

УДК 621.234+681.515

## УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕНІСТЮ ТЕПЛИЧНИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЮ

Речина О.М., інж.,

Сабо А. Г., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Тел. (0619) 42-31-59*

**Анотація** – в роботі розглянуто стратегію управління освітленістю рослин для забезпечення варіювання строків дозрівання врожаю в спорудах захищеного ґрунту.

**Ключові слова** – фотосинтетично активна радіація (ФАР), запланована продуктивність рослин, САУ освітленістю в теплиці.

*Постановка проблеми.* Сучасний розвиток аграрного виробництва в країні вимагає вирішення низки питань з підвищення економічної ефективності сільського господарства. Однією з задач підвищення рентабельності виробництва при веденні культур в спорудах захищеного ґрунту є забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в залежності від зовнішніх впливів та агротехнологічних вимог.

*Постановка завдання.* Розробка стратегії управління освітленістю тепличних культур при програмуванні врожаю та із урахуванням ймовірного надходження природної ФАР.

*Аналіз останніх публікацій.* З кожним роком в тепличних господарствах все більше уваги приділяється якісному підтриманню параметрів мікроклімату. Активна модернізація теплиць пов'язана з необхідністю економії енергоресурсів. Необхідність максимального використання потенціалу поновлюваних природних енергоресурсів спонукала до розробки і застосування нових принципів управління параметрами мікроклімату тепличних споруд. Сучасна САУ мікроклімату забезпечує гнучке регулювання температурного, вологісного, газового та мінерального режимів рослин із врахуванням їх багатофакторних кореляційних залежностей із інтенсивністю сонячної радіації, підтримує не лише заданий режим, але і максимально ефективно використовує можливості виконавчих систем: контурів опалення, квартирної вентиляції, систем зашторювання та інше. Проте застосування сучасних стратегій управління не змінило принципу регулювання радіаційного режиму рослин: комутація опромінювачів здійснюється за уставкою фотореле та згідно встановленої часової програми. Подібний підхід формування радіаційного режиму теплиць унеможливорює гнучке керуван-

ня ростом рослин та не враховує їх фізіологічних потреб [1].

Отже, критерієм формування радіаційного режиму теплиць, що визначатиме стратегію управління освітленістю має стати економія енергоресурсів та рентабельність виробництва, яка певним чином залежить від строків реалізації продукції.

*Основна частина.* З цією метою на основі аналізу математичної моделі надходження сонячної радіації [4] та з урахуванням закономірностей зміни її інтенсивності у часі через утворення хмар було розроблено концепцію визначення необхідності включення додаткового штучного опромінення рослин в спорудах захищеного ґрунту, що заснована на максимальному використанні природної ФАР [4]. Запропонована концепція коротко показана на рисунку 1.

