

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛИЦЬ

В.П. Лисенко*, докт.техн.наук, **І.М. Болбот****, канд.техн.наук, **Т.І. Лендел*****, канд.техн.наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна,
e-mail: lysenko@nubip.edu.ua, igor-bolbot@ukr.net, taraslendel@rambler.ru

Розроблено енергоефективну систему керування електротехнологічним комплексом промислових теплиць, котра на основі оцінки якості рослинної продукції, як інформації зворотного зв'язку, із використанням функції бажаності Харрінгтона, дає змогу визначити значення параметрів мікроклімату (температури та вологості повітря), температури рослин, що сукупно забезпечує максимізацію прибутку виробництва. До складу такої системи входить інтелектуальний мобільний робот, який, переміщуючися площею теплиці, вимірює основні параметри мікроклімату атмосфери в споруді закритого ґрунту, здійснює фітотомоніторинг, у тому числі оцінює якість продукції. Бібл. 10, рис. 3.

Ключові слова: енергоефективна система, електротехнологічний комплекс, біотехнологічний об'єкт, якість продукції, нейронна мережа, мобільний робот, вейвлет-перетворення.

У теплицях, біотехнологічних об'єктах, які містять біологічну складову – рослини, технологічні параметри мікроклімату, що створюють умови для вирощування рослин, підтримуються відповідними системами, функціонування котрих супроводжується значними витратами енергетичних ресурсів, а це, у свою чергу, суттєво впливає на собівартість виробленої продукції. Так, при вирощуванні томатів доля енергетичних ресурсів у структурі собівартості продукції при її виробництві за голандськими технологіями іноді сягає 70% (лише добове споживання енергоносіїв для одного блока теплиць № 9 ПрАТ «Комбінат «Тепличний» Київської області у весняний період становить до 5000 м³ (56 %) природного газу, а електричної енергії – близько 6000 кВт·год (14 %)).

До зазначених вище технологічних параметрів належать температура і вологість повітря, концентрація вуглецю в повітрі, температура рослин, інтенсивність світлового опромінення. Вибір відповідних технологічних режимів, як показали дослідження [1,2,5], досягається через використання таких критеріїв як мінімізація енергетичних витрат, максимізація прибутку підприємства за умов, що якість виробленої продукції при цьому забезпечується. Досягнути зазначеної мети можливо через використання сучасних комп'ютерно-інтегрованих систем керування електротехнічними комплексами-пристроями (електроприводами насосів, вентиляторів, регулювальних органів тощо). До складу таких систем входить також розгалужена мережа давачів температури, вологості та концентрації вуглекислого газу тощо, що суттєво збільшує вартість системи керування і відповідно – продукції [6,7].

Скоротити витрати в процесі вирощування продукції у сучасних теплицях дає змогу розроблений у НУБіП України мобільний інтелектуальний робот, котрий, переміщуючися площею теплиці технологічними направляючими, вимірює параметри атмосфери повітря в теплиці, безконтактно оцінює якість рослинної продукції з прив'язкою до місця знаходження та передає ці параметри до центральної системи керування, яка і формує відповідні стратегії керування.

Метою роботи є побудова математичної моделі максимізації прибутку промислової теплиці, що враховує якість рослинної продукції, і на цій основі розроблення енергоефективної системи керування електротехнічними комплексами-пристроями, до складу якої входить інтелектуальний мобільний робот.

Результати досліджень. Інтелектуальний мобільний робот (далі робот) оснащений: давачами температури, вологості, концентрації вуглекислого газу в атмосфері теплиці, температури рослини; технічними пристроями зору, що здатні оцінювати розміри плода та його стиглість за кольором; GPS-навігацією для встановлення координат вимірювання. Переміщуючися площею теплиці, робот: формує маршрути переміщень за ключовими точками, оптимізує маршрут та споживання енергії акумуляторної батареї; керує швидкістю обертання електроприводів; відстежує рівень заряду акумуляторних батарей та, за потреби, здійснює підзарядку; передає отриману інформацію до центральної системи керування. Для реалізації зазначеного пропонуються рівні ієрархії керування таким роботом: стратегічний, тактичний, виконавчий. При цьому робот побудовано за модульним принципом із використанням сучасних мікропроцесорної елементної бази Raspberry pi3, Arduino та програмних середовищ LabVIEW, ROS, Node-RED, Arduino IDE, що дає суттєві переваги при його налагодженні.



