

УДК 681.517.631

А.О. Дудник, асп., мол. наук. співр.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Особливості побудови системи керування біотехнічним об'єктом з урахуванням природних збурень (на прикладі споруд закритого ґрунту)

В статті описано процедуру синтезу системи керування процесами вирощування овочевої продукції в теплицях з точки зору комплексного підходу до біотехнічного об'єкту з врахуванням як мікрокліматичних, біологічних особливостей процесу, так і з урахуванням впливу зовнішніх природних збурень. Вирішення даного наукового завдання дозволяє виробити ефективне управляюче рішення на основі отриманого прогнозованого значення зовнішніх збурень та забезпечити максимальний економічний прибуток при мінімізації витрат на вирощування продукції.

біотехнічний об'єкт, теплиця, збурення, інтенсивність сонячної радіації, прогнозування, нейромережеві технології

Сучасний рівень витрат енергоносіїв на вирощування тепличної продукції, що склався в агрокомплексі України, значно перевищує відповідні показники аналогічних виробництв у розвинутих країнах світу. Великі витрати палива на обігрів культивацийних споруд зумовлені декількома причинами, основними з яких є низькі теплозахисні властивості огорожуючих конструкцій та недосконала робота систем опалення.

У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів важливого значення та актуальності набуває розробка нових комплексних рішень, які дозволять значно зменшити витрати енергії на вирощування овочевої продукції в теплицях.

Технологічний комплекс вирощування овочевої продукції (ТКВОП) у повній комплектації являє собою складну систему, що складається з таких елементів:

- біотехнічний об'єкт (система «рослина-теплиця»);
- підсистема факторів мікроклімату;
- підсистема факторів зовнішнього середовища;
- підсистема чинників економічної ефективності;
- підсистема управління;
- підсистема обмежень ресурсів;
- ідсистема прогнозування.

Кожна із зазначених підсистем являє собою важливу складову технологічного комплексу, аналіз якого призведе до найбільш повного уявлення про сам процес і про можливість його регулювання. Додатковими складовими технологічного комплексу вирощування овочевої продукції вважаємо підсистему факторів зовнішнього середовища та підсистему прогнозування. Таким чином, перевагою розробленого комплексу є врахування впливів параметрів зовнішнього середовища та оперативність прийняття управлінських рішень на основі попередньо отриманих прогнозів.

Основними факторами зовнішнього середовища, що впливають на продуктивність рослин в теплицях, є температура та інтенсивність сонячної радіації [3]. Оптичне випромінювання впливає на тепловий режим споруд і є важливим джерелом

енергії в закритому ґрунті, що також необхідно враховувати в тепловому балансі споруд і рослин.

З огляду на високу енергоємність тепличного рослинництва, нерационально затрачати енергію, наприклад, на обігрів, коли через обмеженість інших факторів не можна домогтися підвищення темпів росту і розвитку рослин. Саме тому було поставлене завдання визначення такого кліматичного режиму, який дозволив би одержати максимально можливий врожай при мінімальних затратах.

Інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) для фіксації та моніторингу таких параметрів зовнішнього середовища, як інтенсивність сонячної радіації та зовнішня температура повітря, впроваджено у ПАТ «Комбінат «Тепличний» (Київська обл.) (рис.1).

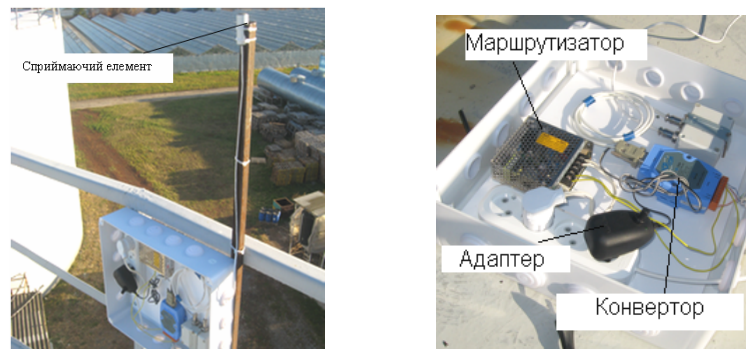
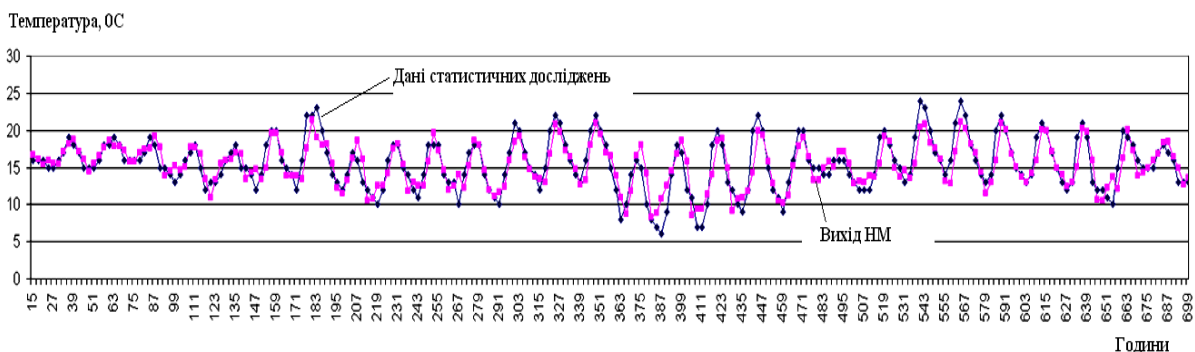


