

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ФОТОСИНТЕЗНОЇ ОПРОМІНЕНОСТІ

Л.С.Червінський, докт.техн.наук, С.М.Усенко, канд.техн.наук, Т.С.Книжка, канд.техн.наук, Я.М.Луцак
 Національний університет біоресурсів і природокористування України,
 вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна,
 e-mail: ichervinsky@gmail.com

Обґрунтовано метод розрахунку фотосинтезної опроміненості на рівні листа рослини, в якому враховується додаткове випромінювання, відбите поверхнями стін і стелі. Метод забезпечує визначення фактичної фотосинтезної опроміненості у виробничому приміщенні теплиці із візуалізацією просторового розподілу опроміненості у горизонтальній площині на рівні листа рослини в процесі її розвитку. Бібл. 6.

Ключові слова: теплиця, опроміненість, розрахунок, витрати електроенергії.

Низький рівень природної освітленості в теплицях і короткий зимовий день потребує додаткового опромінення та штучного підтримання температурного режиму і вологості за рахунок значних витрат невідновлюваної енергії. Відомо, що біля половини собівартості продукції припадає на електроенергію. Тому державного рівня набувають питання збереження електроенергії, яка витрачається на освітлення приміщень та опромінення рослин. Одним із шляхів зниження витрат електроенергії на світлокультуру рослин є вдосконалення методів розрахунку фотосинтезного опромінення з подальшим автоматичним підтриманням ефективного рівня опроміненості.

При розрахунку освітленості та опроміненості у виробничих приміщеннях у нашій країні найбільш поширеними є методи коефіцієнта використання світлового потоку (КВСП), точковий метод (ТМ) та метод питомої потужності (МПП). Ці апробовані методи мають ряд недоліків. Метод КВСП дає опосередковане значення освітленості (опроміненості) лише на горизонтальній робочій поверхні; ТМ не враховує відбиття потоку оптичного випромінювання від стін і стелі; МПП використовується для наближених розрахунків [1, 3].

Існують більш досконалі сучасні методи розрахунку освітлення в програмних середовищах DIALux, Relux Professional, Lightscape, Calculux і EUROPIC [5, 6]. Загальним недоліком даних комп'ютерних програм є відсутність урахування додаткового випромінювання, відбитого та розсіяного у просторі поверхнями стін і стелі.

Тому в даній роботі вирішується задача створення універсального методу, який дозволяє підвищити точність визначення фактичної фотосинтезної опроміненості на рівні листа рослин з урахуванням додаткового випромінювання, відбитого та розсіяного у просторі поверхнями стін і стелі.

Універсальний метод розрахунку опроміненості. Пропонується розглядати стіни і стелю як додаткові дифузно випромінюючі джерела нерівномірної яскравості. Тоді опроміненість на будь-якій точці горизонтальної розрахункової поверхні можна визначити як суму опроміненостей, утворених прямим випромінюванням світильників і відбитим від стін і стелі за виразом

$$E(x,y) = E_{cv}(x,y) + E_{cmn}(x,y) + E_{cmel}(x,y), \quad (1)$$

де E_{cv} – опроміненість, утворена прямим фотосинтезним потоком світильників; E_{cmn} – опроміненість, утворена відбитим від стін фотосинтезним потоком; E_{cmel} – опроміненість, утворена фотосинтезним потоком, відбитим від стелі між світильниками.

Розглядаючи світильники як точкові джерела, опроміненість у точці на розрахунковій поверхні, яка утворена прямим випромінюванням світильників, розрахуємо за відомою формулою [3]

$$E = \frac{F}{1000} \cdot \sum_n \frac{I_{\alpha_n} \cos^3 \alpha_n}{H_p^2}, \quad (2)$$

де F – фотосинтезний потік лампи, фіт (фіт – 1 Вт потоку з довжиною хвилі 680 нанометрів) [3]; I_{α} – сила фотосинтезного випромінювання світильника в напрямку опромінюваної точки на поверхні листа рослини, фіт/стерадіан; α – кут між перпендикулярною віссю світильника і лінією, яка з'єднує світловий центр світильника з точкою на опромінюваній поверхні, град; H_p – перпендикулярна відстань від світильників до розрахункової поверхні, м.

