

Мониторинг, модель, переменные нормы внесения, прогностически-компенсационная технология.

The paper present an implementation model prognostically-compensation technology variable application rates of technological material using information technology systems to monitor the status of agricultural land, which allows for on basis of revised estimates of soil obtained from the monitoring system to assess the state of agricultural land and to take control strategy agrobiological potential field.

Monitoring, model, variable rate application, predictive-compensation technology.

УДК 631.589

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА

В.О. Мірошник, А.О. Дудник, кандидати технічних наук

Проведено обґрунтування алгоритму вибору оптимального керуючого рішення на основі застосування узагальненої функції бажаності Харрінгтона з метою підвищення енергетичної ефективності при керуванні біотехнічними системами.

Оптимізація, біотехнічна система, енергетична ефективність.

Постановка проблеми. Функціонування біотехнічних систем, котрі містять в собі поєднання біологічної та технічної складової, пов'язане з використанням значної кількості енергетичних ресурсів [1, 2, 7]. Відомими прикладами таких систем є промислові пташники, споруди закритого ґрунту, тваринницькі приміщення тощо. Проте, не зважаючи на високий рівень ефективності систем керування, що здатні підтримувати параметри із заданою точністю та використовують потужні обчислювальні можливості сучасних засобів автоматизації, досі не вдається досягти зменшення витрат енергоресурсів при максимальних показниках продуктивності.

Аналіз останніх досліджень. Алгоритми стабілізації технологічних параметрів на заданому рівні не передбачають в собі використання критерію оптимізації, що врешті відображається у

© В.О. Мірошник, А.О. Дудник, 2014

нераціональному використанні енергоресурсів. Побудова систем керування, які містять алгоритм пошуку оптимального керуючого рішення, але при цьому враховують і особливості біологічної складової біотехнічної системи є актуальним завданням досліджень, адже це дозволить не лише зменшити енергетичні витрати, але й забезпечити високі якісні й кількісні показники продуктивності біооб'єкта [5].

Метою досліджень є обґрунтування критерію оптимізації параметрів системи керування у вигляді безрозмірної функції бажаності Харрінгтона, котра містить локальні критерії мінімізації енергоресурсів та максимізації продуктивності біологічного об'єкта.

Результати досліджень. Як відомо, критерієм оптимізації керування є значення (максимальне або гарантоване) цільової функції керуючого рішення серед множини керуючих дій. Так, для досліджуваної системи пропонується використати приведення багатьох локальних критеріїв до однієї цільової функції за допомогою методу з використанням узагальненої функції бажаності, запропонованої Е. Харрінгтоном, яка може описуватись рівнянням узгоджених добутків:

$$F(x) = \prod_{k=1}^s f_k(x)^{\lambda_k} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де локальними критеріями f_k є приріст маси рослин за допомогою фотосинтезу, витрати енергії на нагрів повітря в теплиці і вентиляцію, витрати CO_2 на підживлення рослин, а λ_k – ваговий

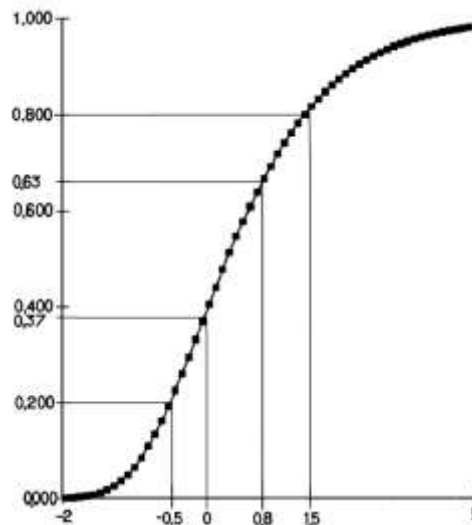
коефіцієнт, який $\lambda_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^s \lambda_k = 1$. Параметрами оптимізації є: x_1 – витрати природного газу на опалення теплиці, м^3 , приріст сухих речовин в результаті росту і розвитку томатів, %, а також температура повітря, яка повинна бути оптимальною для конкретного сорту, $^{\circ}\text{C}$.

