

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 628.9

**В.А. Андрійчук, к.ф.-м.н., доц.
Р.Я. Герій, студ.**

Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пулюя

РОЗРАХУНОК ОПРОМІНЕННЯ ДОВІЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ ПРИ КОЛИВНОМУ РУСІ ОПРОМІНЮВАЧА З НЕКРУГЛОСИМЕТРИЧНИМ СВІТЛОВИМ РОЗПОДІЛОМ

Подана методика розрахунку на ЕОМ опромінення площини довільного розташування від опромінювача з некруглосиметричним світловим розподілом та коливним рухом. Світловий розподіл опромінювального пристрою (ОП) (залежність модуля вектора сили світла від кутів у меридіальній та екваторіальній площинах) задавався у вигляді таблиці. Табличні дані отримувалися експериментально на гоніофотометричній установці з постійним кроком зміни кутів. Для знаходження вектора сили світла довільного напрямку використана методика інтерполяції багаточленом Лагранжа. Виконана оцінка абсолютної похибки інтерполювання для лінійного і квадратичного випадків. Подані алгоритми розрахунку на ЕОМ: а) сили світла у довільному напрямку для некруглосиметричного ОП та побудови його фотометричного тіла; б) розподілу опромінення площини довільного розташування при коливному русі опромінювача. Розроблено їх програмне забезпечення. Розглянуто приклади розрахунків для ОП з параболо-циліндричним відбивачем РСР-ВАТ-02 та лампою ДНаТ-400.

Вступ

Розподіл густини потоку випромінювання опромінюючого пристрою (ОП) найповніше описується фотометричним тілом, що являє собою поверхню, яка утворена кінцями векторів сили випромінювання (СВ). Якщо фотометричне тіло має вісь симетрії, то модуль вектора СВ залежить лише від кута відхилення променя від цієї осі, а розрахунок опромінення площини довільного розташування наведено в [1–4]. Для опису розподілу випромінювання ОП із некруглосиметричним фотометричним тілом необхідно знати залежність СВ від кутів відхилення променя в екваторіальній (α) та меридіальній (φ) площинах $I = I(\varphi, \alpha)$. Розрахунок розподілу густини потоку випромінювання на довільній площині від некруглосиметричного опромінювача неперервної дії розглядався в [1–3]. Запропонована авторами методика ґрунтується на використанні кривих однакових значень сили випромінювання та кривих рівних значень відносної опроміненості, що робить її трудомісткою і громіздкою з низькою точністю, оскільки використовує дані, що задані графічно. Задача значно ускладнюється у випадку змінного опромінення поверхні, яке застосовується в ряді оптичних технологій [4–7].

Використання ЕОМ не лише дозволило аналітично проводити розрахунки такого типу, але й підвищити їх точність і розширити область виконання. Такий світлотехнічний розрахунок був проведений в [4] для круглосиметричного опромінювача переривчастого опромінення. Дана робота є продовженням [4, 5] і включає розрахунок опромінення площини довільного розташування та орієнтації від опромінювача з коливним рухом та некруглосиметричним світловим розподілом, що заданий фотометричним тілом, який отриманий експериментально. Це є важливо при моделюванні умов освітлення рослин, листки яких можуть розташовуватися довільно. В даному повідомленні наведені результати розрахунку на ЕОМ горизонтальної та вертикальної площини від тепличного світильника РСР-ВАТ-02 з лампою ДНаТ-400.

Теоретична частина

Нехай маємо опромінювач із некруглосиметричним світловим розподілом, який можна вважати точковим джерелом випромінювання. Розглянемо геометричну схему для розрахунку опромінення довільної площини від даного джерела (рис. 1).

Задамо декартову систему координат OXYZ, в якій будемо розглядати світлотехнічну установку в цілому. Площину, опромінення якої необхідно визначити, проведемо через вибрану точку P і з'єднаємо з нею прямокутну систему координат $PX_1Y_1Z_1$, яку назвемо системою приймача. Причому координатна площина PX_1Y_1 збігається з вибраною площиною, а вісь PZ_1 — з вектором нормалі \vec{N} до неї. Вектор \vec{N} утворює з віссю OZ кут ψ_z . Вісь PX_1 проведемо паралельно до площини OXY. Кут між осями OX і PX_1 — ψ_x . Координати одиничних векторів даної системи в системі OXYZ визначатимуться за такими формулами:

$$\begin{aligned}\vec{g}_{X_1} &= \vec{g}_X \cos \psi_x + \vec{g}_Y \sin \psi_x ; \\ \vec{g}_{Y_1} &= -\vec{g}_X \cos \psi_z \cdot \sin \psi_x + \vec{g}_Y \cos \psi_z \cdot \cos \psi_x + \vec{g}_Z \sin \psi_z ; \\ \vec{g}_{Z_1} &= \vec{g}_X \sin \psi_z \cdot \sin \psi_x - \vec{g}_Y \sin \psi_z \cdot \cos \psi_x + \vec{g}_Z \cos \psi_z ,\end{aligned}\tag{1}$$

