состояниях системы. В момент переключения программ устойчивость реактора обеспечивается за счет дополнительного регулятора нейтронной мощности , данный регулятор может затянуть момент переключения , но в значительной мере уменьшает вероятность аварийной ситуации.

Таким образом усовершенствованная АСР будет обеспечивать необходимую устойчивость и надежность работоспособности реактора АЭС.

Литература

1. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control [Text] / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Пр. Одес. політехн. ун-ту. — Одеса, 2012. — Вип. 1(38). — С. 99-106;
2. Цисельская, Т. А. Усовершенствованная АСР енергоблоком реактора [Текст] / О. Б. Максимова, Т. А. Цисельская//тез. доп.10-та між нар. наук.-практ. конф. по атом. Енергетиці, Севастополь, 2002. - С. 33 - 40;
3. Фощ, Т.В. Анализ влияния методов управления мощностью энергоблока с водо-водяным реактором на аксиальный офсет / Т.В. Фощ, М. В. Максимов, М. В. Никольский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ,2014 - С. 19 - 27 .

References

1. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control [Text] / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T.A. Tsiselskaya//Pr. Odes. politehn. un-tu. - Odesa, 2012. - Vyp. 1(38). - p. 99-106;
2. Tsiselskaya, T. A. Usovershenstvovannaya ASR energoblokom reaktora [Tekst] / O. B. Maksimova, T. A. Tsiselskaya // tez. dop. 10-ta mIzh nar. nauk.–prakt. konf. po atom. EnergetitsI, Sevastopol, 2002. – S. 33 – 40;
3. Fosch, T.V. Analiz vliyaniya metodov upravleniya moschnostyu energobloka s vodo-vodyanyim reaktorom na aksialnyiy ofset / T. V. Fosch, M. V. Maksimov, M. V. Nikolskiy // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy ,2014 - S. 19 - 27.

Отримано в редакцію: 11.07.2015 р./ Прийнято до друку: 21.08.2015 р./ Received by edition: 11.07.2015. Approved for the press: 21.08.2015

УДК 631.171

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ ТОМАТІВ В ТЕПЛИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА

В. П. Лисенко[1], В. О. Мірошник[1], Т. І. Лендєл[2]

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ,
[1]E-mail: lysenko@nubip.edu.ua
[2]E-mail: taraslendel@rambler.ru

CC BY ONAFT Open Access

DOI: 10.15673/

Анотація

Для споруд закритого ґрунту обґрунтовано метод формування стратегій керування електротехнічними комплексами, котрий на основі врахування якості рослинної продукції та витрат на забезпечення технологічних параметрів максимізує прибуток виробництва. Зазначені стратегії формуються із використанням нейронних мереж та функції бажаності Харрінгтона.

Abstract

For buildings closed ground grounded method of forming management strategies electrotechnical complexes, which is based on consideration of the quality of production and costs of process parameters to maximize revenue production. These strategies are formed using neural networks and desirability functions Harrington.

АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Ключові слова

Нейронна мережа, функція бажаності Харрінгтона, якість, прибуток

Для тепличних комбінатів при виробництві овочевої продукції найважливішим завданням є отримання максимально-можливого прибутку, величина котрого визначається обсягами продукції, її якістю та витратами, що супроводжують виробництво. Зазначене можливо досягти шляхом створення систем автоматизації, що формують стратегії керування електротехнічними комплексами, котрі, із врахуванням біологічних особливостей рослин, природних збурень та якості рослинної продукції, забезпечують вирішення такої задачі.

Мета

Розробити метод формування стратегій керування електротехнічними комплексами, котрий на основі інформації про якість продукції рослинництва (томатів), параметрів атмосфери теплицітаі рослин, результатів аналізу випадкових збурень на біотехнологічний об'єкт, максимізує прибуток виробництва томатів в поточний момент часу.

Матеріали та методи дослідження

Відомо, що прибуток розглядається як різниця між доходом за рахунок реалізованої продукції і витратами, що супроводжують випуск продукції. При реалізації продукції на дохід суттєво впливає якість цієї продукції.

Застосувавши нейронні мережі зі структурою двошаровий персептрон, нами були побудовані математичні моделі, котрі можна використати для формування стратегій керування електротехнічними комплексами, що максимізують прибуток виробництва. При цьому якість продукції рослинництва повинна братись до уваги у відповідності з вимогами стандарту України ДСТУ 3246-95.