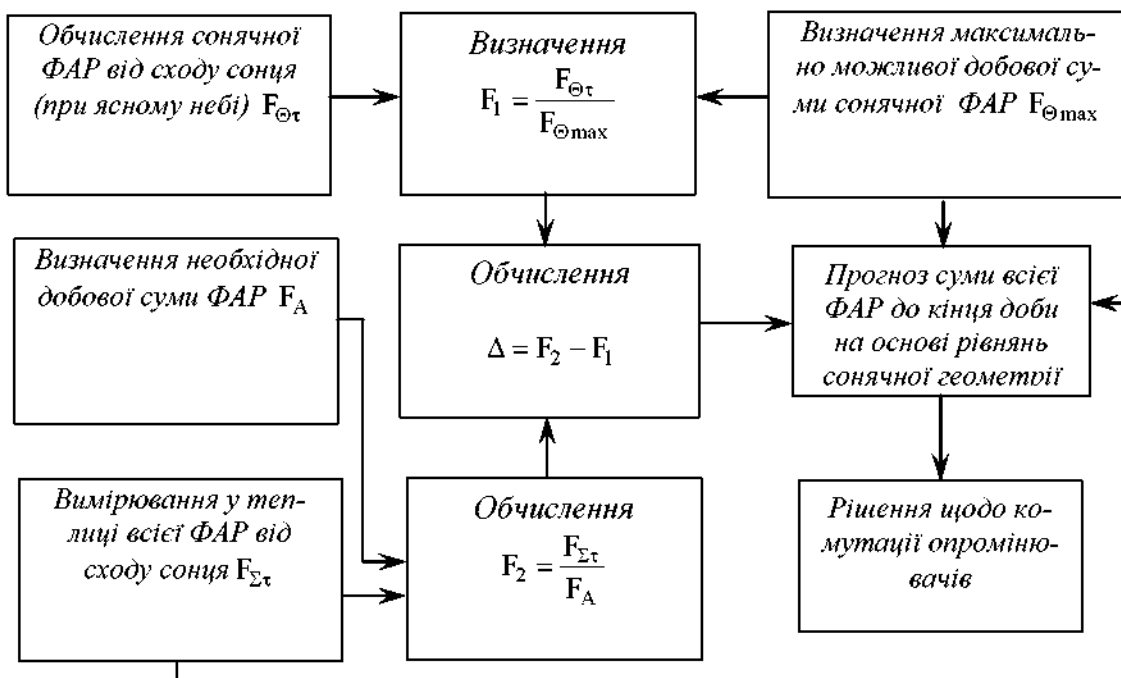


Рис. 1. Концепція управління штучним опроміненням рослин.

Як видно з рисунку рішення щодо комутації опромінювачів приймається на основі порівняння динаміки співвідношень значень необхідної та реальної суми ФАР у теплиці. Значення  $F_2$  визначається агротехнологічними нормами  $F_A$ , отже є можливість гнучкого програмування врожайності культур [5]. Розглянемо можливість корегування параметру необхідної продуктивності рослин в виробничому циклі.

Відповідно до загальних принципів моделювання динамічних процесів [7,8] усі зміни у досліджуваній системі і її параметри (перемінні стану) визначаються протягом розвинутого періоду через деякі встановлені інтервали часу - кроком розрахунку. На кожному часовому кроці за основу розрахунку приймаються результати попереднього кроку. Так, якщо прийняти за крок розрахунку добу, то загальна біо-

маса рослини  $M_j$  у  $j$ -у добу вегетаційного періоду визначається як сума біомаси  $M_{j-1}$  наприкінці попередньої доби, що має номер  $j-1$ , і приросту біомаси  $\Delta M_j$  на дану добу, тобто

$$M_j = M_{j-1} + \Delta M_j. \quad (1)$$

Аналогічно проводиться розрахунок біомаси й окремих органів

$$m_{i,j} = m_{i,j-1} + \Delta m_{i,j}, \quad (2)$$

де  $i$  - орган (1 - листя, 2 - стебла, 3 - корені, 4 - колосся, бульби);  
 $m_{i,j-1}$  - біомаса  $i$ -го органа наприкінці  $j-1$  або на початку  $j$ -тої доби на одиницю площі;

$\Delta m_{i,j}$  - приріст біомаси  $i$ -го органа за  $j$ -ту добу.

У розглянутій моделі при визначенні величини  $\Delta M_j$  враховується фотосинтез і дихання рослин, які розглядаються як реалізовані в умовах оптимальних параметрів мікроклімату споруд захищеного ґрунту. Тобто значення  $\Delta M_j$  визначає потенційний приріст тепличних культур і знаходиться за формулою

$$\Delta M_j = \int_0^t \int_0^{L_{j-1}} \varepsilon(\Phi - R_1) dL d\tau - R_2, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт ефективності газообміну, (виходячи з хімічного рівняння фотосинтезу,  $\varepsilon = 0,67$ ), мг сухої речовини/мг  $\text{CO}_2$ ;

$\Phi$  - інтенсивність фотосинтезу листя, мг  $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ ;

$R_1$  - інтенсивність дихання росту, мг  $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ ;

$R_2$  - дихання підтримки структур, мг/дм<sup>2</sup>;

$L$  - індекс листкової поверхні, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$\tau$  - годинний кут, 24год = 360°.

Інтегрування газообміну проводиться за зовнішнім інтегралом в рамках часового кроку розрахунку біомаси, тобто в межах доби ( $t = 24$ ). При цьому в ході чисельного інтегрування дискретність складає одну годину. У внутрішньому інтегралі інтегрування відбувається за допомогою площі листкової поверхні, причому верхньою межею є значення індексу листкової поверхні наприкінці попереднього кроку  $L_{j-1}$ .

Розподіл загального приросту  $\Delta M_j$  між окремими органами і перерозподіл існуючих асимілянтів описується за допомогою ростових функцій. Ці функції, уперше запропоновані Ю.К. Россом, представлені в сумах температур і мають у моделі наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta m_{i,j} &= A_{i,\Sigma T} \Delta M_j - B_{i,j} T_j m_{i,j} \quad \text{при } i = 1, 2, 3 \\ \Delta m_{4,j} &= A_{4,\Sigma T} \Delta M_j + \sum_{j=1}^3 B_{i,j} T_j m_{i,j} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $A_{i,\Sigma T}$  - вегетативні функції росту як функції сум середніх добових температур вище нуля, безрозмірні;

$B_{i,j}$  - репродуктивні функції росту, що показують, яка частка біомаси інших органів переходить у плоди,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$T_j$  - середня температура повітря  $j$ -ої доби,  $^\circ\text{C}$ .