Результати досліджень. З метою синтезу математичної залежності продуктивності біологічного об'єкта (томатів) проведено активний багатофакторний експеримент [3, 4]. Для проведення експерименту використовувалась камера штучного клімату, яка містить ящик з вегетаційними посудинами для вирощування томатів, резервуар з живильним розчином, насос, зволожувач повітря, ємність для подачі CO_2 , лампи освітлення камери, вентилятор камери, нагрівач повітря камери, датчик температури, датчик освітленості, газоаналізатор CO_2 , силовий блок, мікропроцесор.

В результаті проведення активного багатофакторного експерименту отримано залежність інтенсивності фотосинтезу від параметрів мікроклімату у вигляді поліноміального рівняння:

$$y = 1,51847 + 0,14802x_1 + 0,499x_2 + 0,281x_3 + 0,032x_1x_2 - 0,023x_1x_3 - 0,397x_2x_3 - 0,0013x_1^2 - 0,164x_2^2 + 0,179x_3^2, \quad (1)$$

де x_1 – температура, °C; x_2 – інтенсивність сонячної радіації, Вт/м²; x_3 – вміст CO₂, %.



Синтез математичної моделі системи керування, що функціонує у досліджуваному біотехнічному об'єкті (ПАТ «Комбінат «Тепличний») здійснено з використанням статистичних даних про залежність витрат природного газу на опалення теплиці від таких параметрів: зовнішньої та внутрішньої температури повітря та інтенсивності сонячної радіації, тобто статичної характеристики об'єкта (рис. 1). Розроблено математичну модель у вигляді поліноміального рівняння другого порядку, де коефіцієнти рівняння визначались за методом найменших квадратів. Визначено залежність витрат природного газу від температури повітря у теплиці (T_1 , °C), зовнішньої температури повітря (T , °C) та інтенсивності сонячної радіації (R , Вт/м²).

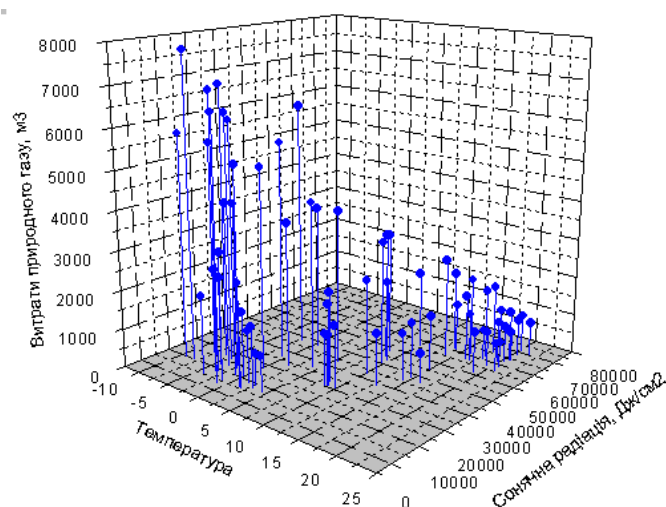


Рис. 1. Статична характеристика біотехнічної системи.

$$P(T, T_1, R) = -6,213 \cdot 10^{-3} + 1,86 \cdot T + 5,92 \cdot T_1 + 0,038 \cdot R + 0,314 \cdot T \cdot T_1 - 3,257 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot R + 7,41 \cdot 10^{-4} \cdot T_1 \cdot R - 0,056 \cdot T^2 - 0,023 \cdot T_1^2 + 1,39 \cdot 10^{-5} \cdot R^2 \quad (2)$$

Середньоквадратична похибка визначалась за виразом:

$$SP := \sqrt{\frac{\sum_i (P_i - PP(T_i, T_i, R_i))^2}{N}} \quad (3)$$

На рис. 2 наведено експериментальну та розраховану залежності витрат природного газу від температури повітря та від інтенсивності сонячної радіації.

