

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК. 621.327; 534

В.Андрійчук канд. фіз.-мат. наук; Я.Герій, Ю.Чубатий

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОПРОМІНЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ПРЕЦЕСУЮЧИМ РУХОМ ОПРОМІНЮВАЧІВ

Подана методика світлотехнічного розрахунку площинного розподілу потоку випромінювання від опромінювальної світлотехнічної установки (ОСУ) з прецесуючим рухом опромінювачів. В основу розрахунку покладено принцип суперпозиції світлових полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці опроміненості $\{\varepsilon\}$ елементарних ділянок, що отримана для вибраного опромінювача з кутом прецесії α за один період обертання. Розглянуто дві схеми розташування опромінювачів – у вершинах квадрата і рівностороннього трикутника. Наведено приклад розрахунку ОСУ з опромінювачами ГСП-04 і лампами ДРИ-1000-2. Розроблено програмне забезпечення розрахунку з використанням пакету прикладних програм MathCad.

Умовні позначення:

ОСУ — опромінювальна світлотехнічна установка;

ДВ — джерело випромінювання;

ОП — опромінювальний пристрій;

СП — світлотехнічний пристрій;

ФАР — фотосинтезно активна радіація;

Δ — елементарна квадратна ділянка розбиття поверхні опромінення;

δ — елементарний кут повороту опромінювача;

$I(\beta)$ — кутовий розподіл сили випромінювання опромінювача.

Одним з перспективних напрямків пошуку енергоощадних опромінювальних установок для світлокультури рослини є розробка пристроїв переривчастого опромінення [1-3]. До такого типу світлотехнічних приладів (СП) належать пристрої із зміщеним центром ваги та прецесуючим рухом опромінювача, які розроблені на кафедрі світлотехніки електротехніки та електроніки Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. Зовнішній вигляд наведено на рис.1.

ОП складається з опромінювача 1 та вантажу 2, що обертається навколо вертикальної осі за допомогою електродвигуна 3, а також джерела випромінювання (ДВ) та ширококутового відбивача з анодно-оксидним або "ельглас" покриттям. Як ДВ використано газорозрядні лампи типу ДРИ-1000-2, ДРИ 2000-2М, ДНаТ-400 з найбільшою фітовіддачею [4].

Прилад через шарнірне з'єднання 4 за допомогою кронштейна прикріплюється до перекриття теплиці. Він посилає світловий потік у напрямку, наближеному до вертикального, що не спричинює фототропічного нахилу рослин. Вантаж зміщує центр ваги ОП і нахиляє опромінювач на кут α від вертикалі. Кут нахилу задається як вагою вантажу, так і довжиною плеча, яке можна змінювати переміщенням вантажу вздовж штанги 5. Обертаючись по колу вантаж спричинює прецесуючий рух опромінювача, що забезпечує змінний характер опромінення та збільшення площі опромінювальної поверхні.

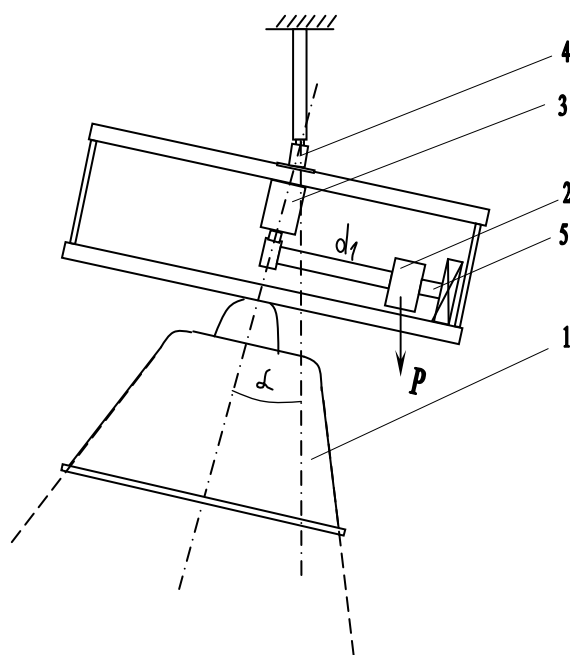


Рис.1. Опромінюючий пристрій із зміщеним центром ваги:
 1 – опромінювач; 2 – вантаж; 3 – електродвигун;
 4 – шарнірне з’єднання; 5 – напрямна штанга.