де $\vec{g}_X, \vec{g}_Y, \vec{g}_Z$ — одиничні вектори у системі OXYZ.

Опромінювач у даній світлотехнічній установці розташуємо у точці А. Його оптичну вісь спрямуємо під кутом ζ до осі OZ (до вертикалі). З опромінювачем з'єднаємо ще одну декартову систему координат AFEI, що повністю збігається з системою координат, де виконувалися експериментальні вимірювання його світлових характеристик, назвемо її системою джерела. Орієнтацію системи джерела відносно OXYZ задамо так: вісь AI спрямуємо вздовж оптичної осі СП. Її напрям задаватиме одиничний вектор \vec{i} , координати якого в системі OXYZ визначаються за таким рівнянням:

$$\vec{i} = \vec{g}_X \sin \zeta \cos \chi + \vec{g}_Y \sin \zeta \sin \chi - \vec{g}_Z \cos \zeta . \quad (2)$$

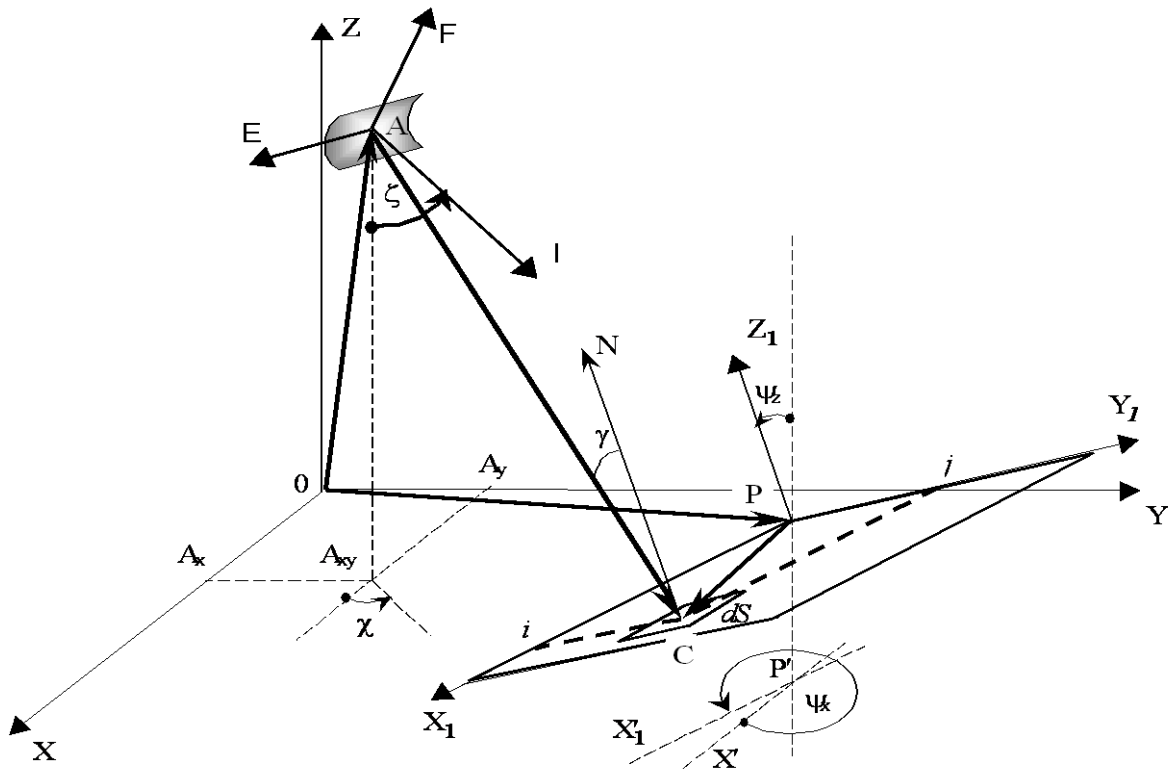


Рис. 1. Геометрична схема для розрахунку опромінення довільної площини від опромінювача з некруглосиметричним світловим розподілом: OXYZ — система координат опромінювальної установки; AFEI—система координат випромінювача; PX₁Y₁Z₁—система координат приймача; AI — оптична вісь ОП; χ — кут між віссю OX і проекцією оптичної осі ОП на площину XOY; N — одиничний вектор нормалі до ділянки dS; ψ_z — кут між осями PZ₁ і OZ; ψ_x — кут між осями OX і PX₁