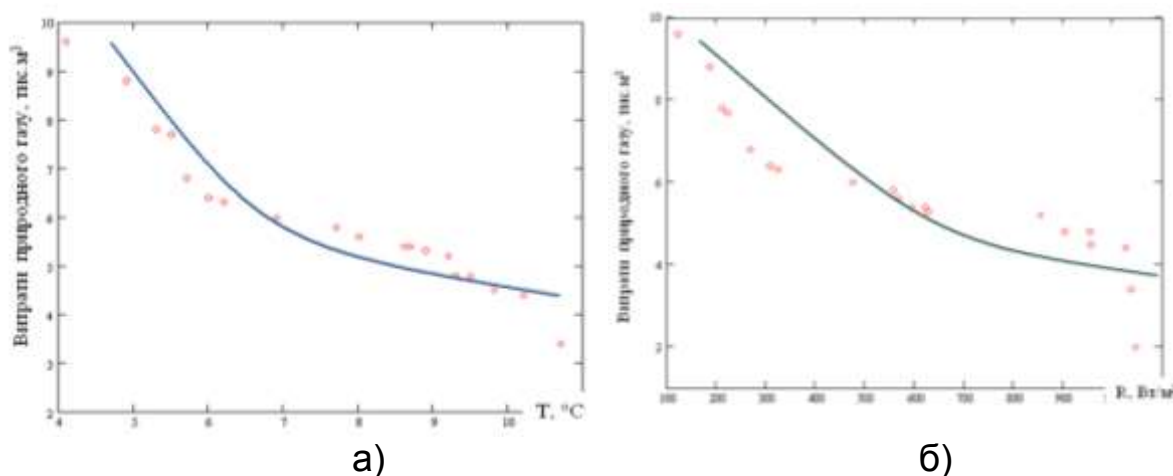


Рис. 2. Залежність (експериментальна та розрахована) витрат природного газу від зовнішньої температури повітря (а) та від інтенсивності сонячної радіації (б).

Цільовою функцією є узагальнений критерій оптимізації $F(X)$, який мінімізує енергетичні затрати f_1 та враховує максимальний приріст томатів f_2 . Беручи до уваги більшу важливість двох перших факторів, вагові коефіцієнти вибрані у наступному співвідношенні:

$$F(X) = f_1^{0,4} f_2^{0,4} f_3^{0,2} \rightarrow \max ,$$

Рівні значущості, при переведенні факторів в безрозмірну форму методикою Харрінгтона, вибираються згідно технологічних вимог. Обмеження на параметри оптимізації такі:

$$0 \leq x_1 \leq 80000, \text{ м}^3; 15 \leq x_2 \leq 35, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

На рис. 3 приведено блок-схему алгоритму, за яким відбувається перетворення локальних критеріїв у безрозмірну форму.

1) Введення значень інтервалів бажаностей d_i і інтервалів значень локального критерію оптимізації в натуральній формі, які відповідають бажаностям f_i .

2) Введення перетворюваного натурального значення локального критерію оптимізації f_H .

3-4) Розрахунок масиву проміжних значень параметра y_i .

5-8) Блок схема враховує, що із зменшенням натурального значення локального критерію оптимізації функція бажаності буде зростати. Тому, коли значення критерію перевищує максимальне, то бажаність буде “дуже погано” і значення критерію в безрозмірній формі f_6 буде дорівнювати 0,01 і коли буде менше мінімального, то бажаність буде “дуже добра” і f_6 дорівнюватиме 0,99.

9-12) Вибір інтервалу для інтерполяції критерію.

13) Перетворення натуральної форми критерію в проміжне значення параметра y за допомогою методу лінійної інтерполяції.