Основним завданням світлотехнічного розрахунку ОСУ було визначення площинного розподілу потоку випромінювання при заданому розміщенні ОП та відомих характеристиках випромінювального елемента. Під площинним розподілом потоку випромінювання належить розуміти опроміненість площини у довільно вибраній точці світлового поля. Враховуючи із особливості геометричного розташування приймачів випромінювання (листки рослин), обмежимо розрахунок опроміненості горизонтальної площини. Розрахунок проведемо для точкового ДВ з симетричним розподілом випромінювання.

Нехай нам задано кутовий розподіл сили світла опромінювача $I(\beta)$. Обчислимо опроміненість поверхні dS , розташованої в довільній точці світлового поля C , від ОП переривчастої дії, розміщеного у точці A (рис. 2).

Опроміненість ділянки dS в загальному вигляді можна записати так:

$$E_c = \frac{I(\beta)}{(AC)^2} \cos \gamma, \quad \text{де } \cos \gamma = \frac{(\vec{AC} \cdot (-\vec{N}))}{|\vec{AC}| \cdot |-\vec{N}|}.$$

Кінцева формула розрахунку

$$E_c = \frac{I(\beta)}{|\vec{AC}|^3} (\vec{AC} \cdot (-\vec{N})). \quad (1)$$

Для прикладу був вибраний опромінювач ГСП-04 з ДВ ДРИ-1000-2, що використовувався у розробленій моделі ОП. Даний опромінювач має круглосиметричну діаграму спрямування світлового потоку. Аналітичний вираз $I(\beta)$ отриманий за такою схемою:

- за даними експериментальної кривої сили світла складалася таблиця значень $I(\beta)$;

- за табличними значеннями будувалася $I(\beta)$ і оброблялася кубічним сплайном, що збільшувало число точок, які задавали дану залежність, до заданого N ;
- за новими табличними даними, використовуючи метод апроксимації поліномом або рядом Фур'є отримано аналітичний вираз $I(\beta)$.

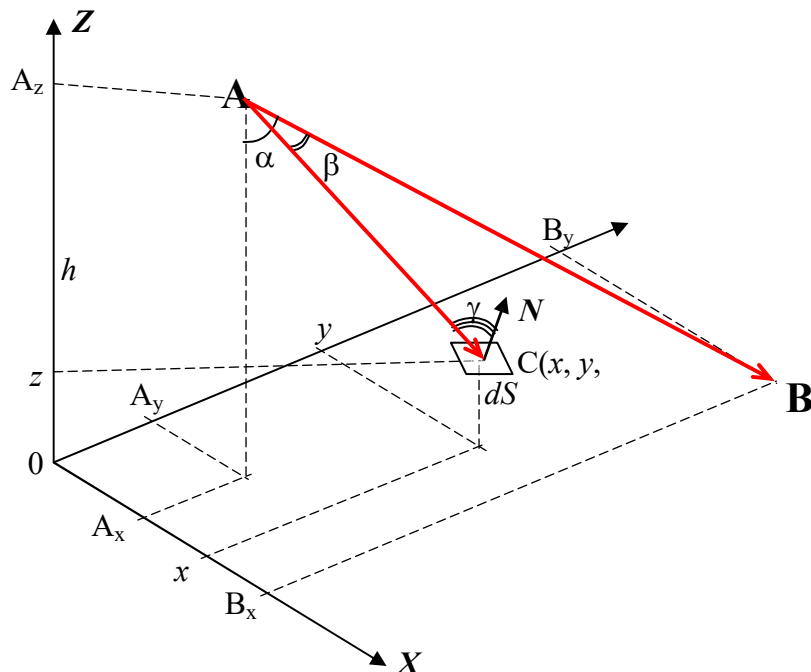


Рис.2. Геометрична схема для розрахунку опроміненості поверхні dS у довільно вибраній точці світлового поля S : AB — оптична вісь опромінювача; α — кут між оптичною віссю опромінювача і вертикаллю; β — кут між оптичною віссю опромінювача і напрямком до вибраної точки поля; N — одиничний вектор нормалі до поверхні dS .