Вісь AE проведемо перпендикулярно до осі AI і спрямуємо паралельно до площини XOY. Координати одиничного вектора даної осі в системі OXYZ дорівнюватимуть:

$$\vec{e} = \vec{g}_X \sin \chi - \vec{g}_Y \cos \chi . \quad (3)$$

При такому виборі двох ортогональних осей AI і AE одиничний вектор третьої ортогональної осі AF можна визначити з векторного добутку двох попередніх одиничних векторів:

$$\vec{f} = \vec{e} \times \vec{i} = \vec{g}_X \cos \zeta \cos \chi + \vec{g}_Y \cos \zeta \sin \chi + \vec{g}_Z \sin \zeta . \quad (4)$$

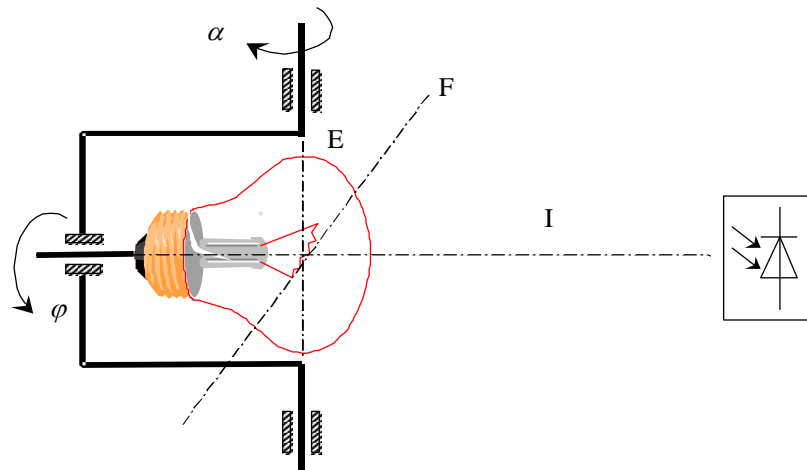


Рис. 2. Схема гоніофотометричної установки для фотометрування світлових приладів

Кутовий розподіл вектора сили випромінювання некруглосиметричного опромінювача $I(\varphi, \alpha)$ отримувався експериментально на установці, схема якої подана на рис. 2. При цьому будь-який напрям вектора сили випромінювання задавався двома кутами: α — кутом повороту опромінювача відносно осі E; φ — кутом повороту опромінювача відносно осі F. Обидва кути змінювалися в межах $+90^\circ \dots -90^\circ$. Знак “+” застосовувався тоді, коли опромінювач повертався за годинниковою стрілкою, якщо дивитися у бік випромінювання ОП, а “-” — при обертанні проти годинникової стрілки.

Такі вимірювання проведені для ряду світильників та широко кутових прожекторів з кроком зміни кутів $\Delta\varphi = 10^\circ$ і $\Delta\alpha = 5^\circ$ у лабораторіях Українського світлотехнічного інституту (м. Тернопіль). Результати експериментальних вимірювань подавалися у вигляді таблиць, де відповідно до значень кутів φ і α записувалися значення сили світла у заданому напрямі.

При складанні таблиць дотримувалися таких правил:

- 1) значення сили світла $I(\varphi, \alpha)$ у табличних точках визначалися з однаковою похибкою, яка для даної гоніофотометричної установки дорівнювала 5 %;
- 2) у таблиці подавалися лише ті значення сили світла, похибка кожного з яких не перевищувала 0,5 одиниці молодшого розряду експериментально отриманих величин.

Табличні дані служили основою для подальших світлотехнічних розрахунків.

У результаті отримані фотометричні тіла кожного з опромінювачів із певним типом джерела світла. Приклад фотометричного тіла для тепличного світильника РСП-ВАТ-02 з лампою ДНАТ-400 подано на рис. 3.