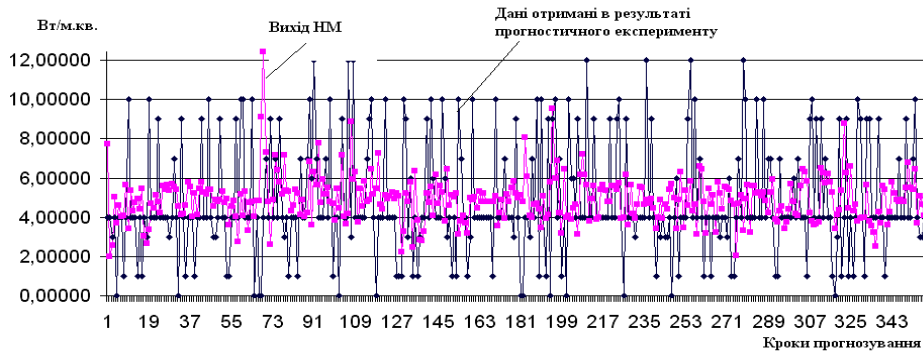
Рисунок 1 – Інформаційно-вимірювальна система інтенсивності сонячної радіації та зовнішньої температури повітря

На основі статистичних даних, отриманих за допомогою ІВС, з метою отримання прогнозу зовнішніх збурень застосували методику прогнозування часових рядів температури та інтенсивності сонячної радіації з використанням нейромережових технологій.

Для синтезу та дослідження НМ використовували програмний пакет Statistica Neural Networks. З метою отримання прогнозованих значень інтенсивності сонячної радіації обрали різновид нейронної мережі – багатошаровий персептрон, що за попередніми дослідженнями виявив найменшу похибку і найкращу прогностичну здатність щодо нестационарних та нелінійних процесів, які містять елементи невизначеності [5]. Для температурного часового ряду прийнятна точність предиктів була отримана за допомогою багатошарового персептрону з двома нейронами у прихованому шарі (рис.2а) [6].



а)



б)

Рисунок 2 - Графіки прогнозування температурних часових рядів (а)
та часового ряду інтенсивності сонячної радіації (б)

У випадку прогнозування інтенсивності сонячної радіації необхідної ефективності предикту не отримали (рис.2б), що пояснюється зашумленістю інформаційного сигналу, пов'язану із можливим впливом значного переліку природних чинників [3, 8]: висоти і типу хмар; абсолютної вологості; горизонтальної і вертикальної складових швидкості вітру; концентрації і розміру аерозолі; розмірів хмарних ядер конденсації і крапель; розміру кристалів; водності; випромінювальної спроможності і водозапасу хмар; інтенсивності опадів тощо.

Для отримання кращої якості прогнозованих значень з можливістю реалізації прогностичного блоку застосували математичні фільтри. З метою забезпечення необхідної умови адекватного представлення даних та можливості формування адаптивного базису, який функціонально залежатиме від змістової складової самого сигналу, а не буде попередньо вибраним та незмінним, як у класичних підходах, обрали перетворення Гільберта-Хуанга (ННТ), під яким розуміють метод частотно-часового аналізу на основі емпіричної модової декомпозиції (EMD) нелінійних та нестационарних процесів і Гільбертів спектральний аналіз (HSA) [10-11].

Загалом метод EMD базується на припущенні, що будь-який набір даних вміщує різні режими коливальних процесів [10]. Кожен із таких коливальних режимів можна представити функцією внутрішньої моди (IMF) з відповідними обмеженнями: кількість екстремумів і кількість нульових перетинів функції повинні дорівнювати або відрізнятися не більше, ніж на одиницю; у будь-якій точці функції середнє значення огинаючих кривих, які визначені локальними екстремумами, має дорівнювати 0.

