



УДК 631.2::51.7+628.9.069

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕНЕРГООЩАДНОЇ САУ ОПРОМІНЕННЯМ РОСЛИН

**Сабо А.Г., к.т.н.,**

**Речина О.М., інженер**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.: (068) 31-41-617

**Анотація** - представлені результати моделювання роботи САУ опроміненням рослин в теплицях у інтерактивному графічному середовищі Simulink

**Ключові слова:** енергозбереження, опромінення рослин, моделювання.

*Постановка проблеми.* Протягом останніх десятиріч овочівництво захищеного ґрунту стало важливою ланкою агропромислового комплексу. В даний час це одна з найбільш індустріальних і ресурсомістких галузей рослинництва. Сьогодні в Україні спостерігається динаміка підвищення вартості електроенергії: з 2015 року вартість 1 кВт електроенергії для виробників зростає у 2,5 рази. В собівартості продукції захищеного ґрунту приблизно 50% складають енерговитрати, з них 10% - це витрати електроенергії, з яких понад 40% витрачається на додаткове опромінення рослин. І це значна цифра, з огляду на той факт, що площа теплиць в Україні складає 2,9 тис. га, аби провадити пошук способів скорочення цих витрат.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Територія України згідно класифікації по Ващенко за надходженням природної фотосинтезної радіації (ФАР), що потрапляє до теплиці в осінньо-зимовий період, знаходиться у IV-VI світловій зоні. В найбільш критичні місяці за приходом радіації розрахункові суми ФАР можуть складати до 10 моль/м<sup>2</sup> при рекомендованих агротехнологічних нормах для овочевих культур 12-25 моль/м<sup>2</sup>. У [3] запропоновано вести опромінення рослин на основі максимального використання природної радіації. Надійна робота подібної САУ потребує адекватного прогнозу її надходження.

Аналітичне дослідження методів прогнозування інсоляції показало обмежений характер можливості їх застосування або через високі вартість і складність обладнання, або через недостатню точність даних. Тому запропоноване прогнозування надходження природної фотосинтезної радіації вести за розрахунковим коефіцієнтом, що визна-



часться відношенням виміряного значення суми ФАР на даній місцевості до розрахованого за моделлю «безхмарного неба» за певний проміжок часу

$$k_i = \frac{F_{\Sigma e}^{i-1}(t_i - t_{i-1})}{F_{\Sigma p}^{i-1}(t_i - t_{i-1})}. \quad (1)$$

Перевагою методу є легкість та низька вартість реалізації в умовах тепличних господарств.

Загалом, для забезпечення системою управління опроміненням надходження добової суми ФАР до рослин необхідно враховувати агротехнологічну норму ФАР та фотоперіодизм вирощуваної культури, надходження природної фотосинтезної радіації та її ослаблення покриттям теплиці. Тоді, у будь-який момент часу прогноз можливості надходження агротехнологічної норми добової суми фотосинтезної радіації до рослин, а відтак і прийняття рішення щодо необхідності включення штучних джерел світла, визначається

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma d}^i(t_i - t_c) + k_o k_i F_{\Sigma p}^{n-i}(t_3 - t_i) + F_{\Sigma o}(t - t_H), \quad (2)$$

де  $F_{\Sigma d}^i(t_i - t_c)$  – дійсне накопичене від початку світлової фази фотоперіоду значення ФАР від природних та штучних джерел світла, моль/м<sup>2</sup>;

$F_{\Sigma p}^{n-i}(t_3 - t_i)$  – прогнозоване надходження природної ФАР згідно моделі «безхмарного неба», моль/м<sup>2</sup>;

$k_o$  – коефіцієнт ослаблення природної ФАР покриттям теплиці;

$F_{\Sigma o}(t - t_H)$  – доза ФАР, що надійде від опромінювачів від сутінок до завершення світлової фази фотоперіоду, моль/м<sup>2</sup>.

Інтервали часу, через які має відбуватися корегування графіку надходження агротехнологічної норми добової суми фотосинтезної радіації до рослин визначається необхідною точністю регулювання, типом джерела світла та ступенем стійкості надходження сонячної енергії.

Концептуально роботу системи опромінення описано у [2], блок-схему алгоритму функціонування у [3].

*Мета статті.* Розробка моделі САУ опроміненням рослин в теплиці за умови максимального використання природної фотосинтезної



радіації у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink програмної оболонки Matlab та аналіз результатів моделювання.

