

УДК 631:563

ПОЛІКРИТЕРІАЛЬНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ПРИ ВИРОЩУВАННІ РОСЛИН В ТЕПЛИЦЯХ

Л.С. Червінський, доктор технічних наук, професор

Л. О. Сторожук, кандидат історичних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. *Обґрунтовано та запропоновано застосування полікритеріального методу моделювання в технологіях застосування оптичного опромінення при вирощуванні рослин в спорудах закритого ґрунту. Метою дослідження є розробка полікритеріальної математичної моделі процесу вирощування овочів у теплиці. Модель допомагає вирішити питання оптимізації процесу опромінення рослин з врахуванням особливостей технологічного процесу. Для реалізації запропонованого методу сформовано математичну модель та розглянуто основні фактори, що впливають на розвиток рослин. Показано, що розв'язуючи задачу оптимізації щодо зменшення собівартості продукції необхідно знайти оптимальні (ефективні) значення факторів впливу. Розрахунковим шляхом доведено необхідність вибору оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур та вираховування інформації про їхній стан. Математичне моделювання оптичних технологій в системах закритого ґрунту розглядається як один із основних варіантів вирішення питання енергозбереження при вирощуванні рослин.*

Ключові слова: *оптичні технології, математичне моделювання, фотосинтез, параметри, оптимізація процесу, енергозбереження*

Актуальність. Характерною особливістю сільськогосподарського виробництва на сучасному етапі є те, що частка електроенергії на освітлення та опромінення в собівартості продукції не просто зросла, а перетворилася у визначальний фактор. Це приводить до зміни підходів у створенні технологічних процесів та конструюванні установок для оптичних технологій, які ґрунтуються на підвищенні енергетичної ефективності опромінювальних пристроїв. Для вирішення цієї задачі широке застосування отримує моделювання технологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних теплиць показує, що витрати електроенергії в оптичних технологіях в аграрному секторі економіки становлять 15 – 20 % від загальних витрат у галузі. Це надає особливої актуальності проблемі енергозбереження в технологіях опромінення, важливе місце серед яких займає вирощування рослин у закритому ґрунті [1,2]. Застосування математичного моделювання для опромінення рослин в закритому ґрунті розглядається як один із напрямів енергозбереження.

Потрібно враховувати, що загальних рецептів для побудови моделей не існує. Модель повинна відображати лише найважливіші риси об'єкта дослідження, залишаючись, щоб уникнути простою, без другорядних факторів [4].

Мета дослідження - розробка полікритеріальної математичної моделі процесу вирощування овочів у теплиці та вирішення за її допомогою питання оптимізації процесу опромінення рослин, з врахуванням особливостей технологічного процесу, виду рослини, тощо.

Матеріали і методи дослідження. Основними факторами, що впливають на розвиток і ріст рослин є: оптичне випромінювання, засвоєння живильних речовин, вплив температури і вологості.

Модель залежності росту продуктивності рослин від характеристик режиму опромінення і інших головних факторів в загальному вигляді може бути представлена у вигляді виразу:

$$\frac{dW}{dt} = g(T, I, P, V) \quad (1)$$

де W – маса, кг; t – час, хв; T – температура, $^{\circ}\text{C}$; I – режим опромінення; P – засвоєння світлового потоку зеленою масою; V – вологісний режим.

Взаємодію сприймаючої поверхні рослини і падаючого світлового потоку можна описати виразом [5]:

$$I = I_0 \cdot e^{-kL} \quad (2)$$

де κ – коефіцієнт ефективності поглинання; I_0 – густина світлового потоку Вт/м², що падає на поверхню листа; I – густина світлового потоку Вт/м², що проникає в рослинному покриві на “глибину” L , при чому L за величиною дорівнює індексу площі листів зеленої маси рослини.

Закон розподілення зміни температури повітря в теплиці спрощено приймають наближеним до синусоїдального.

Середня температура T_N за добу N може бути визначена за виразом:

$$T_N = a_y + b_y \cdot \sin [360 \cdot (\frac{N - N_0}{365})] \quad (3)$$

де a_y - середньорічна температура, °С; b_y - амплітуда коливання температури; N_0 – початкова фаза апроксимуючої синусоїди.