Тобто IMF являють собою коливальні режими, які замість постійних амплітуди та частоти можуть мати змінні амплітуду та частоту, як функції часу.

Суть EMD полягає в послідовному (ітераційному) встановленні функцій емпіричних мод $c_j(t)$ і залишків $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, де $j = 1, 2, 3, \dots, n$ при $r_0 = y(t)$. Результатом розкладання буде представлення сигналу в вигляді суми модових функцій і кінцевого залишку [10]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (1)$$

де n — кількість емпіричних мод, яка встановлюється під час розрахунків.

Дослідження [10-11] продемонстрували, що відповідний адаптивний базис хоча і не визначений аналітично, але задовольняє вимогам традиційних базисів: завершеністю, сходимістю, ортогональністю та єдиністю (твердження спірне). При цьому EMD має чіткий алгоритм ітераційного розрахунку, що створює передумови для його програмної реалізації в системах керування [11].

Для досліджень використали часовий відрізок у 6 годин (дані отримані ІВС), що технологічно обґрунтовано з точки зору ширини часового вікна для подальших предиктів.

Для усунення помилок перетворення на кінцевих інтервалах оброблюваного масиву даних досліджуваний часовий відрізок продовжили на кінцевих ділянках на 1% (43 точки). Також здійснили його центрування стосовно середньоарифметичного значення – 133,807 Вт/м² (рис. 3).

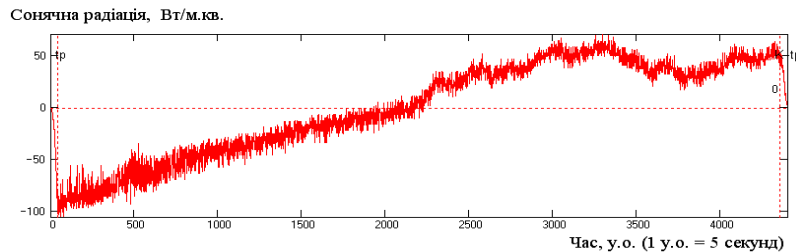


Рисунок 3 – Нормований та продовжений часовий ряд сонячної радіації

Таким чином, нами була встановлена межа зрізування – 65 у.о.; верхня межа повного придушення високочастотних складових для всіх фільтрів – однакова. Також прийняли, що очищення від шумів часового ряду сонячної радіації потребуватиме проведення чотириразового відсіву шумів, тобто формування $IMF-1 = IMF-1a + IMF-1b + IMF-1c + IMF-1d$ (рис. 4).

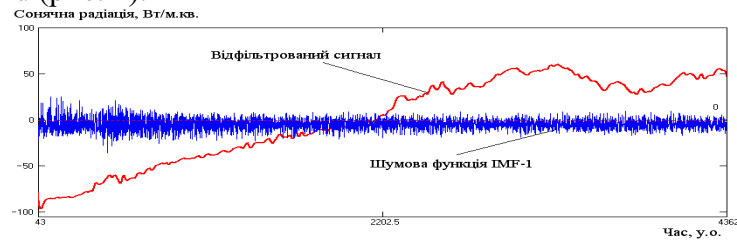


Рисунок 4 – Результати фільтрації часового ряду сонячної радіації

Денормувавши відфільтрований сигнал, візуально проаналізували результати використання перетворення Гільберта-Хуанга та встановили кількість виявлених шумових складових у вхідному сигналі – 23,762% (рис. 5).

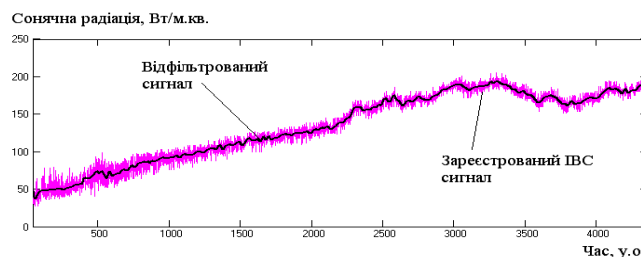


Рисунок 5 – Накладання вхідного та відфільтрованого сигналів часового ряду сонячної радіації

В результаті використання математичного фільтру точність предиктів для інтенсивності сонячної радіації значно підвищилась, що дозволило продовжити дослідження зазначених нейронних мереж та провести пошук методів оптимізації, які б мінімізували похибку їх роботи. Покращення предиктивної ефективності нейронної мережі можлива з використанням оптимізаційних математичних апаратів, серед яких виділяється генетичний алгоритм (ГА).

Суть методу полягає у налаштуванні вагових коефіцієнтів нейронної мережі шляхом випадкового перехресчування хромосом до тих пір, поки не буде знайдене

оптимальне рішення. Розв'язку задачі відповідає хромосома з мінімальним значенням функції належності, що визначає оптимальний вектор вагових коефіцієнтів W_i , при цьому похибка навчання менша заданої величини $\varepsilon_{\min}$.