*Основні матеріали досліджень.* Працездатність розробленої схеми управління досліджували за допомогою імітаційного моделювання з використанням пакету Simulink інтерактивного середовища розробки алгоритмів Matlab.

Ефективність роботи САУ, заснованої на прогнозуванні надходження природної фотосинтезної радіації, визначали порівняно із системою додаткового опромінення рослин, що працює за традиційним алгоритмом, який передбачає включення опромінювачів в разі зниження інсоляції нижче порогового рівня.

Для обох концепцій керування опромінювачами було промодельовано надходження сонячної радіації у теплицю, динаміку руху хмар, можливість випадіння опадів. Також враховано необхідність затримки включення ламп високого тиску після попереднього виключення.

З метою наближення результатів моделювання до реальних умов роботи САУ проведено розрахунок параметрів настройки блоків Simulink за наступними вихідними даними: географічні координати розташування теплиці – 46°50' північної широти, 35°22' східної довготи, покриття – сотовий полікарбонат, джерело світла – ДнаТ-600, встановлена потужність опромінювачів 120Вт/м<sup>2</sup> та 250Вт/м<sup>2</sup>, вирощувана культура – огірок. Для моделювання обрано зимовий день 03.02.2017р. з опосередкованим за місяць сумарним значенням надходження ФАР - 2,08кВт/м<sup>2</sup>.

Агротехнологічні вимоги до вирощування культури огірка прийняті згідно з [4]: добова сума ФАР – 16 моль/м<sup>2</sup>, інтенсивність опромінення – не нижче 200 мкмоль/м<sup>2</sup>с, світлова фаза фотоперіоду – 12 годин, час повної темряви – 6 годин.

Розрахунок параметрів настройки блоків імітації надходження природної ФАР проводили згідно методики викладеної у [5]: час сходу Сонця – 08:02 год., час заходу Сонця - 17:45 год., кут схилення Сонця – 16°30', висота Сонця - 26°39', зеніт - 63°21', атмосферна маса – 1,82, надходження прямої радіації – 0,846 кВт/м<sup>2</sup>хв., загальної – 0,930 кВт/м<sup>2</sup>хв., щільність фотосинтетично активного потоку фотонів у полудень -1925,1 мкмоль/м<sup>2</sup>с.

Коефіцієнт пропускання ФАР сотовим полікарбонатом прийнято 0,6, щільність фотосинтетично активного потоку фотонів на 1Вт встановленої потужності ламп ДнаТ-600 - 2,3 мкмоль/м<sup>2</sup>с, коефіцієнт ослаблення ФАР внаслідок хмарності розраховано як відношення опосередкованого за місяць сумарного значення надходження ФАР за добу до розрахованого згідно моделі «безхмарного неба» (5,8 кВт/м<sup>2</sup>) і



прийнятий 0,36. Поріг вмикання опромінювачів САУ заснованої на традиційному алгоритмі - 400 мкмоль/м<sup>2</sup>с.