При моделюванні процесу поглинання вологи слід враховувати те, що більша частина вологи, яка поглинається рослинами відразу покидає її, випаровуючись в атмосферу. Тільки близько 1 % води йде на ріст тканин і ще менше – на фотосинтез.

Ефективність використання води визначаємо за відношенням [6] :

$$V = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

де V_1 – фактична кількість сухої речовини рослини, кг; V_2 – кількість води, що бере участь у процесі транспірації, кг.

Під транспірацією слід розуміти процес проходження вологи в рослині починаючи від всмоктування і до випаровування у атмосферу.

Вводячи параметр чистої ефективності фотосинтезу α , кг/Дж [3], тобто відношення маси СО₂ до енергії активної світлової радіації можна знайти масу V , кг отриманої сухої речовини:

$$V = \frac{30}{44} \cdot \alpha \cdot f \cdot R \quad (5)$$

де f – коефіцієнт, що залежить від параметрів рослини; R – радіація, що поглинається рослиною, Дж/м².

Підставляючи типові чисельні значення змінних $f = 0,5$; $\alpha = 2,5 \cdot 10^6$ кг/Дж, і враховуючи те, що втрати на дихання рослини при фотосинтезі рівні $7 \cdot 10^9$ кг CO_2 /Дж, маємо: $V = 0,006$ кг сухої речовини / кг води [3].

На рисунку зображено блок-схему чинників, що впливають на вирощування культури в процесі її росту.

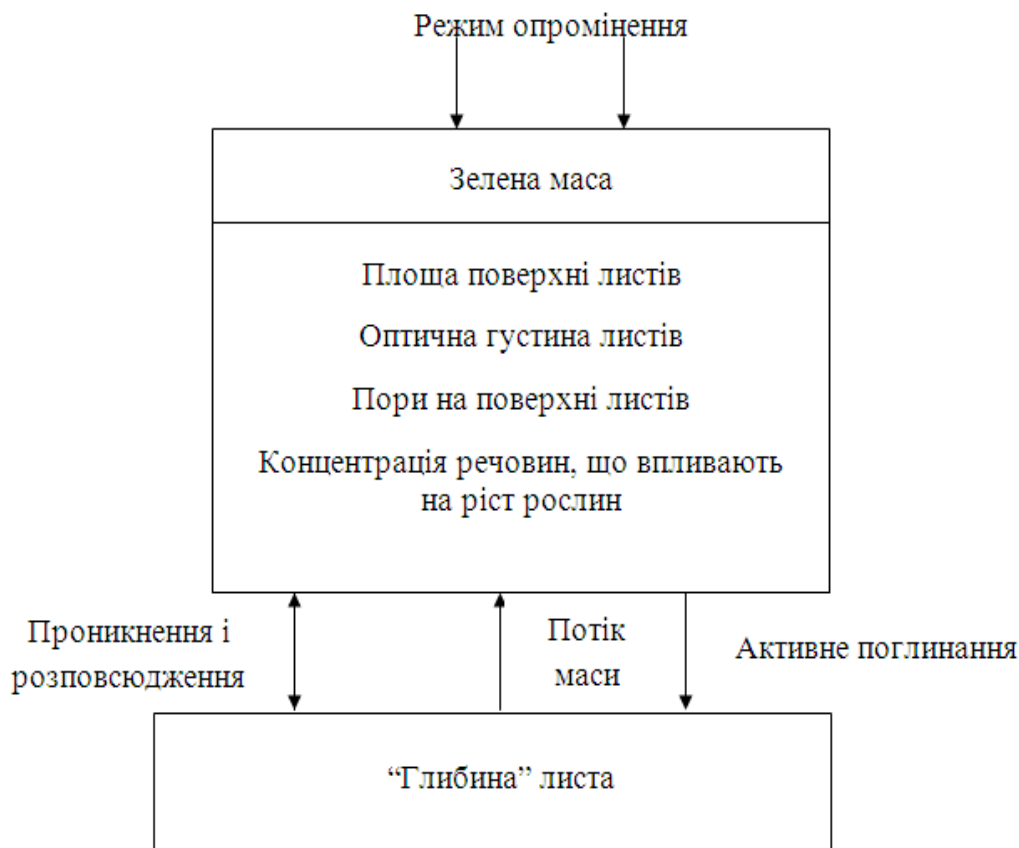


Рис. Блок-схема складових що впливають на ріст і продуктивність вирощуваних культур