Згідно з поданою методикою аналітичний вираз $I(\beta)$ для опромінювача ГСП–04 записувався у вигляді:

$$I(\beta) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n A_i \cdot \beta^i, & 0 \leq \beta \leq 65^\circ \\ 0, & \beta > 65^\circ. \end{cases} \quad (2)$$

Розрахунок опроміненості горизонтальної площини проводився по складеній програмі з використанням пакету прикладних програм Mathcad за такою схемою:

- задавались координати точки підвісу опромінювача та кут α нахилу його оптичної осі до вертикалі;
- задавалась опромінююча поверхня у вигляді прямокутника з сторонами $R_x \times R_y$ та напрямком нормалі $\vec{N}(0,0,1)$;
- вибрана прямокутна поверхня розбивалась на елементарні квадратні ділянки з стороною Δ ;
- кожній ділянці присвоювалася пара цілих чисел (i, j) , що відповідали її координатам на осях OX і OY , якщо за одиничний відрізок прийняти Δ ;
- визначалася опроміненість $E_{i,j}$ кожної елементарної ділянки $\Delta_{i,j}$ на поверхні розміром $2R_x \times 2R_y$ від опромінювача, розташованого в її центрі (тут враховано, що

опромінювач в ОСУ можна розміщувати у будь-якій точці заданої поверхні, навіть в одній з крайніх);

– записувалася матриця $\{E\}$ розміром $2R_x/\Delta \times 2R_y/\Delta$, елементами якої є середні значення опроміненості E_{ij} кожної елементарної ділянки Δ_{ij} , обчислені за формулою (1).

Для поданого нижче розрахунку брали: $R_x=8\text{м}$; $R_y=12\text{м}$; $h=2\text{м}$; $\alpha=40^\circ$; $\Delta=0.4\text{м}$.

На рис.3 наведені криві однакової опроміненості ФАР для опромінювача ГСП-04, побудовані за даними отриманої матриці.

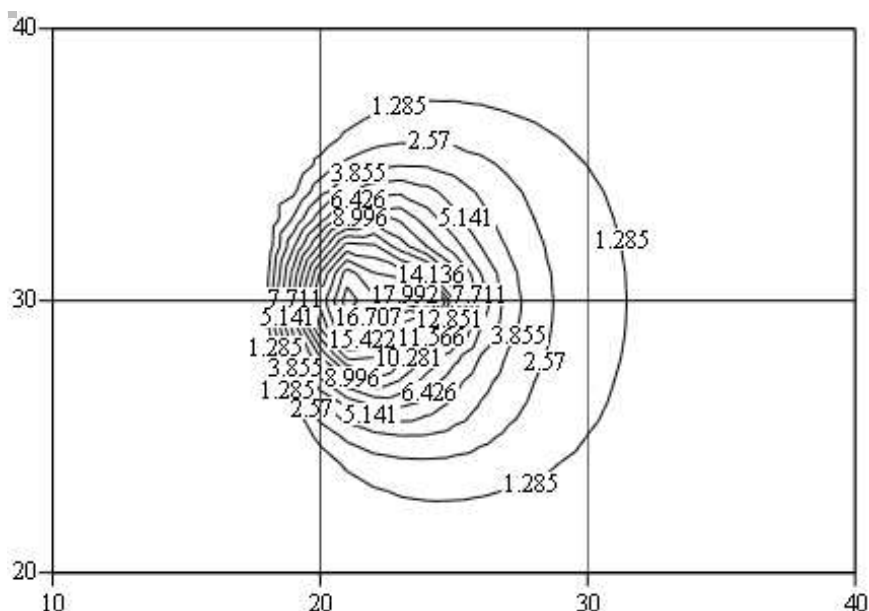


Рис. 3 Криві однакової опроміненості ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) плоскої прямокутної поверхні від опромінювача ГСП-04 з ДРИ-1000-2, розташованого в точці $A(20\Delta, 30\Delta, 5\Delta)$ під кутом $\alpha = 40^\circ$ до вертикалі.

