

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОСИНТЕЗНОЇ ОПРОМІНЕНОСТІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ *MATHCAD*

Л. С. ЧЕРВІНСЬКИЙ, доктор технічних наук, професор
Я. М. ЛУЦАК, інженер
*Національний університет біоресурсів
і природокористання України*
e-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. *Приведена методика визначення фотосинтезної опроміненості в заданому місці теплиці в математичному програмному середовищі *Mathcad*, яке враховує випромінювання, відбите поверхнями стін і стелі. Метод забезпечує періодичне визначення фактичної фотосинтезної опроміненості у виробничому приміщенні теплиці у горизонтальній площині на заданому рівні листа рослини в процесі її розвитку.*

Ключові слова: *теплиця, фотосинтезна опроміненість, рослини, метод розрахунку, витрати електроенергії*

За розрахунку освітленості та опроміненості у виробничих приміщеннях у нашій країні найбільш поширеними є метод із застосуванням 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 [6].

Існують більш досконалі сучасні методи розрахунку освітлення в програмних середовищах *DIALux*, *ReluxProfessional*, *Lightscape*, *Calculux* і *EUROPIC* [2, 4]. Загальним недоліком даних комп'ютерних програми є відсутність зручних засобів роботи з фотометричними даними. Для кожного проекту необхідно створювати базу даних застосовуваних світильників, що ускладнює і уповільнює роботу.

Мета досліджень - розробка методу визначення фотосинтезної опроміненості для приміщень на основі програмного середовища *Mathcad*, який дозволяє підвищити точність визначення фактичної фотосинтезної опроміненості в заданій точці опромінюваної поверхні в результаті врахування додаткового випромінювання відбитого та розсіяного у просторі поверхнями стін і стелі (скляного даху теплиці).

Матеріал та методика досліджень. Опроміненість на будь-якій точці горизонтальної розрахункової поверхні можна визначити як суму опроміненостей, утворених прямим випромінюванням світильників і відбитим від стін та стелі за виразом:

$$E(x,y) = E_{св}(x,y) + E_{стін}(x,y) + E_{стелі}(x,y), \quad (1)$$

де $E_{св}$ – опроміненість, утворена прямим фотосинтезним потоком світильника;

$E_{стін}$ – опроміненість, утворена відбитим від стін фотосинтезним потоком;

$E_{стелі}$ – опроміненість, утворена потоком, відбитим від поверхні стелі (даху);

x, y – поточні горизонтальні координати розрахункової опромінюваної точки на поверхні листка рослини.

Результати досліджень. Розглядаючи світильники як точкові джерела та задаючи координати розташування X_n, Y_n, Z_n n -го світильника у вибраній системі координат, проводимо розрахунки за допомогою програмного середовища Mathcad. Опроміненість у точці на розрахунковій поверхні, яка утворена прямим випромінюванням світильників, розраховується за відомою формулою:

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

де F – фотосинтезний потік лампи, фіт, [6],

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, градус;

H_p – перпендикулярна відстань від світильників до розрахункової поверхні, м.

Визначивши відстань від світильника до розрахункової точки через просторові координати розташування опромінюваної точки та n -ного світильника, із виразу (2) отримуємо вираз (3) для використання у середовищі Mathcad.

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

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.

Задаючи умову, що яскравість стіни складається з ряду горизонтальних, рівномірно-яскравих прямокутних зон m і що опроміненість та коефіцієнт відбиття стіни є функціями координат $-E_c(x,z)$, загальну сумарну опроміненість розрахункової поверхні $R_c(x,z)$, утворену потоком

від поверхні стіни (як плаского нерівномірного світильника), можна визначити, використовуючи вираз Хігбі-Левіна [3]:

$$E_{cmiu}(x, z) = \frac{1}{\pi} \int_0^H \int_0^{5L} \frac{R_c(x, z) E_c(x, z) z \sqrt{(X_n - x)^2 + y^2}}{[(X_n - x)^2 + y^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}} dz dx, \quad (4)$$

де H – відстань від світильників до розрахункової поверхні, м;

$5L$ – максимальна довжина ділянки горизонтальної поверхні, на якій проводиться розрахунок, м.