Результати досліджень

Стратегії керування електротехнічними комплексами, що забезпечують максимізацію прибутку виробництва томатів, будуть формуватись із використанням двох послідовно-з'єднаних нейронних мереж (рис. 1)

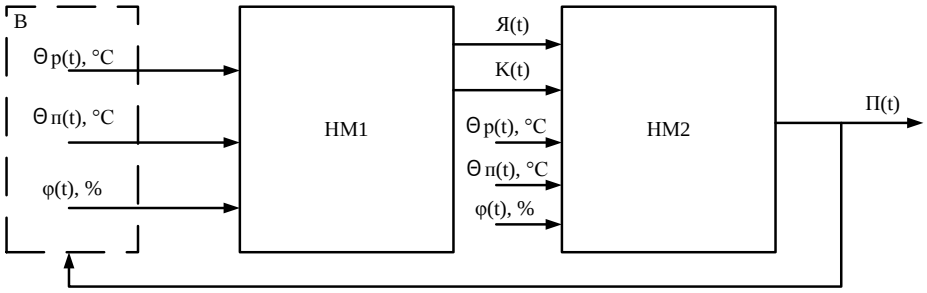

Рис. 1 - Нейронні мережі для оцінки прибутку підприємства: $\Theta_р(t)$ – температура рослини; $\Theta_п(t)$, $\varphi(t)$ – температура і вологість повітря відповідно; Я(t) – показник якості; К(t) – кількість виробленої продукції; В – витрати на забезпечення технологічних параметрів виробництва; П(t) – прибуток; t – час.

Як уже зазначалось, при виробництві томатів в спорудах закритого грунту в якості критерію ефективності доцільно використати прибуток:

$$П_w = Д_Я - Ц_В \cdot В \to \max, \qquad (1)$$

де $Д_Я$ – дохід від реалізованої маси плодів; $В$ – величина витрат енергії при виробництві; $Ц_в$ – вартість одиниці витраченої енергії.

Для визначення складових виразу (1) безпосередньо в теплиці ПП «Комбінат «Тепличний» були приведені дослідження залежності якості продукції рослинництва (томатів) і витрат на виробництво від технологічних параметрів вирощування (табл. 1).

АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

№ п/п	Температура повітря, °С	Температура рослини, °С	Вологість повітря, %	Енерговитрати, кВт	Показник якості
1.	20,812	22,062	60	0,02	1
2.	20,012	23,062	61	0,02	0,9
3.	21,75	22,625	61	0,02	1
4.	21,75	22,687	62	0,02	1
5.	23,062	23,687	65	0,03	1
6.	22,375	25,25	66	0,05	0,9
7.	20,5	23,687	60	0,02	0,9
8.	24,812	27,5	67	0,05	0,8
9.	23,812	24,625	67	0,02	1
…	…	…	…	…	…
2210	23,25	24,75	70	0,02	1

Таблиця 1 - Результати досліджень в ПП «Комбінат «Тепличний»

Використавши стандартну методику побудови математичних моделей за результатами пасивного експерименту [2,3], отримали рівняння регресії, що описує залежність якості продукції від технологічних параметрів вирощування із середньою квадратичною похибкою, δ = 2,7 %:

$$Я(\theta_P,\theta_П,\varphi) = -4{,}960004 + 0{,}05865\cdot\theta_P - 0{,}24272\cdot\theta_П + 0{,}12525\cdot\varphi + 0{,}026939\cdot\theta_P\cdot\theta_П + \\ + 3{,}0479\cdot10^{-3}\cdot\theta_P\cdot\varphi - 9{,}09261\cdot10^{-3}\cdot\theta_П\cdot\varphi - 0{,}017547\cdot\theta_P{}^2 - 0{,}017457\cdot\theta_П{}^2 - 1{,}35701\cdot10^{-3}\cdot\varphi^2 \quad (2)$$

де $\Theta_р$ – поточна температура рослини; $\Theta_п$ – поточна температура повітря; φ – поточна вологість повітря.

Аналогічно отримали рівняння регресії, що оцінює залежність витрат від таких же технологічних параметрів вирощування:

$$B(\theta_P,\theta_П,\varphi) = -4{,}23595 + 0{,}05865\cdot\theta_P - 0{,}49915\cdot\theta_П + 0{,}25744\cdot\varphi + 0{,}011281\cdot\theta_P\cdot\theta_П - \\ - 6{,}250684\cdot10^{-3}\cdot\theta_P\cdot\varphi + 8{,}032562\cdot10^{-3}\cdot\theta_П\cdot\varphi + 2{,}873315\cdot\theta_P{}^2 - 5{,}390658\cdot10^{-3}\cdot\theta_П{}^2 - 2{,}23515\cdot10^{-3}\cdot\varphi^2 \quad (3)$$

Середня квадратична похибка при цьому не перевищую δ=8,4 %.