Нехай вибраний нами опромінювач, розташований під кутом α до вертикалі, виконує прецесуючий рух навколо вертикальної осі. Для даного випадку виконаний розрахунок розподілу опроміненості ФАР у межах вибраної прямокутної ділянки розміром $2R_x \times 2R_y$ за один період прецесії. За цей час опромінювач повертається на кут 2π , що ділиться на n однакових елементарних кутів величиною $\delta = 2\pi/n$. Для кожного елементарного повороту визначалася опроміненість $E_{ij}(k)$ ділянки Δ_{ij} і будувалася матриця $\{E(k)\}$, де $k = 0, \dots, n-1$. Визначалась сумарна опроміненість кожної ділянки за період прецесії ОП

$$S_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} E_{i,j}(k). \quad (3)$$

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

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} E_{i,j}(k). \quad (4)$$

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

На рис.4 наведено графічне зображення розподілу густини потоку ФАР на горизонтальній поверхні від опромінювача ГСП-04 з ДРИ-1000-2, розташованого у

центрі площадки розміром $2R_x \times 2R_y$ під кутом α до вертикалі, який виконує прецесуючий рух навколо вертикальної осі.

Розрахунок опроміненості вибраної ділянки $R_x \times R_y$, що створюється ОСУ з прецесуючим рухом опромінювачів, виконано для двох схем розміщення ОП — у вершинах квадратів та у вершинах рівносторонніх трикутників (рис.5). При цьому використовувався принцип суперпозиції світлових полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці опроміненості $\{\varepsilon\}$ елементарних ділянок, що отримана для вибраного опромінювача з кутом прецесії α за один період обертання.

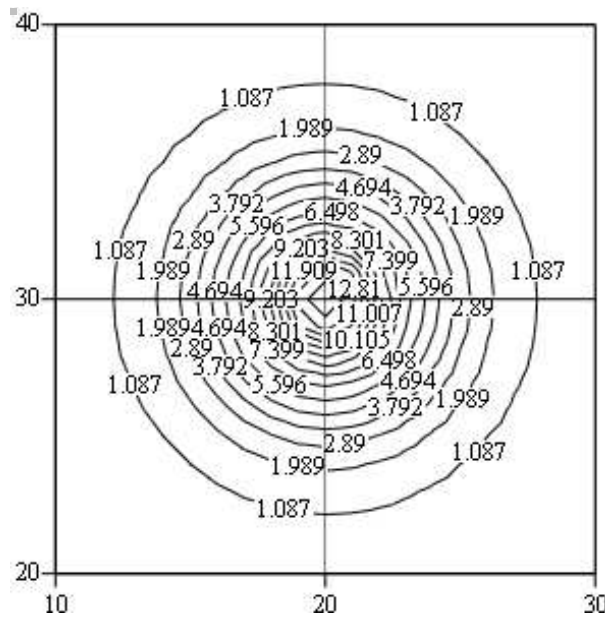


Рис.4. Криві однакової опроміненості ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) від опромінювача ГСП-04 з ДРИ-1000-2 протягом одного періоду прецесії

Період трансляції a відповідав такій відстані між двома сусідніми ОП, при якій розподіл опроміненості поверхні між ними був максимально однорідним. Для опромінювача ГСП-04 з ДРИ-1000-2, розташованого на висоті $h = 2$ м з кутом прецесії $\alpha = 40^\circ$ — $a = 8 \cdot \Delta = 3.2$ м.

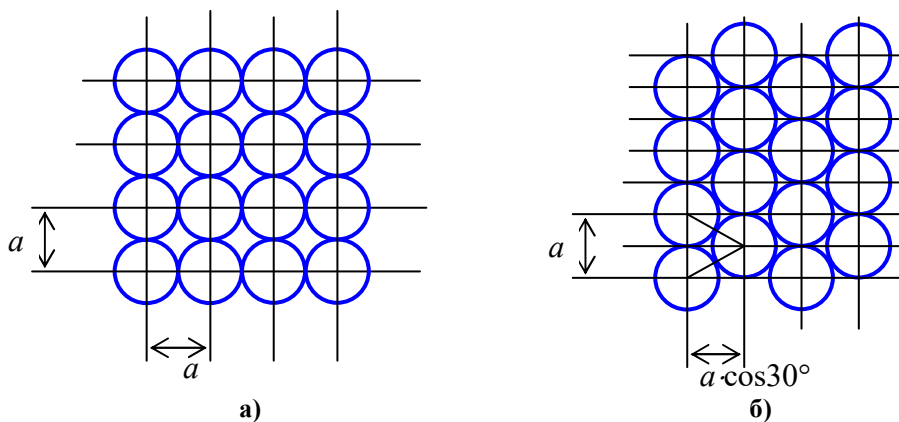


Рис. 5. Схеми розміщення опромінювачів:
а) у вершинах квадратів; б) у вершинах рівносторонніх трикутників.