Повернемося до рис. 1 і виберемо довільну точку світлового поля C, що лежить на опромінювальній площині та яку охоплює елементарна ділянка dS цієї площини. Визначимо кути φ і α для даної точки у системі координат джерела, в якій проводилися вимірювання $I(\varphi, \alpha)$ в лабораторних умовах. Вирази для цих кутів запишемо через скалярний добуток векторів:

$$\alpha = \begin{cases} \arccos \frac{\vec{AC} \cdot \vec{i}}{|\vec{AC}|}, & (\vec{AC} \cdot \vec{f}) \geq 0; \\ -\arccos \frac{\vec{AC} \cdot \vec{i}}{|\vec{AC}|}, & (\vec{AC} \cdot \vec{f}) < 0; \end{cases}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\arcsin \frac{\vec{AC} \cdot \vec{e}}{|\vec{AC} - (\vec{AC} \cdot \vec{i}) \cdot \vec{i}|}, & (\vec{AC} \cdot \vec{f}) \geq 0; \\ \arcsin \frac{\vec{AC} \cdot \vec{e}}{|\vec{AC} - (\vec{AC} \cdot \vec{i}) \cdot \vec{i}|}, & (\vec{AC} \cdot \vec{f}) < 0. \end{cases} \tag{5}$$

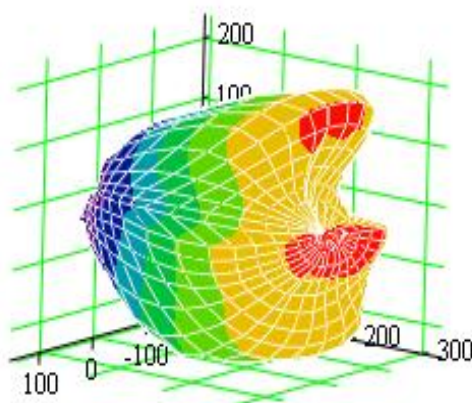


Рис. 3. Фотометричне тіло опромінювача для теплиць РСП-ВАТ-02 з лампою ДНАТ-400, підведене до світлового потоку 1000 лм

При знаходженні сили випромінювання для кутів φ і α , що не збігаються з табличними, використовувався метод інтерполювання. Інтерполяцію виконували за допомогою інтерполяційної формули або інтерполяційного багаточлена Лагранжа [8–10].

Для випадку, коли функція залежить від одного аргументу $y_i = f(x_i)$, ($i = \overline{0, n}$), формула Лагранжа записується у такому вигляді:

$$F(x) = \sum_{i=0}^n \frac{(x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{i-1})(x - x_{i+1}) \cdots (x - x_{n-1})(x - x_n)}{(x_i - x_0)(x_i - x_1) \cdots (x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1}) \cdots (x_i - x_n)} \cdot y_i =$$

$$= \sum_{i=0}^n y_i \cdot \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^n \frac{x - x_k}{x_i - x_k} . \tag{6}$$

Причому $F(x_i) = f(x_i) = y_i$.

Якщо ж функція залежить від двох аргументів $I = I(\varphi, \alpha)$ і задана двомірною таблицею $I_{ij} = I(\varphi_i, \alpha_j)$, то інтерполяційний багаточлен значно ускладнюється [8, 9]. При складанні інтерполяційної формули врахували основну ідею цього методу — багаточлен Лагранжа у вузлових точках дорівнює 1, а в усіх інших — 0:

$$L_{ij}(\varphi, \alpha) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^n \prod_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^m \frac{\varphi - \varphi_k}{\varphi_i - \varphi_k} \cdot \frac{\alpha - \alpha_l}{\alpha_j - \alpha_l} . \tag{7}$$

Маючи вираз (7), можна перейти до багаточлена $F(\varphi, \alpha)$, для якого у вузлах таблиці виконується така умова:

$$F(\varphi_i, \alpha_j) = F_{ij} = I(\varphi_i, \alpha_j) = I_{ij}, \tag{8}$$

а сам він дорівнює такій сумі:

$$F(\varphi, \alpha) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{ij}(\varphi, \alpha) \cdot F_{ij} . \tag{9}$$

Очевидно, що нема потреби будувати один інтерполяційний багаточлен (9) для всієї таблиці, оскільки він буде дуже громіздким, що різко збільшить тривалість розрахунку. Нехай нам потрібно знайти $I(\varphi, \alpha)$. Виберемо прямокутник із (r, f) вузлів, до якого потрапляє шукана точка. Побудуємо інтерполяційний багаточлен якомога нижчого степеня. Степінь багаточлена задаємо таким, щоб похибка інтерполяції на даній ділянці була меншою, ніж похибка таблиці, тобто меншою від половини одиниці молодшого розряду табличних значень функції $I(\varphi_i, \alpha_j)$. Так обчислювалися значення сили світла у нетабличних точках з тією самою точністю, що й табличні значення.