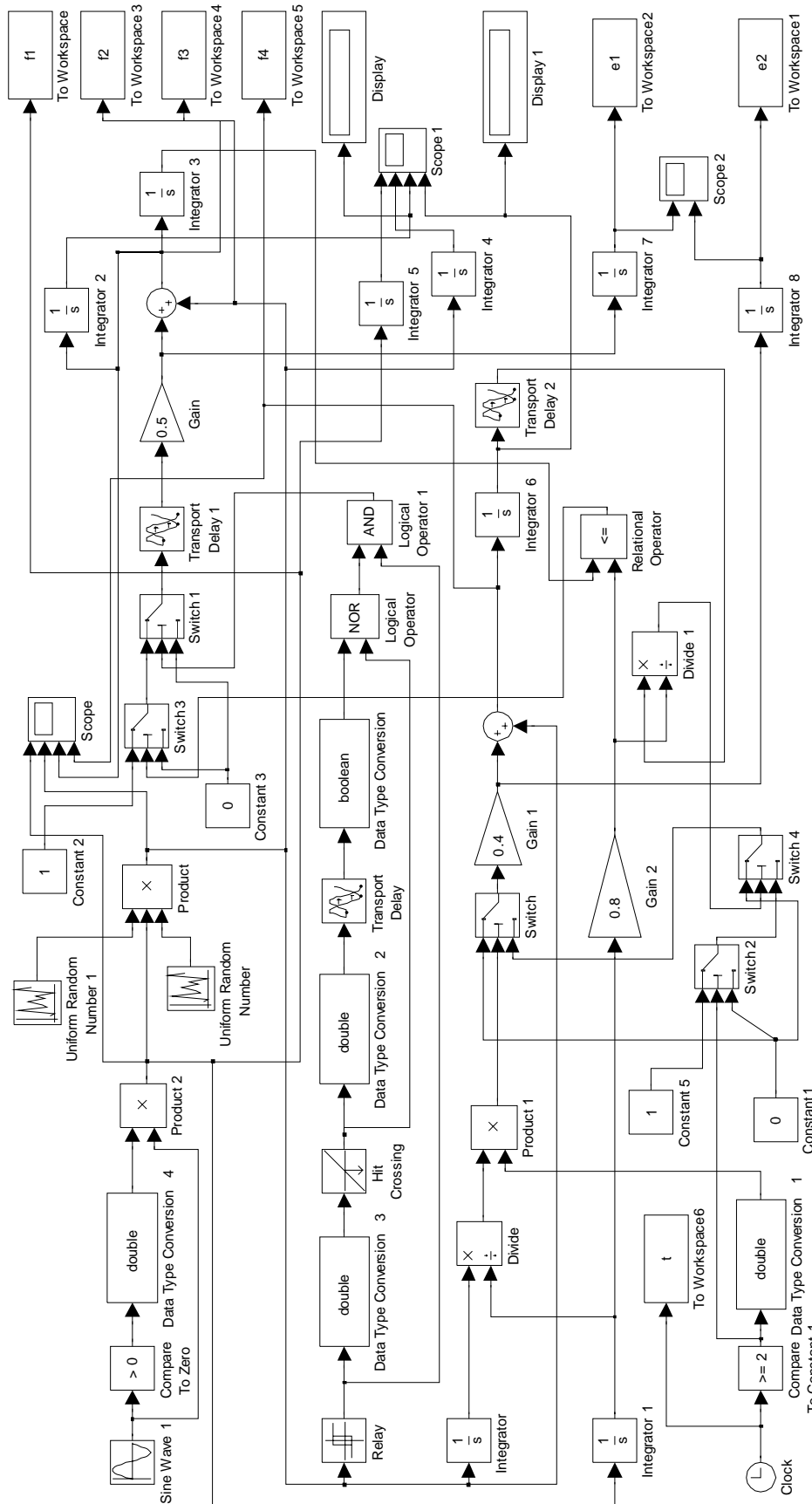


Рис. 1. Схеми моделі надходження сонячної радіації до теплиці у Simulink

Схема моделі у Simulink наведена на рисунку 1, результати моделювання на рисунках 2-4.