Оскільки вплив на прибуток технологічно реалізується через забезпечення відповідної якості рослинної продукції і шляхом мінімізації видатків на забезпечення технологічних параметрів. Усе це можливо здійснити шляхом формування відповідних стратегій керування електротехнічними комплексами, що супроводжують відповідну технологію вирощування рослинної продукції в теплиці. Сформуємо узагальнений критерій оптимізації, що забезпечить на поточний момент реалізацію максимально-можливого прибутку виробництва таким чином:

$$F_б = Я^{0.5}\cdot B^{0.5} \to \max \quad (4)$$

де: $F_б$ - узагальнений критерій оптимізації (функція бажаності Харрінгтона в безрозмірній формі);

Я – залежність якості продукції від технологічних параметрів (в безрозмірній формі); В – залежність енергетичних витрат від технологічних параметрів (в безрозмірній формі); показник 0,5 використовується в якості вагового коефіцієнта (прийняті однаковими оскільки Я і В діють в рівній мірі на дохід виробництва [6]).

Залежності (2) і (3) щодо якості рослинної продукції та витрат енергетичних ресурсів переведемо у безрозмірну форму та побудуємо шкалу бажаності за Харрінгтоном [4]. Для цього використаємо вираз [4]:

$$y_б = e^{-e^{-(y)}} \quad (5)$$

де $y_б$ – функція бажаності за Харрінгтоном (у подальших розрахунках – $F_б$); y – функція, що досліджується (у подальших розрахунках - поточне значення F).

АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В основі побудови узагальненого критерію за Харрінгтоном лежить ідея перетворення отриманих значень показників (у різних одиницях виміру) в безрозмірну шкалу бажаності [3]. Шкала бажаності відноситься до психофізичних шкал. Її призначення – встановлення відповідності між фізичними (характеризують функціонування об'єкта) і психологічними (оцінки експертів) параметрами.

Шкала бажаності за Харрінгтоном показана у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 - Шкала бажаності Харрінгтона

Психофізична оцінка бажаності	Відмітки бажаності
Дуже добра	0,99–0.80
Добра	менше 0.80–0.63
Задовільна	менше 0.63–0.37
Погана	менше 0.37–0.20
Дуже погана	менше 0.20–0.01

Відмітки бажаності представимо у вигляді матриці, значення елементів якої буде використано в алгоритмі переведення критерія оптимізації у безрозмірну форму:

$$D = (0{,}01\ 0{,}2\ 0{,}37\ 0{,}63\ 0{,}8\ 0{,}99), \quad (6)$$

де D – узагальнена функція бажаності із її відмітками бажаності.

Інтервали по шкалі бажаності для показників Я і В представлено у табл. 3

Таблиця 3 – Інтервали шкалі бажаності для показників Я і В

Відмітки бажаності	Дуже добра	Добра	Задовільна	Погана	Дуже погана
Інтервал бажаності	0,99–0.80	менше 0.80–0.63	менше 0.63–0.37	менше 0.37–0.20	менше 0.20–0.01
Параметр Я	0,99–0.80	менше 0.80–0.63	менше 0.63–0.37	менше 0.37–0.20	менше 0.20–0.01
Параметр В	0,5-0,4	менше 0,4-0,3	менше 0,3-0,2	менше 0,2-,0,1	менше 0,1-0,01

На рис.2 приведено блок-схему алгоритму, за яким відбувається перетворення критерію оптимізації у безрозмірну форму.

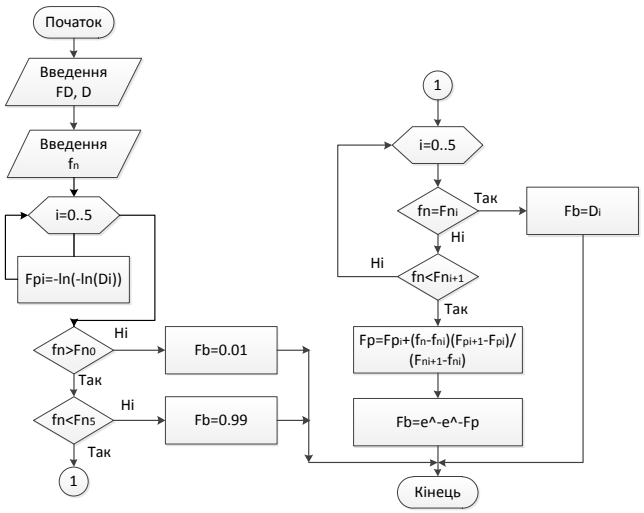

Рис. 2 - Блок схема переведення критерію у безрозмірну форму за методикою Харрінгтона:

АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

де FD - інтервали бажаності; D – бажані значення локального критерію; f_n – натуральне значення локального критерію оптимізації; F_p – проміжні значення параметру функції бажаності; Fb – значення критерію у безрозмірній формі; i – кількість станів функції бажаності за шкалою бажаності D; Fn_O – нижнє значення функції Fb; Fn_5 – верхнє значення функції Fb.