Визначивши $\cos \alpha_n$ через координати розташування опромінюваної точки та n -го світильника, отримаємо

$$E_{cv}(x,y) = \frac{F}{1000} \sum_n \left[\frac{Z_n \cdot I_{\alpha_n}}{\sqrt{Z_n^2 + (x - X_n)^2 + (y - Y_n)^2}^3} \cdot \left[\arccos \left[\frac{Z_n}{\sqrt{Z_n^2 + (x - X_n)^2 + (y - Y_n)^2}} \right] \right] \right], \quad (3)$$

де X_n, Y_n, Z_n – координати розташування n -го світильника у вибраній системі координат; x, y – поточні горизонтальні координати опромінюваної точки на поверхні листка рослини.

Для того, щоб представити стіну, як дифузне джерело відбитого випромінювання, визначимо пряму опроміненість на поверхні стіни – $E_c(x, z)$ від прямого світла за аналогічно побудованою формулою

$$E_c(x, z) = \left[\sum_n \left[\frac{Y_n}{\sqrt{(z - Z_n)^2 + (x - X_n)^2 + Y_n^2}} \right]^3 \frac{F \cdot I_{\alpha_n}}{Y_n^2 \cdot 1000} \left[\frac{\pi}{2} - \arccos \left[\frac{Y_n}{\sqrt{(z - Z_n)^2 + (x - X_n)^2 + Y_n^2}} \right] \right] \right] \quad (4)$$

При рівномірному розташуванні світильників картина ізофiт на 75% поверхні стіни складається з ділянок, які повторюються з кроком L , рівним відстані між світильниками.

Приймаючи, що яскравість стіни складається з m -ряду горизонтальних, рівномірно-яскравих прямокутних зон, опроміненість $E_m(x, y)$ від кожної з них у точці на горизонтальній розрахунковій поверхні можна визначити, використовуючи вираз Хігбі-Левіна [4], за формулою

$$E_m(x, y) = \frac{E_{cm} R_c}{\pi} \int_{h_m}^{h_{m+1}} \int_0^{5L} \frac{z \cdot \sqrt{(X-x)^2 + y^2}}{[(X-x)^2 + y^2 + z^2]^2} dz dx, \quad (5)$$

де E_{cm} – середня опроміненість m -ї прямокутної зони на поверхні стіни, фiт/м²; R_c – коефіцієнт відбиття поверхні стіни, L – відстань між світильниками, м; h_m – ширина (висота) m_i горизонтальної світлової зони стіни, що розглядається як світильник.

Тоді опроміненість на горизонтальній розрахунковій поверхні, утворену відбитим від стіни фотосинтезним потоком, можна визначити за формулою

$$E_{c\text{стiни}}(x, y) = \sum_m E_m(x, y). \quad (6)$$

У загальному випадку опроміненість та коефіцієнт відбиття стіни є функціями координат $E_c(x, z)$, $R_c(x, z)$. Тому опроміненість розрахункової поверхні, утворену потоком від поверхні стіни, розрахуємо за формулою

$$E_{c\text{стiни}}(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^H \int_0^{5L} \frac{R_c(x, z) E_c(x, z) z \sqrt{(X-x)^2 + y^2}}{[(X-x)^2 + y^2 + z^2]^2} dz dx, \quad (7)$$

де H – відстань від стелі до розрахункової поверхні, м; $5L$ – довжина ділянки горизонтальної поверхні, на якій розраховується опроміненість від стіни, м.

Опроміненість розрахункової поверхні на рівні листа рослини, утворену відбитим від стелі випромінюванням, розрахуємо аналогічно:

$$E_{c\text{стiни}}(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^B \int_0^{5L} \frac{R_{cm}(x, y) E_{cm}(x, z) H^2}{[(X-x)^2 + (Y-y)^2 + H^2]^2} dx dy, \quad (8)$$

де $R_{cm}(x, y)$ – коефіцієнт відбиття фотосинтезного потоку від стелі; B – ширина приміщення, м; $5L$ – довжина розрахункової ділянки, м.

На основі вищенаведених виразів узагальнююча фактична опроміненість на горизонтальному рівні листа рослини складає суму опроміненостей, визначених за виразом (1), де підсумовуються результати виразів (3), (7) та (8). Причому відсоткове співвідношення складових виразу (1) залежить від фактичних значень коефіцієнтів відбиття стін та стелі і в реальних теплицях може змінюватися у достатньо широких межах. Метод розрахунку фотосинтезної опроміненості на рівні листа рослини дозволяє зменшити витрати електроенергії за рахунок використання джерел меншої потужності на 15...40 %.