Рис. 1

$$f(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} \lambda_{r,i,j}^{HH} \varphi_{r,i}(x) \varphi_{r,j}(y) + \sum_{y=r}^{\infty} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} (\lambda_{y,i,j}^{HV} \varphi_{y,i}(x) \psi_{y,j}(y) + \lambda_{y,i,j}^{VH} \psi_{y,i}(y) \varphi_{y,j}(x) + \lambda_{y,i,j}^{VV} \psi_{y,i}(y) \psi_{y,j}(x)), \quad (1)$$

де $\varphi_{y,i}(x) = 2^{y/2} \varphi(2^y x - i)$, $\psi_{y,j}(x) = 2^{y/2} \varphi(2^y x - j)$, $\varphi_{y,j}(x) = 2^{y/2} \varphi(2^y x - j)$, $\psi_{y,i}(y) = 2^{y/2} \varphi(2^y y - i)$, $i = \overline{1, w}$, $j = \overline{1, h}$ – розмірність розпізнаного зображення, r – глибина вейвлет-розкладу функції; $\lambda_{r,i,j}^{VV}$, $\lambda_{y,i,j}^{HV}$, $\lambda_{y,i,j}^{VH}$, $\lambda_{y,i,j}^{HH}$ – коефіцієнти вейвлет-перетворення.

Знайдені вейвлет-коефіцієнти розкладаються у просторі власних векторів. Таким чином знаходиться вектор ознак для вхідного зображення. Потім знаходяться відстані між отриманим вектором ознак і кожним із векторів навчальної вибірки. Об'єкт, що відповідає умові мінімальної різниці відстані між отриманим вектором ознак і кожним із векторів навчальної вибірки, і є розпізнаним об'єктом.

Для реалізації енергоефективної стратегії керування тепличними електротехнологічними комплексами з використанням інформації про стан біологічної складової були використані штучні нейронні мережі, оскільки вирішення означеної задачі здійснювалося в умовах невизначеності, що формуються природними збуреннями та особливостями біологічної складової [8, 9, 10]. Найвищу точність при цьому показали нейронні мережі зі структурою «багатошаровий перцептрон». За результатами використання нейронних мереж отримано залежності якості продукції від температури повітря та рослини (рис. 2), прибутку від кількості продукції та її якості (рис. 3).

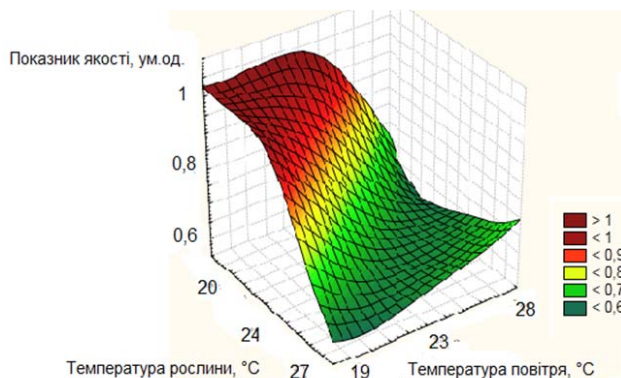


Рис. 2

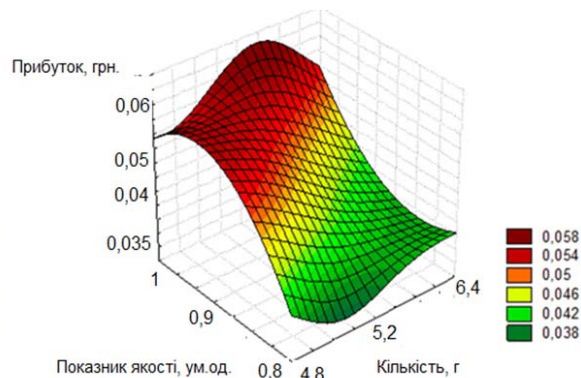


Рис. 3

Оскільки статистичні спостереження були порівняно нетривалими (продовжувалися протягом сезону вирощування плодів), було прийняте рішення про опис поверхонь відгуків рівняннями регресії, які потім використовувалися для продовження навчання нейромереж. Зазначене дало можливість уточнювати рівняння рег-

ресії. Використавши стандартну методику [4], отримали остаточні рівняння регресії із середньоквадратичною похибкою, що не перевищує 2,7 %:

$$Y(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi) = -4,96 + 0,059 \cdot \Theta_p - 0,243 \cdot \Theta_{II} + 0,125 \cdot \varphi + 0,027 \cdot \Theta_p \cdot \Theta_{II} + 0,0031 \cdot \Theta_p \cdot \varphi - 0,0091 \cdot \Theta_{II} \cdot \varphi - 0,0175 \cdot \Theta_p^2 - 0,0175 \cdot \Theta_{II}^2 - 0,001 \cdot \varphi^2, \quad (2)$$

$$B(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi) = -4,236 + 0,059 \cdot \Theta_p - 0,499 \cdot \Theta_{II} + 0,257 \cdot \varphi + 0,0113 \cdot \Theta_p \cdot \Theta_{II} - 0,0063 \cdot \Theta_p \cdot \varphi + 0,008 \cdot \Theta_{II} \cdot \varphi + 2,873 \cdot \Theta_p^2 - 0,0054 \cdot \Theta_{II}^2 - 0,0022 \cdot \varphi^2, \quad (3)$$

де Θ_p – температура рослини, °C; Θ_{II} – температура повітря, °C; φ – вологість повітря, %; Y – залежність якості продукції від технологічних параметрів (у безрозмірній формі); B – енергетичні витрати.