Додаткову опроміненість горизонтальної розрахункової поверхні на рівні листа рослини, утворену відбитим від стелі (або внутрішньої поверхні скляного даху теплиці) випромінюванням, розрахуємо аналогічно за виразом:

$$E_{cmeli}(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^B \int_0^{5L} \frac{R_{cm}(x, y) E_{cm}(x, z) H^2}{[(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2 + H^2]^{\frac{3}{2}}} dx dy, \quad (5)$$

де $R_{cm}(x, y)$ – коефіцієнт відбиття фотосинтезного потоку від стелі;

B – ширина приміщення, м;

$5L$ – довжина розрахункової ділянки стелі (даху), м.

Для споруд захищеного ґрунту, зокрема теплиць, у яких скляний дах складається із двох частин, що з'єднуються під кутом α коефіцієнт відбиття фотосинтезного потоку від внутрішньої поверхні даху $R_{cm}(x, y)$ слід у виразі (5) враховувати відповідно із кутом нахилу – половинок скляного даху теплиці $\cos \alpha$. (На практиці кут становить 10° - 60°).

Вираз (5) для скляної теплиці матиме вигляд:

$$E_{cmeli}(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^B \int_0^{5L} \frac{R_{cm}(x, y) \cos \alpha E_{cm}(x, z) H^2}{[(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2 + H^2]^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (6)$$

На основі вище наведених виразів узагальнююча фактична опроміненість на горизонтальному рівні листа рослини в теплиці зі скляним дахом складає суму опроміненостей, визначених за виразом (1), де підсумовуються результати виразів (3), (4) та (6).

Як приклад, наведемо просторову картину розподілу опроміненості в об'ємі теплиці (рис.1), де за вертикальною координатою показано просторовий розподіл фотосинтезної опроміненості, фт/м². За горизонтальними координатами – довжина та ширина опромінюваної ділянки теплиці.

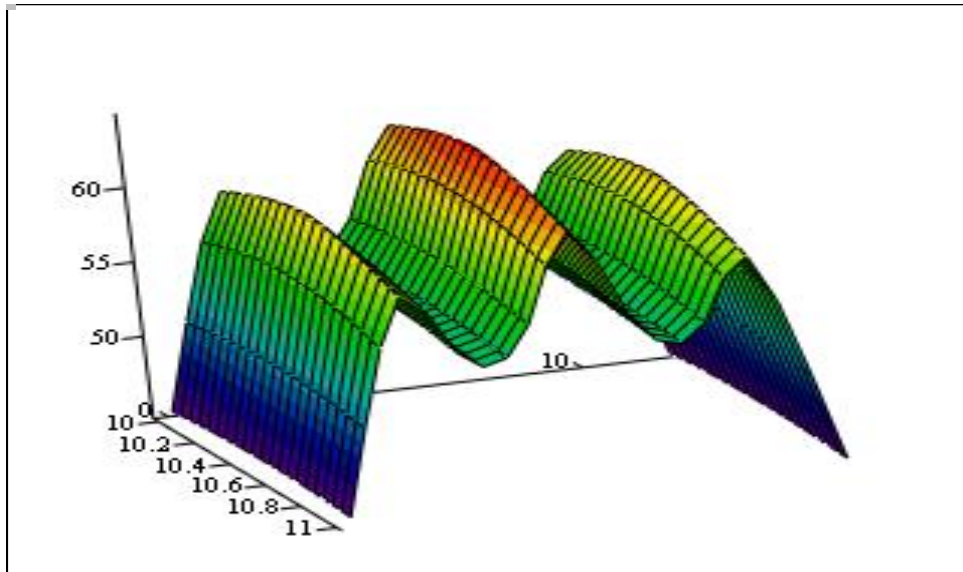


Рис.1. Просторова картина ізофіт на ділянці виробничого приміщення теплиці, що утворена сумарним фотосинтезним потоком із врахуванням випромінювання, відбитого від стін та від даху

На рис. 2 показано картину розподілу фактичної опроміненості на горизонтальній площині опромінюваної ділянки теплиці.