Використано два способи інтерполювання — лінійне, коли $n = 1$, та квадратичне — для $n = 2$.

Нехай φ і α потрапляють на ділянку $[\varphi_p, \alpha_q; \varphi_{p+1}, \alpha_{q+1}]$. Інтерполяційний багаточлен для $n = 1$ матиме такий вигляд:

$$F(\varphi, \alpha) = \sum_{i=p}^{p+1} \sum_{j=q}^{q+1} \prod_{\substack{k=p \\ k \neq i}}^{p+1} \prod_{\substack{l=q \\ l \neq j}}^{q+1} \frac{\varphi - \varphi_k}{\varphi_i - \varphi_k} \cdot \frac{\alpha - \alpha_l}{\alpha_j - \alpha_l} I_{ij} \quad (10)$$

Для $n = 2$:

$$F(\varphi, \alpha) = \sum_{i=p}^{p+2} \sum_{j=q}^{q+2} \prod_{\substack{k=p \\ k \neq i}}^{p+2} \prod_{\substack{l=q \\ l \neq j}}^{q+2} \frac{\varphi - \varphi_k}{\varphi_i - \varphi_k} \cdot \frac{\alpha - \alpha_l}{\alpha_j - \alpha_l} I_{ij} \quad (11)$$

При оцінці похибки інтерполяції ґрунтувалися на тому, що вузли в таблиці рівно віддалені, а у вузлових точках $F(\varphi_i, \alpha_j) = I(\varphi_i, \alpha_j)$.

Для довільних точок (φ, α) , відмінних від вузлів інтерполяції, різниця $I(\varphi, \alpha) - F(\varphi, \alpha) = R(\varphi, \alpha)$ не дорівнює нулю і характеризує близькість полінома $F(\varphi, \alpha)$ до функції $I(\varphi, \alpha)$ в межах вибраної ділянки таблиці. Величина $R(\varphi, \alpha)$ називається залишковим членом інтерполяційної формули і є абсолютною похибкою інтерполяції. Для оцінки точності способів інтерполювання необхідно знайти вираз для залишкового члена $R(\varphi, \alpha)$. Будемо виходити з того, що задана таблична функція $I(\varphi, \alpha)$ на вибраній ділянці $[p, p+r; q, q+r]$ має неперервні похідні до $(r+1)$ порядку включно, а залишковий член у вузлах інтерполювання дорівнює нулю. Такі розрахунки були проведені в роботах [8, 9].

Вираз для абсолютної похибки інтерполювання багаточленом Лагранжа першого степеня ($r = 1$) запишемо у такому вигляді:

$$R_1(\varphi, \alpha) \leq \frac{1}{8} (I_{p+2,q} + I_{p,q+2} - 2I_{p+1,q} - 2I_{p,q+1} + 2I_{p,q}) \quad (12)$$

Формула абсолютної похибки інтерполювання багаточленом Лагранжа другого степеня ($r = 2$) матиме вигляд:

$$R_2(\varphi, \alpha) \leq \frac{1}{15} (I_{p+3,q} - 3I_{p+2,q} + 3I_{p+1,q} + I_{p,q+3} - 3I_{p,q+2} + 3I_{p,q+1} - 2I_{p,q}) \quad (13)$$

Повернемося до рис. 1 і запишемо математичні вирази для розрахунку опромінення ділянки dS , яка лежить на вибраній площині PX_1Y_1 і охоплює довільну точку світлового поля C :

$$E_C = \frac{I(t, \varphi, \alpha)}{|\vec{AC}|^2} \cdot \cos \gamma \quad (14)$$

або через скалярний добуток векторів:

$$E_C = \frac{I(t, \varphi, \alpha) \cdot (\vec{AC} \cdot (-\vec{N}))}{|\vec{AC}|^3} \quad (15)$$

де $I(t, \varphi, \alpha)$ — функція сили випромінювання, яка, в загальному випадку, залежить від часу та вибраного напрямку AC .

Нехай потік випромінювання ОП не змінюється протягом всього періоду опромінення. Тоді модуль вектора сили випромінювання буде залежати лише від вибраного напрямку AC .