На рис. 6 та 7 наведені графіки розподілу опроміненості горизонтальної площини для вибраних схем розміщення опромінювачів змінного опромінення ГСП-04.

З розрахунку випливає, що для опромінення ділянки площею $S=96\text{м}^2$ незалежно від схеми розташування потрібно 12 прецесуючих опромінювачів ГСП-04 з ДРИ-1000-2. Максимальна опроміненість становить $19\text{--}20\text{ Вт/м}^2$ і мало відрізняється для обох схем. Для першої схеми розташування опромінювачів (рис. 5,а) мінімальна опроміненість дорівнює 12 Вт/м^2 і світлове поле досить неоднорідне. Воно змінюється від 12 до 19 Вт/м^2 у межах поверхні $5\Delta\times 5\Delta$. Для другої схеми розташування тих же опромінювачів (рис. 5,б) мінімальна опроміненість ФАР дорівнює 15 Вт/м^2 і розподілена на основній площі опромінювальної поверхні, що вказує на вищу однорідність світлового поля.

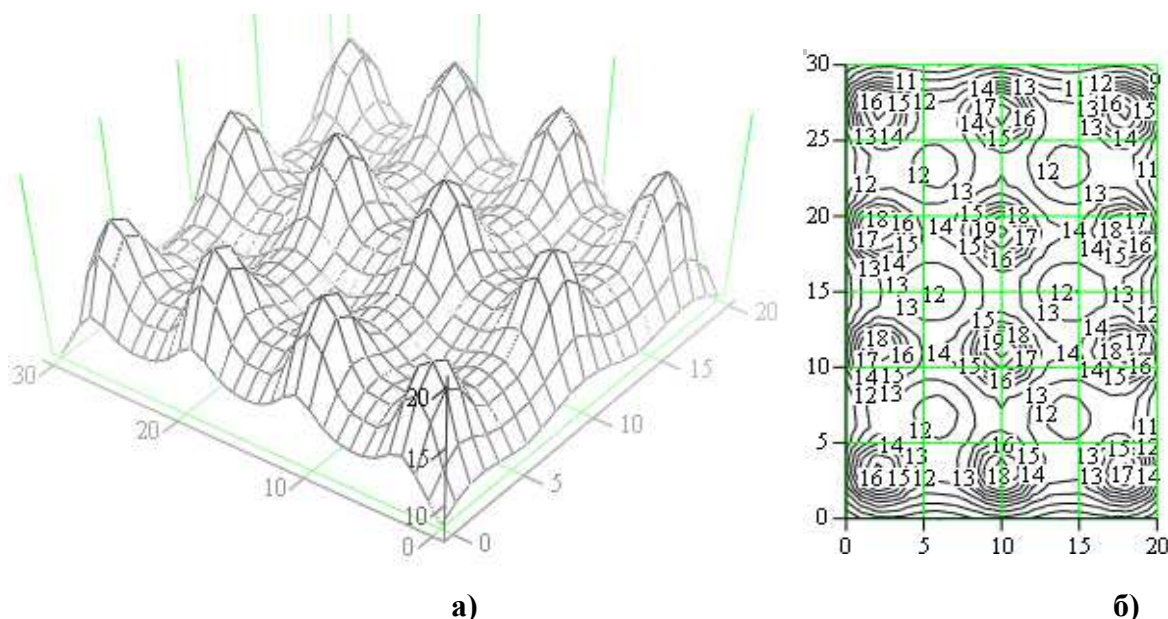


Рис. 6. Розподіл опроміненості ФАР (Вт/м^2) заданої поверхні від ОСУ з прецесуючим рухом опромінювачів при їх розміщенні у вершинах квадратів: а) просторовий графік розподілу опроміненості; б) графік рівнів однакової опроміненості.