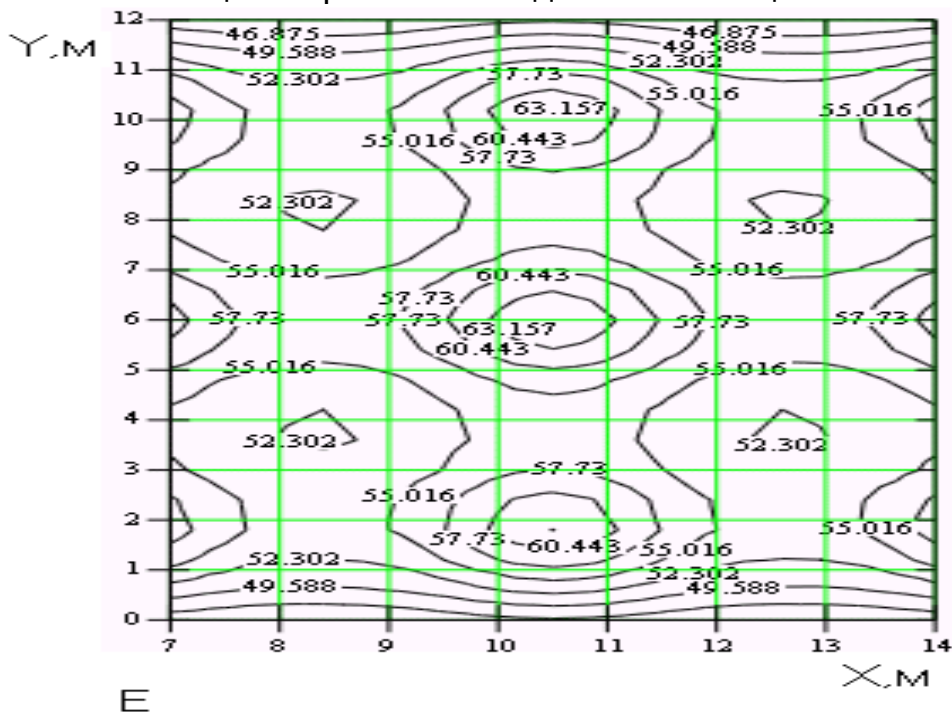


Рис. 2. Фрагмент картини ізофіт на розрахунковій поверхні теплиці

Висновки

1. Запропонований метод визначення фотосинтезної опроміненості в програмному середовищі Mathcad дозволяє визначити реальне значення горизонтальної опроміненості на заданому рівні з урахуванням

особливостей коефіцієнту відбивання фотосинтезного випромінювання поверхнями бічних стін та внутрішньої поверхні даху приміщення теплиці як функції просторових координат.

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

Список літератури

1. Вергунов В. А. Основы математического моделирования: Для анализа и прогноза агрономич. процессов / В. А.Вергунов, И. Н. Вергунова, В. С. Шкрабак. – С.-Пб.: СПбГАУ, 2003. – 219с.
2. Дехоф П. Автоматизированное проектирование внутреннего освещения /П. Дехоф, Д. Земборт// Светотехника. –М.: ВНИСИ, 1994. – № 2. – С. 3 – 5.
3. Эмбрехт Дж. Аналитическое решение простой задачи искусственного освещения для тестирования программ расчета освещения / Дж. Эмбрехт // Светотехника. – М.: ВНИСИ, 1998. – №5. – С. 15 – 18.
4. Крюгер Х. Новые подходы к совместному проектированию естественного и искусственного света /Х. Крюгер, С. Фляйтер, К. Ширц// Светотехника. –М.: ВНИСИ, 1999. – № 3. – С. 15 – 17.
5. Тихомиров А. А. Светокультура растений / А. А.Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский. – Новосибирск.: Издательство СО РАН, 2000. – 321с.
6. Червінський Л.С., Електричне освітлення та опромінення /Л. С.Червінський, Л. О. Сторожук. – К.: Видавництво «АграрМедіаГруп», 2013. – 214с.
7. Метод визначення просторової опроміненості /Л. С. Червінський, С. М. Усенко, Т. С. Книжка, Я. М. Луцак // Технічна електродинаміка. – 2016. – Вип. 5. – С.88–90.
8. The Lighting Handbook. – Zumtobel Lighting GmbH, 4th edition, revised and updated: October 2013, AUSTRIA. – 259 p.