Математичну модель впливу факторів опромінення в загальному вигляді можна представити так:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (6)$$

де b_0 – вільний член; b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти регресії; x_1, x_2, x_3 – інтенсивність (доза), час дії опромінення та спектральний склад світлового потоку. Взаємодію цих факторів характеризують три останні члени рівняння.

Задачею оптимізації у спорудах захищеного ґрунту є мета добитися екстремального результату:

- якщо вихідним результатом процесу є збільшення врожайності, то він (результат) повинен прагнути до максимального значення;
- якщо ж вихідним результатом є зменшення собівартості виробленої продукції, то цей результат має прагнути до мінімуму.

Позначимо I_1 – критерій, що визначає врожайність продукції (томати, огірки, редис, морква..).

Аналізуючи літературні дані, визначаємо такі основні фактори, що впливають на врожайність об'єктів дослідження:

- A_1 – інтенсивність оптичного опромінення, лк;
- A_2 – час дії опромінення, хв;
- A_3 – ефективний спектральний склад світлового потоку лампи опромінювача.

Тоді можна записати умову ефективності процесу опромінення:

$$I_1 = f(A_1, A_2, A_3) \rightarrow \max \quad (7)$$

Позначимо I_2 – критерій, що визначає собівартість вирощеної продукції.

При цьому:

$$I_2 = f(B_1, B_2) \rightarrow \min \quad (8)$$

де B_1 – вид світильника, в залежності від його вартості, яка визначає технічні характеристики та конструкцію світильника; B_2 – врожайність.

Оскільки збільшення врожайності призводить до зменшення собівартості продукції, то можна знехтувати постійною складовою - вартістю обладнання і записати:

$$I_2 = f(B_2) = f(A_1, A_2, A_3) \quad (9)$$

Таким чином, вирішуючи задачу оптимізації щодо зменшення собівартості продукції, необхідно знайти оптимальні (ефективні) значення факторів впливу запропонованим полікритеріальним методом. Причому це можна робити

найбільш прийнятними шляхами: враховуючи всі фактори одразу, або визначаючи кожен фактор окремо. Для визначення і аналізу факторів можна використовувати різні методи: математичний, експериментальний, метод експертних оцінок Дельфі, тощо.

Висновки і перспективи. Отримання якісної сільськогосподарської продукції при мінімальних витратах на її виробництво неможливе без створення якісних умов для її вирощування. Для вибору оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур необхідно враховувати інформацію про їхній стан, розглядати рослину, як об'єкт регулювання і розробляти відповідну систему регулювання параметрів навколишнього середовища, як систему зі зворотнім зв'язком. Застосування математичного моделювання оптичних технологій в системах закритого ґрунту розглядається як один із основних варіантів вирішення питання енергозбереження при вирощуванні рослин та отримання якісної продукції.

Список використаних джерел

1. Кадыров Х. К.. Синтез математических моделей биологических и медицинских систем / Кадыров Х. К., Антомонов Ю. Г. – К.: Наукова думка, 1974. – 220 с.
2. Трэмбач В. В. Физическое и математическое моделирование световых приборов / Трэмбач В.В.- М.: Энергия, 1975. – 159 с.
3. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів: Навч. посібник / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О.М. Берека, О. В. Окушко; за ред. Г. Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012 – 186 с.
4. Червінський Л.С. Світлокультура рослин. Процес становлення / Л. С. Червінський, Л. О. Сторожук // Енергетика і автоматика. – 2010. – № 3(5) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.nbu.gov.ua/e - journals/eia/2010-3/index.htm](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2010-3/index.htm) (електронне фахове видання).
5. Червінський. Л. С. Математичне моделювання просторової фотосинтезної опроміненості в спорудах захищеного ґрунту / Л. С. Червінський, Я. М. Луцак. // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2016. – Вип. №4. – С. 53–61.
6. Червінський Л. С. Теоретичне обґрунтування механізму керування впливом оптичного випромінювання на біологічні системи на основі

фотореактивації / Т. С. Книжка, О. І. Романенко, Я. М. Луцак // Науковий вісник НУБіП України. – 2016. – Вип. 242. – С 106 – 116.