Алгоритмом передбачено введення значень інтервалів бажаностей FD, значень інтервалів локального критерія оптимізації в натуральній формі, які відповідають бажаностям D; перетворюваного натурального значення локального критерію оптимізації f_n. Після цього розраховується масив проміжних значень параметра F_p. Алгоритм враховує, що із зменшенням натурального значення локального критерія оптимізації функція бажаності буде зростати. Також враховано, що коли значення критерія не перевищує мінімальне, то бажаність буде відповідати оцінці “дуже погана”, а значення критерія в безрозмірній формі F_b буде дорівнювати 0,01. Відповідно передбачено протилежний випадок, коли не буде підтверджуватись умова, що критерій буде менше максимального значення. Після наведеної перевірки відбувається перетворення натуральної форми критерію в проміжне значення параметра F_p за допомогою методу лінійної інтерполяції, після чого - перетворення критерію з проміжного значення в безрозмірну форму з використанням функції бажаності Харрінгтона.

```
HAR(FN, D, fn, z) :=
    FP ← −ln(−ln(D))
    if z = 1
        if fn < FN_0
            fb ← D_0
            break
        if fn > FN_5
            fb ← D_5
            break
        for i ∈ 0, 1..5
            if fn = FN_i
                fb ← D_i
                break
            if fn < FN_{i+1}
                fp ← FP_i + (fn − FN_i)·(FP_{i+1} − FP_i) / (FN_{i+1} − FN_i)
                fb ← e^(−e^(−fp))
                break
    otherwise
        if fn > FN_0
            fb ← D_0
            break
        if fn < FN_5
            fb ← D_5
            break
        for i ∈ 0, 1..5
            if fn = FN_i
                fb ← D_i
                break
            if fn > FN_{i+1}
                fp ← FP_i + (fn − FN_i)·(FP_{i+1} − FP_i) / (FN_{i+1} − FN_i)
                fb ← e^(−e^(−fp))
                break
    fb
```

АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Метод Харрінгтона реалізовано в математичному середовищі MathCad та має вигляд:

Знаходимо критерій бажаності, зв'язуючи за методом Харрінгтона переведені в безрозмірну форму залежностей Я та В. При цьому перша прямує до максимуму якості, друга – до мінімуму витрат. Таким чином узагальнюючий критерій оптимізації для визначення керуючих впливів на технологічні параметри (Θр, Θп, φ) приведено до виду указанному выше.

$$F(Я(\Theta_р, \Theta_п, \varphi), В(\Theta_р, \Theta_п, \varphi)) = (Я(\Theta_р, \Theta_п, \varphi))^{0.5} * (В(\Theta_р, \Theta_п, \varphi))^{0.5} \rightarrow \max. \quad (11)$$

При цьому, як уже зазначалось, витрати та якість між собою рівнозначні у своїй дії на прибуток через вагові коефіцієнти.

Для утворення ліній рівня (значень, які можуть прийматись) залежності (11) провели оптимізацію за наведеним алгоритмом Харрінгтона (7), що через узагальнений критерій дозволяє знайти область значень, при яких досягатиметься максимально можливий показник бажаності. На рис. 3 як результат досліджень наведена одна з площин, де зображено лінії рівня залежності узагальненого критерію оптимізації від двох змінних технологічних параметрів ($\Theta_р$, $\Theta_п$) при сталій вологості повітря 70%.

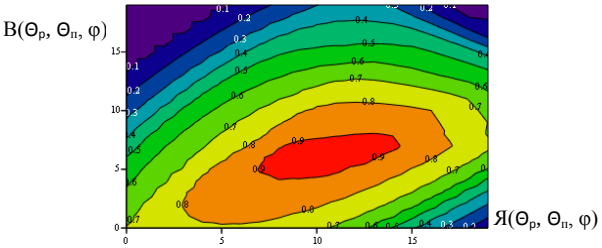

Рис. 3 - Лінії рівня залежності узагальненого критерію оптимізації при сталій вологості повітря φ = 70% (якість і видатки подані в безрозмірній формі)

Розрахунки показали, що при різних сталих значеннях технологічних параметрів лінії рівня суттєво змінюють своє розташування через особливості біологічної складової, що впливає також і на витрати. Зважаючи на означене, слід визначити значення технологічних параметрів, утримання яких забезпечить максимальне значення функції бажаності.