Для проведення розрахунку опромінення елементарної ділянки dS у формулу (15) необхідно підставити $I(\varphi, \alpha)$ та координати векторів \vec{AC} і \vec{N} . Вектор \vec{AC} запишемо як суму векторів:

$$\vec{AC} = \vec{OP} + \vec{PC} - \vec{OA} \quad (16)$$

Вектор \vec{N} та кожен зі складових \vec{AC} можна представити в системі $OXYZ$.

Значення сили випромінювання $I(\varphi, \alpha)$ в напрямку \vec{AC} задається кутами φ і α та визначається методом інтерполяції експериментально отриманих табличних даних $I(\varphi_i, \alpha_j)$ для вибраного ОП. Кути φ і α визначаються положенням точки C за формулами (5). Розрахунок $I(\varphi, \alpha)$ проводився на ЕОМ за розробленою програмою згідно з алгоритмом:

- за заданими координатами точки C визначаються кути φ і α ;
- знаходиться ділянка $[\varphi_p, \alpha_q; \varphi_{p+1}, \alpha_{q+1}]$ матриці I_{ij} , в яку потрапляє дана точка;
- проводиться лінійна інтерполяція згідно з формулою Лагранжа (10);
- оцінюється похибка лінійного інтерполювання згідно з виразом (12);
- проводиться порівняння абсолютної похибки розрахованої величини з абсолютною похибкою виміряних $I(\varphi_p, \alpha_q)$. Якщо похибка розрахованої величини $R_1(\varphi, \alpha)$ менша або дорівнює 0,5 одиниці молодшого розряду експериментальних величин, то отримане значення $I(\varphi, \alpha)$ використовується в подальших розрахунках. Якщо ж переважає вказану величину, то відбувається перехід до квадратичної інтерполяції;
- проводиться інтерполювання за допомогою багаточлена другого степеня (11);
- оцінюється похибка квадратичного інтерполювання $R_2(\varphi, \alpha)$ згідно з виразом (13);

– проводиться порівняння з похибкою експериментально отриманих величин i , якщо вона не перевищує її, то отримане $I(\varphi, \alpha)$ береться для подальших розрахунків, якщо ж перевищує — то програма інформує про це оператора.

Для розрахунку опромінення вибраної площини була розроблена ще одна програма, схема якої близька до схеми розрахунку опромінення горизонтальної площини від ОП із круглосиметричним світловим розподілом [4]:

- задаються координати ОП в системі OXYZ та кут нахилу ζ його оптичної осі до вертикалі;
- в системі OXYZ задається опромінювальна площаина і пов’язується з нею система координат приймача $PX_1Y_1Z_1$;
- на координатній площині OXY вибирається площадка $R_x \times R_y$, в яку попадає проекція точки або сама точка P;
- на опромінювальній площині вибирається ще одна площадка у вигляді прямокутника зі сторонами $R_{x_1} \times R_{y_1}$, які співпадають із осями PX_1 та PY_1 ;
- задається напрям одиничного вектора нормалі $\vec{N}(N_x, N_y, N_z)$ до вибраної площадки, який співпадає з віссю PZ_1 ;
- площадка розбивається на елементарні квадратні ділянки зі стороною Δ ;
- кожному елементу розбиття присвоюється пара цілих чисел (i, j) , які відповідають його координатам на осях PX_1 і PY_1 , якщо за одиничний відрізок прийняти Δ ;
- за формулою (15) визначається середнє опромінення E_{ij} кожної елементарної ділянки Δ_{ij} ;
- опромінення всієї площадки задається матрицею $\{E\}$ розміром $R_{x_1}/\Delta \times R_{y_1}/\Delta$, елементами якої E_{ij} є середні значення опромінення кожної елементарної ділянки Δ_{ij} .

Коливний рух опромінювача або його відбиваючого елемента [7] описувався гармонічним законом зміни кута нахилу оптичної осі ОП ζ :

$$\zeta = \zeta_0 \cos \omega t, \tag{17}$$

де ζ_0 — максимальний кут відхилення оптичної осі опромінювача від вертикалі.