Прибуток підприємства залежить від якості рослинної продукції та видатків на забезпечення технологічних режимів. Максимізацію прибутку можна забезпечити шляхом формування відповідних стратегій керування електротехнічними комплексами-пристроями, що супроводжують технологію вирощування рослинної продукції. Із використанням експертних оцінок сформувавши узагальнений критерій оптимальності:

$$F_6 = Y^{0.5} \cdot B^{0.5} \rightarrow \max, \quad (4)$$

де F_6 – узагальнений критерій оптимізації (функція бажаності Харрінгтона в безрозмірній формі); Y – якість продукції (у безрозмірній формі); B – енергетичні витрати (у безрозмірній формі); показник 0,5 використовується як ваговий коефіцієнт (прийнято однаковими, оскільки Y і B впливають однаково на прибуток виробництва [3]).

Залежності (2) і (3) переведемо у безрозмірну форму та побудуємо шкалу бажаності за Харрінгтоном. Основою побудови узагальненого критерію за Харрінгтоном є ідея перетворення отриманих значень показників (у різних одиницях виміру) у безрозмірну шкалу бажаності. Для цього використаємо вираз

$$y_6 = e^{-e^{-y}}, \quad (5)$$

де y_6 – функція бажаності за Харрінгтоном (у подальших розрахунках – F_6); y – функція, що досліджується (у подальших розрахунках – поточне значення F).

Узагальнений критерій оптимізації F (функція бажаності Харрінгтона в безрозмірній формі) забезпечує на поточний момент реалізацію максимально можливого прибутку виробництва. При цьому перша складова прямує до максимуму якості, друга – до мінімуму витрат і визначається як

$$F(Y(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi), B(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi)) = (Y(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi))^{0.5} \cdot (B(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi))^{0.5} \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$Y(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi) \rightarrow \max, \quad B(\Theta_p, \Theta_{II}, \varphi) \rightarrow \min.$$

Для утворення ліній рівня (значень, які можуть прийматися) проведено оптимізацію із використанням (6) за методом Харрінгтона [9], що через узагальнений критерій дає змогу знайти область значень, коли досягатиметься максимально можливий показник бажаності. Визначено, що при температурі рослини 21,3 °C, температурі повітря 22,5 °C та вологості повітря 60% можливе виробництво якісної продукції з показником Y в межах максимального свого значення за умов мінімізації енергетичних витрат у складовій собівартості продукції. Таким чином зменшення споживання природного газу складає 8%.

Висновки. Отримано: рівняння регресії із середньоквадратичною похибкою, що не перевищує 2,7 %, які використовуються для розрахунку стратегій керування електротехнічними комплексами-пристроями для максимізації прибутку підприємства; при цьому стратегії керування, на відміну від традиційних, враховують не лише технологічні параметри, а й якість рослинної продукції.

Розроблено: систему керування електротехнологічним комплексом у промисловій теплиці, до складу якої, окрім традиційних складових, входить інтелектуальний мобільний робот, котрий переміщуючися площею теплиці технологічними направляючими, моніторить параметри атмосфери та фітостан рослин із прив'язкою до місця дислокації, передає отриману інформацію системі для формування стратегій керування електротехнічними комплексами-пристроями, що дає змогу зменшити споживання природного газу теплицею площею 4 га за добу до 400 м³ (8 %). При цьому максимізація прибутку підприємства досягається на основі використання методу Харрінгтона (мінімізуються енергетичні витрати та забезпечується висока якість кінцевої продукції).

1. Прищеп Л.Г. Автоматизация и электрификация защищенного грунта. Москва: Колос, 1976. 320 с.
2. Агарков А.М., Шишко Г.Г. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц. Киев: Будивельник, 1985. 120 с.
3. Гольцев Д.Г. Сутьність та маркетинговий підхід до поняття «якість» у системі управління якістю. *Актуальні проблеми економіки*. 2009. № 3. С. 79-88.
4. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. Москва: Физматлит, 2003. 216 с.
5. Korobiichuk I. Mathematical model of precision sensor for an automatic weapons stabilizer system. *Measurement*. 2016. № 89. Pp. 151-158.
6. Карпов В.Э., Вальцев В.Б. Динамическое планирование поведения робота на основе сети «интеллектуальных» нейронов. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. № 2. С. 58-69.