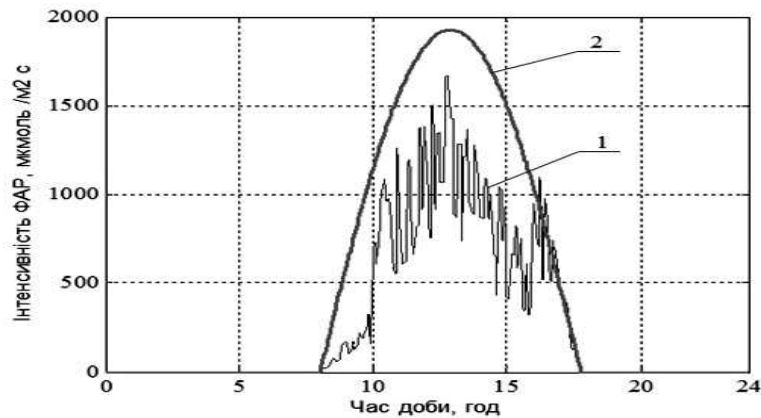
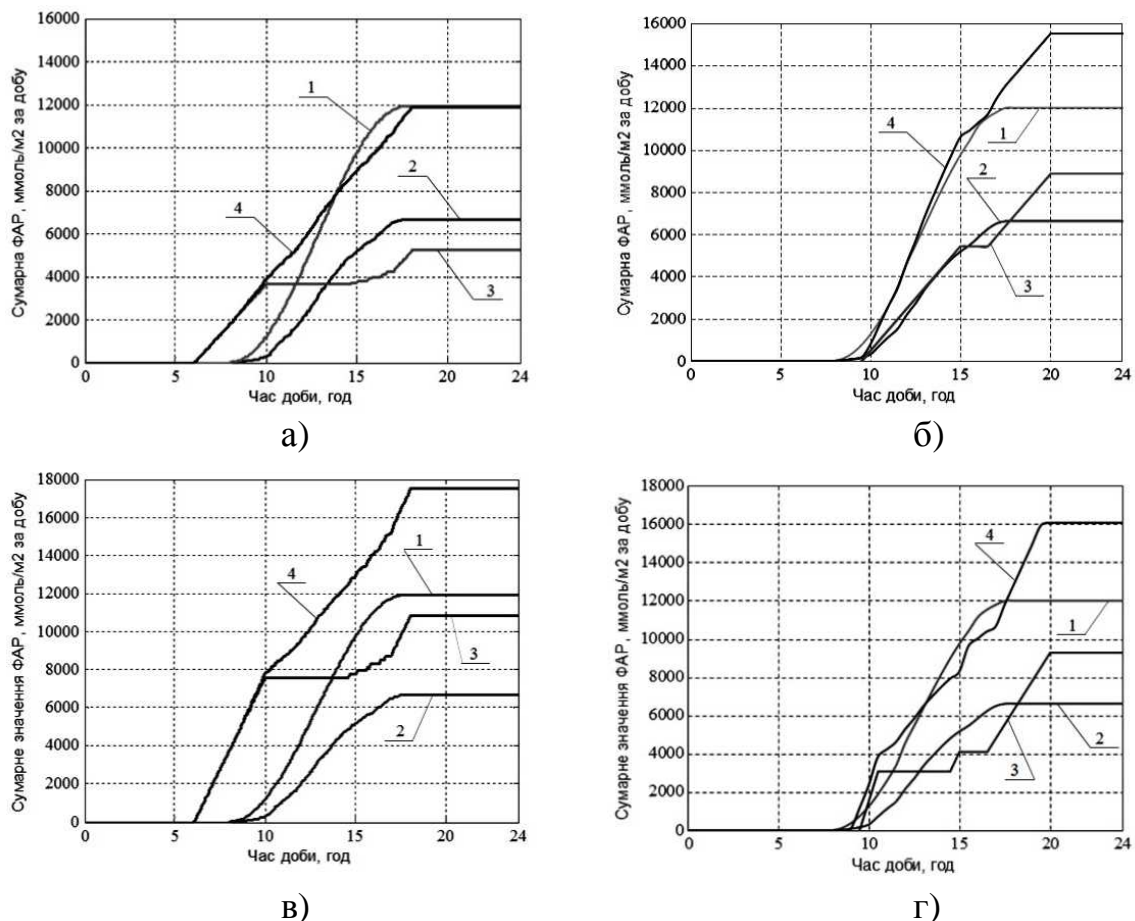


Рис. 2. Зміна інтенсивності надходження природної фотосинтезної радіації з урахуванням динаміки руху хмар (1) та згідно моделі «безхмарного неба» (2)



1 - природна згідно моделі «безхмарного неба», 2 – природна з урахуванням динаміки руху хмар, 3- від опромінювачів, 4 – загальна

Рис. 3. Накопичення ДС ФАР при роботі традиційної САУ (а, в) при встановленій потужності опромінювачів  $120 \text{ Вт/м}^2$  та  $250 \text{ Вт/м}^2$  відповідно та згідно запропонованого алгоритму ( б), г) відповідно)