Така зміна призведе до коливного руху системи джерела AFEI, що відобразиться на математичних виразах одиничних напрямлених векторів \vec{i} ; \vec{f} ; \vec{e} в системі OXYZ. Для цього у формули (2)—(4) необхідно підставити вираз (17):

$$\begin{aligned} \vec{i} &= \vec{g}_x \sin(\zeta_0 \cos \omega t) \cos \chi + \vec{g}_y \sin(\zeta_0 \cos \omega t) \sin \chi - \vec{g}_z \cos(\zeta_0 \cos \omega t); \\ \vec{e} &= \vec{g}_x \sin \chi - \vec{g}_y \cos \chi \\ \vec{f} &= \vec{e} \times \vec{i} = \vec{g}_x \cos(\zeta_0 \cos \omega t) \cos \chi + \vec{g}_y \cos(\zeta_0 \cos \omega t) \sin \chi + \vec{g}_z \sin(\zeta_0 \cos \omega t). \end{aligned} \tag{18}$$

Було проведено розрахунок середнього значення опромінення кожного елемента Δ_{ij} вибраної площадки за один період коливного руху опромінювача. Для цього у виразі (17) кут $\omega t = 2\pi$ розбивався на n елементарних кутів $\delta = 2\pi/n$. Для кожного елементарного зміщення опромінювача визначалося опромінення $E_{ij}(k)$ ділянки Δ_{ij} і будувалася матриця $\{E(k)\}$, де $k = 0, n - 1$. Визначалося сумарне опромінення кожної ділянки за один період коливань опромінювача:

$$S_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} E_{ij}(k). \tag{19}$$

Середнє значення опромінення кожної елементарної ділянки Δ_{ij} записувалося так:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} E_{ij}(k). \tag{20}$$

Будувалася матриця $\{\varepsilon\}$, елементами якої є ε_{ij} .

Результати розрахунку та їх обговорення

За вказаною методикою виконано розрахунок опромінення площини довільного розташування та орієнтації від опромінювача з параболо-циліндричним відбивним елементом РСП-ВАТ-02 та джерелом випромінювання ДНаТ-400, фотометричне тіло якого подано на рис. 3.

Нехай опромінювач розташований на висоті $h = 3$ м і нахилений під кутом $\zeta_0 = 60^\circ$ до вертикалі. Розміри опромінювальної ділянки $R_{x_1} = 6$ м, $R_{y_1} = 7$ м, елемент розбиття $\Delta = 0,1$ м. На рис. 4 наведені криві однакової опроміненості горизонтальної та вертикальної площин від даного опромінювача.

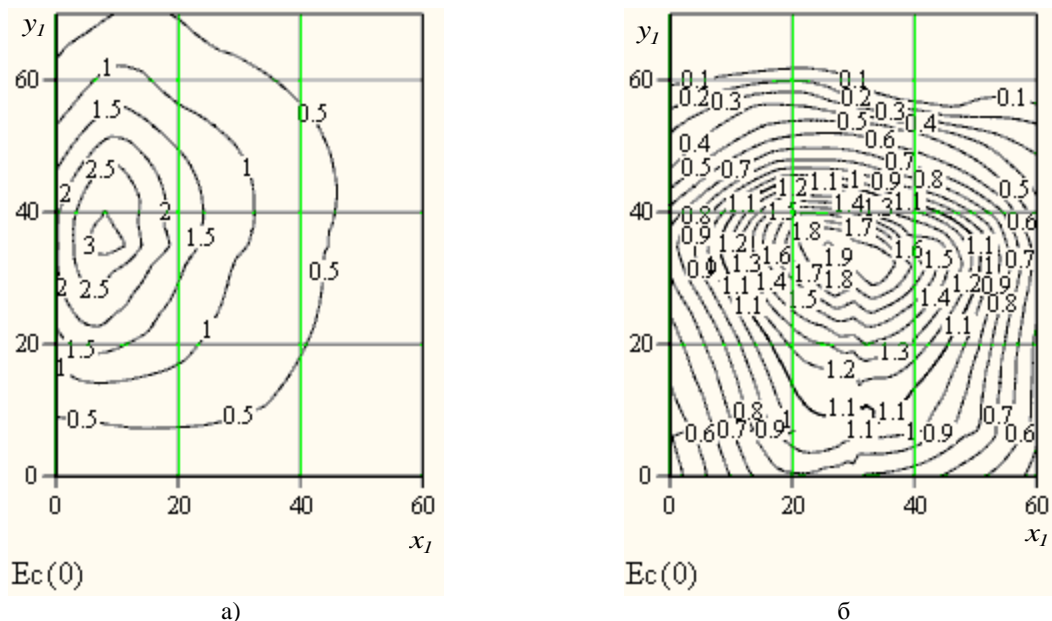


Рис. 4. Криві однакового опромінення фотосинтезно-активною радіацією (ФАР) від опромінювача РСП-ВАТ-02 з ДНаТ-400 ($h = 3$ м, $\zeta_0 = 60^\circ$): а) горизонтальної площини; б) вертикальної площини, яка проходить через точку $P(4, 3, 0)$ і Px_1 паралельна до Oy

Вироблена методика дозволяє розраховувати розподіл густини потоку випромінювання на площині довільної орієнтації та розташування відносно опромінювача. Це важливо при моделюванні умов опромінення рослин закритого ґрунту, де орієнтація фотоприймачів, якими є листки рослин, може бути довільною.