Інтенсивність фотосинтезу листя визначається за відомою формулою [8]

$$\Phi = \frac{a\Pi(L, \tau)}{1 + \frac{\sqrt{c}}{1 - \sqrt{c}} \cdot \frac{\Pi(L, \tau)}{\bar{\Pi}}}, \quad (5)$$

де  $\Pi(L, \tau)$  - інтенсивність поглиненої в посіві фотосинтетично активної радіації,  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ;

$a$  - початковий нахил світлової кривої фотосинтезу,  $(\text{мг } \text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}) / (\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2})$ ;

$\bar{\Pi}$  - інтенсивність радіації пристосування,  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ;

$c$  - коефіцієнт витрат на дихання при світловому насиченні, що дорівнює  $c = \sigma_2 / \sigma_1$ ;

$\sigma_1$  і  $\sigma_2$  - інтенсивність фотосинтезу і дихання при світловому насиченні, які розраховані на одиницю сухої біомаси листя,  $\text{мг } \text{CO}_2 / (\text{г}\cdot\text{год})$ .

Модель продукційного процесу враховує, що дихання складається з двох компонентів: дихання росту  $R_1$  і дихання підтримки структур  $R_2$ . Дихання росту  $R_1$  вважається пропорційним фотосинтезу, тобто передбачається, що має місце лінійна залежність

$$R_1 = c_1 \Phi. \quad (6)$$

Дихання підтримки структур приймається пропорційним накопиченій біомасі і розраховується для окремих органів рослини. Розрахунок ведеться за формулою

$$R_2 = \sum_{i=1}^4 c_{2i} m_i, \quad (7)$$

де  $c_1$  і  $c_{2i}$  - коефіцієнти витрат на дихання, безрозмірні.

Індекс листкової поверхні визначається як відношення маси листя до питомої поверхневої щільності

$$L_j = m_{i,j}/m_i. \quad (8)$$

При цьому згідно з [6], питома поверхнева щільність виражається наступною залежністю

$$m_i = \frac{a}{\sigma_1} \cdot \frac{1 - \sqrt{c}}{\sqrt{c}} \bar{\Pi}. \quad (9)$$

Для розрахунку фотосинтезу за формулою (5) проводиться визначення інтенсивності поглиненої посівом ФАР  $\Pi(L, \tau)$  за формулою

$$\Pi(L, \tau) = (1 - A_\Phi) \left( c_s S' \frac{\partial a_s}{\partial L} - c_D D \frac{\partial a_D}{\partial L} \right), \quad (10)$$

де  $A_\Phi$  - альbedo посіву в області ФАР, безрозмірне;

$S'$  - щільність потоку прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;

$c_s$  - коефіцієнт переходу від інтегральної прямої радіації до прямої ФАР, безрозмірний;

$D$  - щільність потоку розсіяної радіації, Вт/м<sup>2</sup>;

$c_D$  - коефіцієнт переходу від інтегральної розсіяної радіації до розсіяної ФАР, безрозмірний;

$a_D$  - коефіцієнт пропускання розсіяної радіації у посіві, безрозмірний;

$a_s$  - коефіцієнт пропускання прямої радіації у посіві, безрозмірний.

Похідні  $\partial a_s / \partial L$  і  $\partial a_D / \partial L$  залежать від геометричної структури посіву. Для рослин функція геометричної структури  $G_L(h_0)$ , тобто проєкція одиниці площі листя на поверхню, перпендикулярну сонячним променям, виражається формулою

$$G_L(h_0) = k \sin h_0, \quad (11)$$

де  $h_0$  - висота Сонця, град;

$k$  - коефіцієнт, що залежить від видових особливостей рослин, безрозмірний.