References

1. Trembach, V. V. (1975) Fizicheskoye i matematicheskoye modelirovaniye svetovykh priborov [Physical and mathematical modeling of light devices]. Moscow,: Energiya, 159.

2. Inozemtsev, H. B., Chervinskyi, L. S., Bereka, O. M., Okushko, O. V. (2012). Fyzyko-tekhnolohichni ta elektrofizychni vlastyvosti silskohospodarskykh produktiv i materialiv [Physico-technological and electrophysical properties of agricultural products and materials]. Kyiv: TOV «Ahrar Media Hrup», 186.

3. Chervinskyi, L. S., Storozhuk, L. O. (2010)/ Svitlokultura roslyn. Protses stanovlennia [Light cultures of plants. The process of becoming]. Power and automation, 3(5) Available at : www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2010-3/index.htm.

4. Chervinskyi L. S., Lutsak Y. M. (2016). Matematychnе modeliuвання простorovoi fotosyntezy v sporudakh zakhyshchenoho hruntu [Mathematical modeling of spatial fotosyntezy 'exposure in buildings protected ground] Bulletin of the Ukrainian branch of the International Academy of Agricultural Education., 4, 53–61.

5. Chervins'kyi L. S., Knyzhka T. S., Romanenko O.I ., Lutsak Y. M. (2016). Teoretychne obhruntuvannya mekhanizmu keruvannya vplyvom optychnoho vyprominyuvannya na biolohichni systemy na osnovi fotoreaktyvatsiyi [Theoretical substantiation of the mechanism of control of the influence of optical radiation on biological systems on the basis of photoreactivation]. Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine, 242, 106–116.

ПОЛИКРИТЕРИАЛЬНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСА ОСВЕЩЕННЯ ПРИ ВИРАЩИВАННІ РАСТЕНЬ В ТЕПЛИЦАХ

Л. С. Червинский, Л. А. Сторожук

Аннотация. *Обосновано и предложено применение математического моделирования поликритериальным методом в технологиях применения оптического излучения при выращивании растений в сооружениях закрытого грунта. Для реализации предложенного метода сформировано математическую модель и рассмотрено основные факторы, которые формируют развитие растений. Показано, что для решения задачи оптимизации относительно уменьшения себестоимости продукции необходимо найти оптимальные (эффективные) значения факторов воздействия. Расчетным путем доказана необходимость выбора оптимальных условий выращивания сельскохозяйственных культур и расчет информации про их состояние.*

Ключевые слова: *оптические технологии, математическое моделирование, фотосинтез, параметры, оптимизация процесса, энергосбережение*

POLYCRITERIAL METHOD OF OPTIMIZATION OF THE LIGHTING PROCESS IN GROWING OF PLANTS IN HEATINGS

L. Chervinsky, L. Storozhuk

Abstract. *The article reasonably and application of полікритеріального method of design is offered in technologies of application of optical irradiation at growing of plants in building of the closed soil. A research aim is development of полікритеріальної of mathematical model of process of growing of vegetables at a hothouse. To decide the model of допомозає question of optimization of process of irradiation of plants taking into account the features of technological process. For realization of the offered method a mathematical model is formed and basic factors that influence on development of plants are considered. It is shown that deciding the task of optimization in relation to reduction to the unit cost it is necessary to find the optimal (effective) values of factors of influence. The necessity of choice of optimal terms of growing of agricultural cultures and calculating of information is well-proven a calculation way about their state. The mathematical design of optical technologies in the systems of the closed soil is examined as one of basic variants of decision*

Key words: *optical technologies, mathematical modeling, photosynthesis, parameters, process optimization, energy saving*