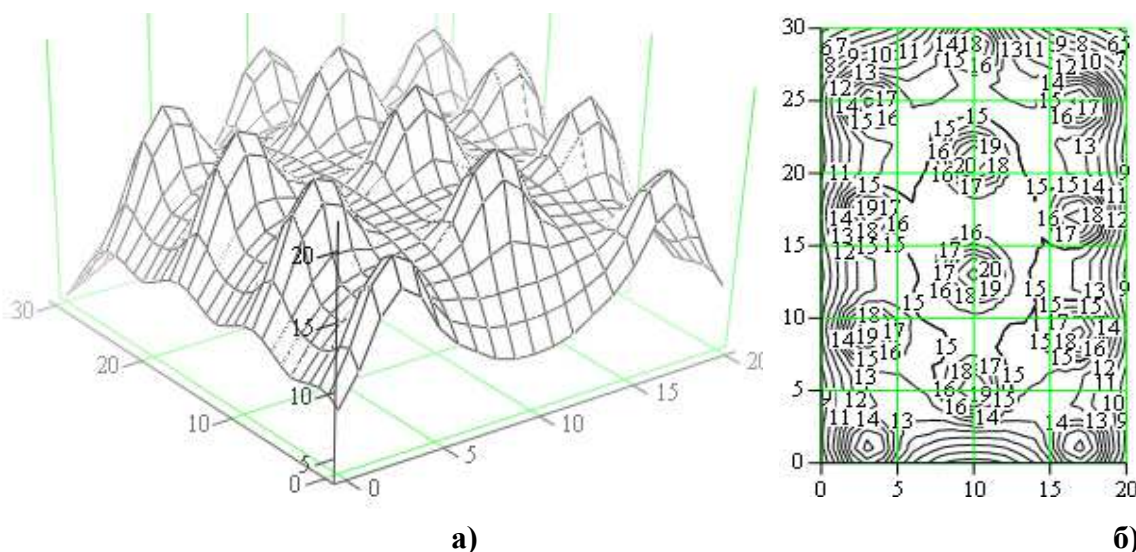


Рис. 7. Розподіл опроміненості ФАР (Вт/м^2) заданої поверхні від ОСУ з прецесуючим рухом опромінювачів при їх розміщенні у вершинах рівносторонніх трикутників: а) просторовий графік розподілу опроміненості; б) графік рівнів однакової опроміненості.

Також слід відзначити, що для поданої у даному повідомленні методики світлотехнічного розрахунку ОСУ з опромінювачами переривчастої дії розроблено програмне забезпечення з використанням пакету прикладних програм MathCad.

Висновки

- запропонована конструкція ОП переривчастої дії з прецесуючим рухом опромінювача;
- розроблена методика запису в аналітичному вигляді кутового розподілу сили світла випромінювального елемента $I(\beta)$;
- розроблена методика та створено програмне забезпечення світлотехнічного розрахунку ОСУ з ОП переривчастої дії;
- наведено приклад розрахунку ОСУ з опромінювачами ГСП-04 і ДРИ-1000-2, що виконують прецесуючий рух, для двох схем розміщення опромінювачів. Показано, що на площі $S=96 \text{ м}^2$ для обох схем необхідна однакова кількість випромінювальних елементів 12, але кращої однорідності світлового поля можна досягти при розташуванні ОП у вершинах рівносторонніх трикутників.

The method of light-engineering calculation of the planar distribution of the radiation flow from the irradiation light-engineering installation with the precessional motion of irradiators is presented. The basis of calculation is the principle of the superposition of the light fields from different radiating elements and the method of the matrix irradiating translation $\{g\}$ of the elementary areas, which was obtained for the selected irradiator with the precession angle α during one rotation. Two schemes of irradiators location are analysed: in the vertexes of the quadrate and equilateral triangle. The example of calculation ILL with the irradiation ГСП-04 and ДРИ-1000-2 lamps is presented. The software of calculation using the package of the applied programs MathCad is developed.

Література

1. Андрійчук В.А., Костик Л.М., Лазарюк В.В. Установки для переривчастого опромінення рослин . Патент України №20056А 5А01G9/28 опублікований 25.12.97. Бюл. №6.
2. Андрійчук В.А. Енергоощадні опромінюючі установки для рослин закритого ґрунту // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім.І.Пулюя.- Т.4.- Число 4, 1999. - С. 144-147.
3. Андрійчук В.А. Енергоекономне опромінення рослин закритого ґрунту // Матеріали 2-ої міжнародної конференції “Управління енерговикористанням”. Львів, 1997, Тачис. Вiстро /96/052 С.2-9-2-14.
4. Андрійчук В.А., Дворницький В.М., Костик Л.М. Автоматизований метод визначення фотосинтезного потоку та коефіцієнта корисної дії джерел випромінювання // Вісник Тернопільського приладобудівного інституту.1996. - №2.- С. 116-121.

Одержано 07.02.2000 р.