У загальному випадку для  $\partial a_s / \partial L$  і  $\partial a_D / \partial L$  будемо мати

$$\frac{\partial a_s}{\partial L} = \frac{\partial a_D}{\partial L} = k \exp(-kL). \quad (12)$$

і рівняння (10) приймає вигляд

$$\Pi(L, \tau) = (1 - A_\Phi) (c_s S' + c_D D) k \exp(-kL). \quad (13)$$

Якщо підставити цей вираз у формулу фотосинтезу (5) і проін-

тегрувати за індексом листкової поверхні, отримаємо вираз для розрахунку інтенсивності фотосинтезу всієї листкової площі:

$$\Phi_L = \int_0^{L_{j-1}} \Phi dL = \frac{\Phi_{\max}}{k} \ln \left[ \left( 1 - \frac{ka(1-A_\Phi)}{\Phi_{\max}} Q_\Phi \right) : \left( 1 + \frac{ka(1-A_\Phi)}{\Phi_{\max}} Q_\Phi e^{-kL_{j-1}} \right) \right], \quad (14)$$

де 
$$\Phi_{\max} = a\bar{\Pi}(1-\sqrt{c})/\sqrt{c}. \quad (15)$$

виражає інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні, а щільність потоку ФАР, що падає на посів, визначається за формулою

$$Q_\Phi = c_s S' + c_D D. \quad (16)$$

Після математичних перетворень рівняння для розрахунку приросту біомаси (3) набуває вигляду

$$\Delta M_j = \varepsilon(1-c_1) \int_0^t \Phi_L d\tau - \sum_{i=1}^4 c_{2i} m_{i,j}. \quad (17)$$

Отже при запрограмованому агрономами прирості біомаси тепличних рослин шляхом легких математичних перетворень з рівняння (17) можна визначити необхідну добову норму ФАР  $F_A$ , яка буде дорівнювати інтегралу інтенсивності фотосинтезу протягом фотоперіоду.

*Висновок.* Розроблена стратегія управління штучним опроміненням рослин цілком забезпечить не лише максимальне використання природної фотосинтетично активної радіації, а й варіацію строків дозрівання тепличної продукції. Правильно підібрана стратегія управління радіаційним режимом теплиць – важлива складова збільшення продуктивності рослин, ефективного використання енергоресурсів, а відповідно й додаткова можливість суттєво знизити собівартість продукції.

### Література

1. *Albright, L.D.* Controlling greenhouse light to a consistent daily integral / *L.D. Albright, A.J. Both, A.J. Chiu* // Transactions of the ASAE - 2000. - №43(2). – P. 421-431.

2. *Макрушин М.М.,* Фізіологія рослин : підручник / *М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н.В. Петерсен, М.М. Мельников* – Вінниця: Нова книга, 2006. – 416 с.

3. *Сабо А.Г.* Підвищення ефективності енергоспоживання в спорах захищеного ґрунту шляхом максимізації використання природної фотосинтетично активної радіації / *А.Г. Сабо, О.М. Речина* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету вип.8.-т.5.-Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 63-69.

4. *Сабо А.Г.* Алгоритм функціонування енергоощадної системи управління опроміненням рослин в спорудах захищеного ґрунту / *А.Г. Сабо, О.М. Речина, О.П.Цвілій* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика", випуск 8 (140). – Донецьк : ДВНЗ "ДонНТУ", 2008. – С. 217-220.

5. *Белогубова Е.Н.* Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: Учебное пособие для агр. учеб. заведений I-IV уровней аккредитации по спец. 1310 «Агрономия» / *Е.Н. Белогубова, А.М. Васильев, Л.С. Гиль и др.* . – К.: ОАО «Издательство «Киевская правда», 2006. – 528 с.

6. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. / *Х.Г. Тооминг* – Гидрометеоздат Ленинград, 1977. – 200 с.

7. *Полуэкттов Р.А.* Математическое моделирование радиационного режима посева и прогноза темпов развития растений и урожайности сельскохозяйственных культур / *Р.А. Полуэкттов, А.Т. Нагиев, М.Ш.Шукуров* // Известия национальной академии наук Азербайджана, 2004. - №2. – С.1-5.

8. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения ; пер. с англ. *Н.Л.Гудскова, Н.Л.Обручевой* ; под ред. и с предисл. *А.Т.Мокроносова.* – М.: ВО "Агропромиздат", 1989. – 460 с.

## **УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТЬЮ ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ**

Речина О.М., Сабо А. Г.

**Аннотация** – в работе рассмотрена стратегия управления освещенностью растений для обеспечения варьирования сроков дозревания урожая в сооружениях защищенного грунта.

## **MANAGEMENT OF LIGHT EXPOSURE OF GREENHOUSE PLANTS DEPENDING ON CROP PROGRAMMING**

O. Rechina, A. Sabo

### **Summary**

**Management strategy by light exposure of greenhouses plants for maintenance of variation terms of maturing crop is considered in this article.**