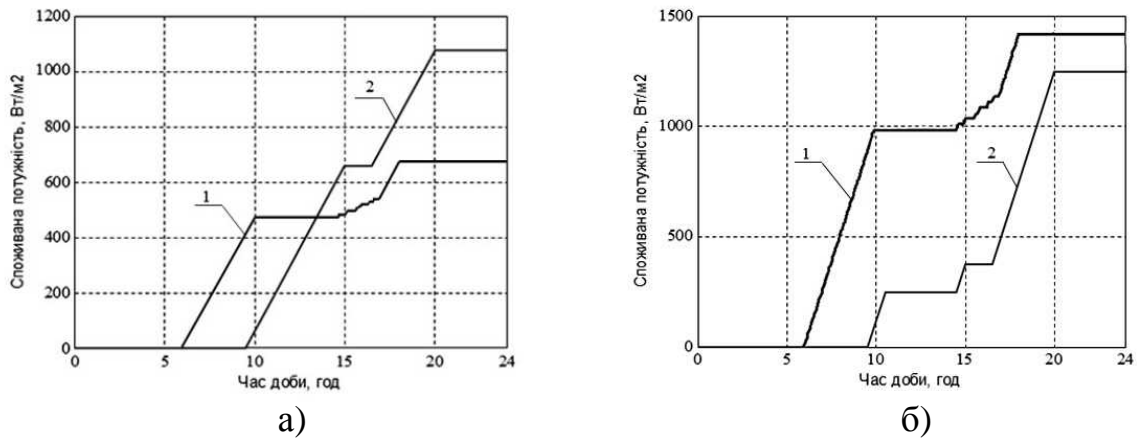


Рис. 4. Зміна енергоспоживання протягом доби при встановленій потужності опромінювачів 120 Вт/м<sup>2</sup> (а) та 250 Вт/м<sup>2</sup> (б) традиційної САУ та згідно запропонованої концепції (крива 1 та 2 відповідно)

Результати моделювання представлені в таблиці 1. Алгоритм роботи традиційної САУ позначено 1, запропонованої концепції – 2.

Таблиця 1 – Результати моделювання

| Алгоритм роботи САУ опромінення                                           | 1    | 2    | (2-1)/1, % |
|---------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|
| Встановлена потужність опромінювачів 120 Вт/м <sup>2</sup>                |      |      |            |
| Накопичена добова сума ФАР, моль/ м <sup>2</sup>                          | 12   | 15,8 | +31        |
| Відхилення ДС ФАР від агротехнологічної норми 16 моль/ м <sup>2</sup> , % | 25   | 1,2  | -          |
| Число включень опромінювачів, раз                                         | 7    | 2    | -71        |
| Час роботи опромінювачів, годин                                           | 5,7  | 9    | +11        |
| Споживана потужність, кВт/ м <sup>2</sup>                                 | 0,68 | 1,08 | +58        |
| Встановлена потужність опромінювачів 240 Вт/м <sup>2</sup>                |      |      |            |
| Накопичена добова сума ФАР, моль/ м <sup>2</sup>                          | 17,6 | 16   | -9         |
| Відхилення ДС ФАР від агротехнологічної норми 16 моль/ м <sup>2</sup> , % | 10   | 0    | -          |
| Число включень опромінювачів, раз                                         | 7    | 3    | -57        |
| Час роботи опромінювачів, годин                                           | 5,7  | 5    | -12        |
| Споживана потужність, кВт/ м <sup>2</sup>                                 | 1,42 | 1,25 | -12        |

**Висновки.** Значною перевагою розробленої концепції керування та алгоритму управління опромінювачами в порівнянні із роботою



традиційної релейної схеми є забезпечення точного надходження агротехнологічної норми фотосинтезної радіації до рослин. Система виявилася ефективною, оскільки з огляду економії електроенергії при завищеному значенні встановленої потужності опромінювачів та меншому числу включень ламп, забезпечується підвищення ресурсу роботи обладнання.

#### **Список використаних джерел**

1. *Brian R. Hunt. Matlab R2007* с нуля. / Перевод с английского. - М.: Лучшие книги, 2008. - 352 с.

2. *Сабо А.Г.* Підвищення ефективності енергоспоживання в спорудах 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.

3. *Сабо А.Г.* Алгоритм функціонування енергоощадної системи управління опроміненням рослин в спорудах захищеного ґрунту / *А.Г. Сабо, О.М. Речина, О.П. Цвілій* / Праці ДонНТУ вип.10.-т.2.-ДонНТУ, 2009. - С 25-28.

4. *Белогубова Е.Н.* Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: Учеб. пособие для агр. учеб. заведений I-IV уровня аккредитации по спец. 1310 «Агрономия» / *Е.Н.Белогубова* и др.-К.:ОАО «Изд-во « Киев. правда», 2006.- 528 с.

5. *Хромов С.П.* Метеорология и климатология: учебник.- 7-е изд./ *С.П. Хромов, М.А. Петросяниц.*-М.: Из-во Моск. ун-та: Наука, 2006. - 582 с.

### **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ САУ ОБЛУЧЕНИЕМ РАСТЕНИЙ**

Сабо А.Г., Речина О.Н.

**Аннотация** - приведена модель и результаты моделирования работы САУ облучением растений с использованием программы **Simulink**.

### **MODELING OF SOLAR RADIATION ARRIVAL PROCESS IN THE GREENHOUSE FOR THE PLANT ILLUMINATION MANAGEMENT USING SIMULINK**

A. Sabo, O. Rechyha

#### **Summary**

**The solar radiation arrival model in a greenhouse using Simulink is presented**