14) Перетворення критерію з проміжного значення в безрозмірну форму з використанням функції бажаності Харрінгтона.

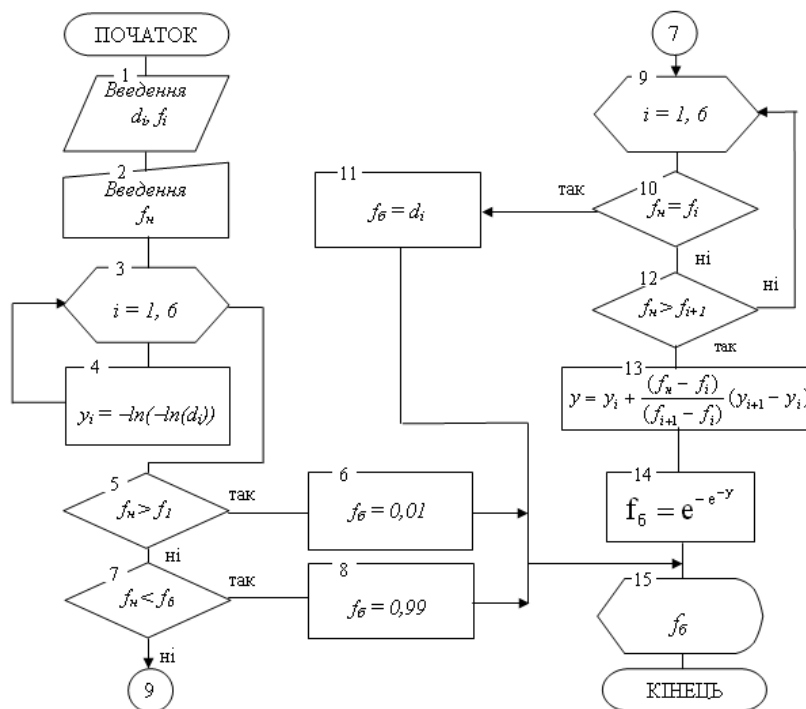


Рис. 3. Блок схема приведення критерію у безрозмірну форму за методикою Харрінгтона.

В результаті отримаємо оптимальне значення параметрів мікроклімату (температури повітря), котрі призведуть до максимального приросту овочевої маси при мінімальних витратах енергоносіїв на опалення.

Висновки

При функціонуванні складних біотехнічних систем важливими її показниками є співвідношення вирощеної продукції та енергетичних витрат на її отримання.

Синтезовані математичні моделі приросту овочів та енергетичних витрат на вирощування томатів у теплицях дозволил використати узагальнений критерій Харрінгтона з метою оптимізації.

Список літератури

1. Клешнин А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / А.Ф. Клешнин. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 456 с.
2. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О. Дудник // Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 3. – С. 104–112.
3. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения ее продуктивности / А.А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1997. – С. 511–527.
4. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза / И.А. Тарчевский. – М.: Высшая школа, 1977. – 253 с.
5. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels / D.Schwarz, H.-P.Klaring, M.W.van Iersel, K.T.Ingram, J. Amer. Soc. Hort. Sci. №127(6) 2002, p.984 – 990.
6. Schrader D.H., Mc Nelis D.D. Microwave Irradiation of Plant Roots in soil. – J. of Microwave Power. –1975. – Vol. 10, № 1. – P. 77–91.
7. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and CO₂ Concentrations // Annals of Botany. – 1979. – Vol. 38, Issue 2. – P. 389–400.

Проведено обоснование алгоритма выбора оптимального управляющего решения на основе применения обобщенной функции желательности Харрингтона с целью повышения энергетической эффективности при управлении биотехническими системами.

Оптимизация, биотехническая система, энергетическая эффективность.

The substantiation of optimal control algorithm was performed. The algorithm based on generalized Harrington function, which allows to increase energy efficiency of control systems for biotechnological objects.

Optimization, biotechnical system, energy efficiency.