На рис. 5 наведені значення рівнів однакового середнього опромінення ФАР горизонтальної площадки $R_{x1} \times R_{y1}$ від опромінювача РСП-ВАТ-02 за час одного повного коливання.

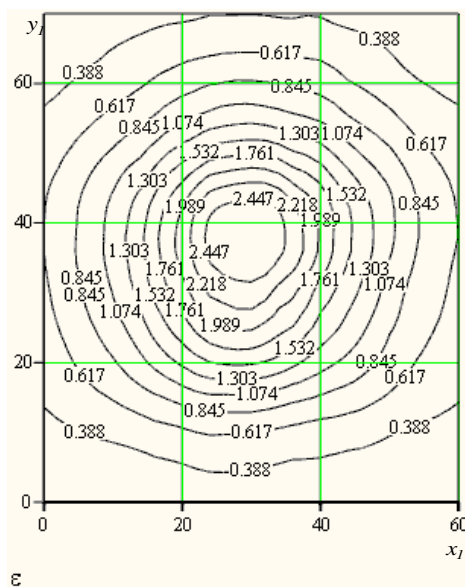


Рис. 5. Криві однакового середнього опромінення ФАР горизонтальної площадки від ОП із коливним рухом опромінювача (РСП-ВАТ-02, ДНаТ-400, $h = 3$ м, $\zeta_0 = 60^\circ$)

Висновки

1. Запропоновано аналітичний метод розрахунку опромінення площини довільного розташування та орієнтації від опромінювача з некруглосиметричним світловим розподілом.
2. Розглянуто методику побудови та побудовано фотометричне тіло тепличного опромінювача РСП-ВАТ-02 з лампою ДНаТ-400.
3. Наведено методику визначення сили випромінювання в довільному напрямку для некруглосиметричного ОП шляхом двомірного інтерполювання за допомогою багаточлена Лагранжа першого та другого степеня із врахуванням абсолютної похибки інтерполяції.

4. Подано алгоритми розрахунку на ЕОМ опромінення площини довільного розташування і орієнтації та середнього опромінення цієї площини від опромінюючого пристрою з коливним рухом опромінювача за один період коливань.

5. Результати розрахунків подані у вигляді графіків однакового опромінення горизонтальної та вертикальної площин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995.– 528 с.
2. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
3. Кноринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. — 288 с.
4. Андрійчук В.А., Герій Я.М., Чубатий Ю.О. Світлотехнічний розрахунок опромінювальної установки з прецесуючим рухом опромінювачів // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2000. – Т. 5. – № 1. – С. 85–91.
5. Андрійчук В.А., Герій Я.М. Розрахунок опроміненості площини довільної орієнтації від опромінювача з некруглосиметричним світловим розподілом // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2001. – Т. 6. – № 2. – С. 78–88.
6. Ашуров С.Г., Мхитанов М.А. Влияние режима работы газоразрядных ламп на скорость фотохимической реакции // Тр. 1 Международной светотехн. конфер. Санкт-Петербург, 1993. – С. 25–26.
7. Greenhouse illumination system: Пат 5095414 США, МКИ5 F21V17/02 Tinus R.W., USA Secretary of Agriculture. – № 712226, Заява 7.6.91. Опубл. 10.3.92. НКІ 362/284.
8. Самарський А.А., Тулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
9. Емминг Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1972. – 400 с.
10. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

АНДРІЙЧУК Володимир Андрійович — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри світлотехніки електротехніки та електроніки Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання фотобіологічних процесів;
- енергоощадні опромінюючі пристрої для світлокультури рослин.

ГЕРІЙ Роман Ярославович — студент 4-го курсу Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя.

Науковий інтерес:

- світлотехнічний розрахунок на ЕОМ опромінюючих пристроїв змінного опромінення.

Подано 21.05.2001