7. Voronin, A.N., Yasinsky, A.G., Shvorov, S.A. Synthesis of compromise-optimal trajectories of mobile objects in conflict environment. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2002. No 34(2). Pp. 1-8.

8. Lysenko V., Dudnyk A. Automation of biotechnological objects. Proceeding soft he XIII Internal conference TCSET'2016 «Modern Problems of Radio Engineers, Telecommunication and Computer Sciens». Lviv, Slavsko, Ukraine, 23-26 Februari 2016. Pp. 44-46.

9. Korobiichuk I., Lysenko V., Reshетиuk V., Lendiel T., Kamiński M. Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production. In International Conference on *Systems, Control and Information Technologies*. Springer International Publishing, 2016. Pp. 243-251.

10. Лисенко В.П., Лендел Т.І. Моделі для формування оптимальних стратегій керування у спорудах закритого ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2015. Вип. 10. С. 45-48.

УДК 681.516.75:631.234

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ

В.Ф. Лысенко, докт.техн.наук, **И.М. Болбот**, канд.техн.наук, **Т.И. Лендел**, канд.техн.наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

ул. Героев Обороны, 15, Киев, 03041, Украина,

e-mail: lysenko@nubip.edu.ua, igor-bolbot@ukr.net, taraslendel@rambler.ru

Разработана энергоэффективная система управления электротехнологическим комплексом промышленных теплиц, которая на основе оценки качества растительной продукции как информации обратной связи, при использовании функции желательности Харрингтона позволяет определить значения параметров микроклимата (температура растения, температура и влажность воздуха), обеспечивающие максимизацию прибыли производства. Для фитомониторинга разработан мобильный роботизированный электротехнический комплекс, способный перемещаться площадью теплицы. Такой комплекс обеспечивает мониторинг основных параметров микроклимата, фитомониторинг, в том числе качество продукции. Библ. 10, рис. 3.

Ключевые слова: энергоэффективная система управления, электротехнологический комплекс, биотехнологический объект, качество продукции, нейронная сеть, мобильный робот, вейвлет-преобразование.

ENERGY EFFICIENT SYSTEM OF ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX CONTROL IN INDUSTRIAL GREENHOUSE

V. Lysenko, I. Bolbot, T. Lendel

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine,

e-mail: lysenko@nubip.edu.ua, igor-bolbot@ukr.net, taraslendel@rambler.ru

Developed energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. Assessment of quality of plant products based on the use of desirability functions Harrington. This allows to define the parameters of the microclimate (temperature plants, temperature and humidity), profit maximizing production. Developed mobile robot that is able to move through the greenhouse. The mobile robotic performs measurements of the main microclimate parameters in the greenhouse and evaluates the quality of the product. References 10, figures 3.

Key words: energy efficient system, electrotechnological complex, biotechnological object, production quality, neural network, mobile robot, wavelet transform.

1. Pryshchepa L.H. Automation and electrification of protected ground. Moskva: Kolos, 1976. 320 p. (Rus)

2. Aharkov A.M., Shyshko H.H. Rational use of fuel and energy resources in the operation of greenhouses. Kiev: Budivelnik, 1985. 120 p. (Rus)

3. Holtsev D.H. The essence and marketing approach to the concept of quality in the quality management system. *Aktualni problemy ekonomiky*. 2009. No 3. Pp. 79-88. (Ukr)

4. Kryanev A.V., Lukin H.V. Mathematical methods for processing indeterminate data. Moskva: Fizmatlit, 2003. 216 p. (Rus)

5. Korobiichuk I. Mathematical model of precision sensor for an automatic weapons stabilizer system. *Measurement*. 2016. No 89. Pp. 151-158.

6. Karpov V.E., Valtsev V.B. Dynamic planning of robot behavior based on the network of intelligent neurons. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii*. 2009. No 2. Pp. 58-69. (Rus)

7. Voronin, A.N., Yasinsky, A.G., Shvorov, S.A. Synthesis of compromise-optimal trajectories of mobile objects in conflict environment. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2002. No 34 (2). Pp. 1-8.

8. Lysenko V., Dudnyk A. Automation of biotechnological objects. Proceeding soft he XIII Internal conference TCSET'2016 *Modern Problems of Radio Engineers, Telecommunication and Computer Sciens*. Lviv, Slavsko, Ukraine, 23-26 Februari 2016. Pp. 44-46.

9. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Reshетиuk, V., Lendiel, T., Kamiński, M. Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production. In International Conference on *Systems, Control and Information Technologies*. Springer International Publishing, 2016. Pp. 243-251.

10. Lysenko, V.P., Lendyel, T.I. Models for the formation of optimal management strategies in plants under glass. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2015. Issue 10. Pp. 45-48. (Ukr)

Надійшла 02.03.2018
Остаточний варіант 19.01. 2019