References

1. V. A. Vergunov, I. N. Vergunova, V. S. Shkrabak (2003) Osnovy matematicheskogo modelirovaniya: Dla analiza i prignoza agronomicheskikh prosesov [Basics of mathematical modeling: To analyze and forecast economic processes]. SPb.:SPbGAU, 219.
2. P. Dehof, D. Zembort. (1994) Avtomatisirovanoe proektirovanie vnutrennego osvecheniya [Automated design of of indoor lighting]. Lighting engineering. M: VNISI, 2, 3-5.
3. Dg. Embreht (1998) Analiticheskoe rechenie prostoy zadatchi iskusstvennogo osvezheniya dla testirovaniya program rascheta osvezhenia [Analytic solution of a simple problem of artificial lighting for testing lighting calculation programs]. Lighting engineering. M: VNISI, 5, 15-17.
4. H. Kruger, S. Fliayter, K. Chirsh. (1999) Novie podhodi k sovместному proektirovaniyu estestvennogo i iskusstvennogo sveta. [New approaches to the joint design of natural and artificial light] Lighting engineering. M: VNISI, 3, 15-17.
5. A. A. Tihomirov, V. P. Charupich, G. M. Lisovsky (2000) Svetokultura rasteniy. [Plant photoculture]. Novosibirsk .: Publishing house SB RAS, 321.

6. L. S. Chervinsky, L. O. Storoghuk (2013) Elektrichne osvittennia ta oprominennia. [Electrical lighting and exposure]. Kyiv, Ukraine .: Publishing House "Agrar Media Group", 214.

7. L. S. Chervinsky, S. M. Usenko, T. S. Knighka (2016) Method viznashennia prostorovoi oprominenisti. [The method of determining the space exposure]. Technical electrodynamics. Kyiv, Ukraine, 5, 88-90.

8. The Lighting Handbook (2013) Zumtobel Lighting GmbH , 4th edition, revised and updated. AUSTRIA, 259.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОТОСИНТЕЗНОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATHCAD

***Л. С. Червинский,
Я. М. Луцак***

Аннотация. *Приведена методика определения фотосинтезной облученности в заданном месте теплицы в математической программной среде Mathcad, которая учитывает излучение, отраженное поверхностями стен и потолка. Метод обеспечивает периодическое определение фактической фотосинтезной облученности в производственном помещении теплицы в горизонтальной плоскости на заданном уровне листа растения в процессе его развития.*

Ключевые слова: *теплица, фотосинтезная облученность, растения, метод расчета, затраты электроэнергии*

DETERMINATION OF SPATIAL PHOTOSYNTHESIS IRRADIATED IN A SOFTWARE ENVIRONMENT MATHCAD

***L. Cherwinsky,
J. Lutsak***

Annotation. *Present methods of determining photosynthesis exposure to a location greenhouses in mathematical software environment Mathcad, which takes into account the radiation reflected by the surfaces of walls and ceilings. The method provides periodic determination of actual photosynthesis exposure to indoor greenhouse production in a horizontal plane at a given level in the leaves of the plant during its development.*

Keywords: *greenhouse, photosynthesis, plants, the method of calculation, the cost of electricity*