Реалізація такої задачі подана в програмному середовищі MathCad:

```
OPT(Q1, n, a11, a22, a33, a1k, a2k, a3k) :=
    MA ← Q1(a11, a22, a33)
    h11 ← (a11 + a1k) / n
    h22 ← (a22 + a2k) / n
    h33 ← (a33 + a3k) / n
    for a1 ∈ a11, a11 + h11 .. a1k
      for a2 ∈ a22, a22 + h22 .. a2k
        for a3 ∈ a33, a33 + h33 .. a3k
          if Q1(a1, a2, a3) > MA
            MA ← Q1(a1, a2, a3)
            a1m ← a1
            a2m ← a2
            a3m ← a3
    z0 ← MA
    z1 ← a1m
    z2 ← a2m
    z3 ← a3m
    z

OPT(Q, 20, 17, 18, 60, 26, 27, 72) = ( 0.988 )
                                     ( 21.3  )
                                     ( 22.5  )
                                     ( 60    )
```

Визначено, що при температурі рослини – 21,3 °С, температурі повітря – 22,5 °С, та вологості повітря – 60% можливе виробництво якісної продукції з показником Я в межах «дуже добре» за умов мінімізації енергетичних витрат.

Висновки

1. Розроблено метод формування стратегій керування електротехнічними комплексами в теплиці, що забезпечує виробництво томатів з показником якості «дуже добре», мінімізуючи при цьому енергетичні витрати.
2. Використання функції бажаності Харрінгтона дозволило створити узагальнений критерій оптимізації, складовими якого є якість продукції і витрати на забезпечення технології вирощування томатів.
3. Розроблені алгоритми і програмне забезпечення, що дозволяють визначити в поточний момент такі параметри настройки регуляторів електротехнічними комплексами, що створюють умови для вирощування томатів з оцінкою якості «дуже добре», мінімізуючи при цьому енергетичні витрати. Так при вологості повітря 60%, температурі повітря 22,5°С, температурі рослини 21,3°С енергетичні витрати на вирощування томатів із оцінкою якості «дуже добре» будуть мінімізовані. Це у свою чергу забезпечить максимізацію функції бажаності.

Література

1. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с;
2. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 216 с. – ISBN 5-9221-0412-8;
3. Адлер Ю. А., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976;
4. Пичкалев А. В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автома-тизированных систем контроля // Вестник КГТУ. Красноярск : КГТУ, 1997. С. 128−132;
5. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and C02 Concentrations // Annals of Botany. – 1979. – Vol. 38, Issue 2. – P. 389–400;
6. Гольцев Д. Г. Сутність та маркетинговий підхід до поняття «якість» у системі управління якістю / Д. Г. Гольцев // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 3. – С. 79-88.

References

1. Kruglov V.V. Iskusstvennyie neyronnyie seti. Teoriya i praktika / V.V. Kruglov. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2002. – 382 s;
2. Kryanev A.V., Lukin G.V. Matematicheskie metodyi obrabotki neopredelennyih dannyih. – M.: FIZMATLIT, 2003. – 216 s. – ISBN 5-9221-0412-8;
3. Adler Yu. A., Markova E. V., Granovskiy Yu. V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnyih usloviy. M. : Nauka, 1976;
4. Pichkalev A. V. Primenenie krivoy zhelatelnosti Harringtona dlya sravnitelnogo analiza avtoma-tizirovannyih sistem kontrolya // Vestnik KGTU. Krasnoyarsk : KGTU, 1997. S. 128-132;
5. 5. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and C02 Concentrations // Annals of Botany. – 1979. – Vol. 38, Issue 2. – P. 389–400;
6. 6. Goltsev D. G. SutnIst ta marketingoviy pIdhId do ponyattya «yakIst» u sistemI upravlInnya yakIstyu / D. G. Goltsev // AktualnI problemi ekonomIki. – 2009. – № 3. – S. 79-88.

Отримано в редакцію: 19.07.2015 р./ Прийнято до друку: 30.08.2015 р./ Received by edition: 19.07.2015. Approved for the press: 30.08.2015