласованию с усредненным спектром фотосинтезного действия.

Abstract

METHOD OF RECONCILIATION LED EMISSION SPECTRUM WITH THE SPECTRUM SOURCES OF FOTOSYNTESIS

L. Chervinsky, J. Lutsak

The method of selection LED sources of optical radiation exposure for greenhouse plants averaged in agreement with the action spectrum of photosynthesis.