Висновки.

1. Запропонований метод дозволяє визначити реальне значення горизонтальної опроміненості на заданому рівні з урахуванням особливостей коефіцієнта відбивання фотосинтезного випромінювання поверхнями бічних стін і стелі приміщення теплиці як функції просторових координат.

2. Використання даного методу в порівнянні з відомими методами визначення опроміненості на заданій поверхні при проектуванні опромінювальних систем забезпечить зменшення витрат електроенергії за рахунок використання джерел меншої потужності на 15...40 % та надасть можливість більш ефективного автоматичного регулювання заданого рівня фотосинтезної опроміненості в процесі вирощування рослин.

1. Вергунов В.А., Вергунова И.Н., Шкрабак В.С. Основы математического моделирования: Для анализа и прогноза агрономических процессов. – СПб.: СПбГАУ, 2003. – 219 с.
2. Дехоф П., Зембоорт Д. Автоматизированное проектирование внутреннего освещения // Светотехника. – 1994. – № 2. – С. 3–5.
3. Эмбрехт Дж. Аналитическое решение простой задачи искусственного освещения для тестирования программ расчета освещения // Светотехника. – 1998. – № 5. – С. 15–18.
4. Крюгер Х., Фляйте С., Ширц К. Новые подходы к совместному проектированию естественного и искусственного света // Светотехника. – 1999. – № 3. – С. 15–17.
5. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. – 321 с.
6. Червінський Л.С., Сторожук Л.О. Електричне освітлення та опромінення. – К.: Видавництво «Аграр Медіа Груп», 2011. – 214 с.

УДК 631.22: 628.8

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОТОСИНТЕЗНОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ

Л. Червинский, С. Усенко, Т. Книжка, Я. Луцак
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 15, Киев, 03041, Украина.
e-mail: ichervinsky@gmail.com

Обоснован метод расчета фотосинтезной облученности на уровне листа растения, в котором учитывается дополнительное излучение, отраженное поверхностями стен и потолка. Приведен пример использования данного метода для определения фактической фотосинтезной облученности в производственном помещении теплицы с рисунками, показывающими пространственное распределение облученности в горизонтальной плоскости на уровне листа растения. Библиография: 6.

Ключевые слова: теплица, облученность, расчет, расход электроэнергии.

THE METHOD FOR DETERMINING THE SPATIAL FOTOSINTEZNOY IRRADIATION

L. Chervinsky, S. Usenko, T. Knizhka, Ya. Lutsak
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroev oborony str, 15, Kyiv, 03041, Ukraine.
e-mail: ichervinsky@gmail.com

Based methods of calculation fotosintesis irradiance at the level of plant leaves, which takes into account additional radiation reflected by the surface of the walls and ceiling. An example of using this method to determine the actual fotosinteznoi irradiation in greenhouses workplace with pictures that reflect the spatial distribution of the irradiance in the horizontal plane at the level of the leaves of plants. References 6.

Keywords: greenhouses, irradiation, payment, power consumption.

1. Vergunov V., Voronov I., Shkrabak V. Basics of mathematical modeling: to analyze and forecast agronomich processes. – St. Petersburg: SPbGAU, 2003. – 219 p. (Rus)
2. Dehof P., Zembort D. Computer-aided design of indoor lighting // Svetotekhnika. – 1994. – No 2. – Pp. 3– 5. (Rus)
3. Embrecht J. Analytical solution of simple tasks to test the artificial lighting calculation programs // Svetotekhnika. – 1998. – No 5. – Pp. 15–18. (Rus)
4. Kruger H., Flyayter S., Shirts K. New approaches to the joint design of natural and artificial light // Svetotekhnika. – 1999. – No 3. – Pp. 15–17. (Rus)
5. Tikhomirov A., Sharupich V., Lisowski G. Photoculture plants. – Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2000. – 321 p. (Rus)
6. Chervinsky L., Storozhuk L. Electric lighting and radiation. – Kyiv: Ahrar Media Hrup, 2011. – 214 p. (Ukr)

Надійшла 29.01.2016

Остаточний варіант 23.06.2016