Було проведено визначення оптимальних вагових коефіцієнтів нейронної мережі типу багатошаровий персептрон для часового ряду інтенсивності сонячної радіації за допомогою генетичного алгоритму разом з використанням математичного фільтру. Аналізуючи проєкції часових рядів інтенсивності сонячної радіації (рис. 6), необхідно відмітити, що НМ відносно вірно спрогнозували її зміни. При прогнозуванні на 2 години вперед в цілому спостерігається підвищення точності прогнозу нейронною мережею із використанням генетичного алгоритму (середньоквадратична помилка – $1,1192 \text{ Вт/м}^2$) порівняно із звичайною нейронною мережею (середньоквадратична помилка – $2,8016 \text{ Вт/м}^2$). Проведені дослідження дозволяють припустити ефективність використання ГА і для температурного часового ряду.

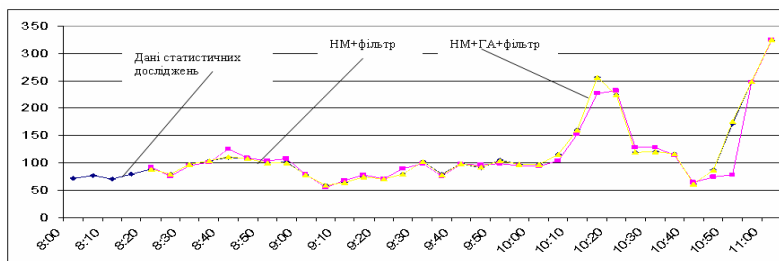
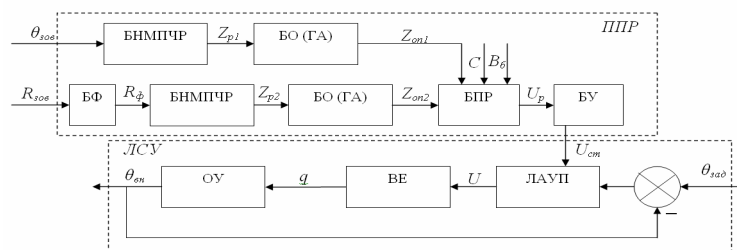


Рисунок 6 – Графіки навчального прогнозування часових рядів інтенсивності сонячної радіації нейронними мережами

На основі проведених досліджень зробили схему системи керування процесом вирощування рослин в теплиці (рис.7).



ППР – підсистема прийняття рішень; БФ – блок фільтрації інтенсивності сонячної радіації; БНМПЧР – блок нейромережевого моделювання і прогнозування часових рядів; БО(ГА) – блок оптимізації на основі генетичного алгоритму; БПР – блок прийняття рішень; БУ – блок управління; ЛСУ – локальна система управління; ЛАУП – локальний автоматичний управляючий пристрій; ВЕ – виконавчі елементи; ОУ – об'єкт управління

Рисунок 7 – Структурна схема системи керування процесом вирощування в теплиці

БНМПЧР створюється на основі нейронної мережі типу багатошаровий персептрон температурного часового ряду та для часового ряду сонячної радіації. З використанням блоку оптимізації на основі використання генетичного алгоритму відбувається оптимізація нейронної мережі. Вид розпізнаного образу з БО(ГА) передається в БПР, у базі даних якого для кожного образу зберігаються можливі варіанти дій управління й показники якості (B_θ) для кожної дії за продуктивністю виробництва, матеріальними та енергетичними витратами у фізичних одиницях. У БПР вводяться дані вартості складових прибутку C , з урахуванням яких методами теорії ігор і статистичних рішень здійснюється вибір оптимальної стратегії управління (U_p). За

допомогою БУ проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління U_{cm} у ЛАУП.

Отже, розроблена система керування процесом вирощування овочевої продукції в теплиці дозволить забезпечити найбільший прибуток від реалізації виробленої продукції та мінімізувати енергетичні витрати на вирощування.

Список літератури

1. Заєць Н.А. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці / Н.А. Заєць, В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – С. 157 – 164.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 516 с.
3. Клешнин А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений./ Клешнин А. Ф. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. - 456 с.
4. Кондратьев К.Я., Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.И.Поздняков. – М.: Гидрометеоздат, 1965. – 692 с.
5. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О.Дудник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – с.
6. Лисенко В.П. Застосування теорії статистичних рішень та ймовірнісної нейронної мережі для класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, Б.Л. Головінський, А.О. Дудник, Н.А. Заєць // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”. – Херсон: ХНТУ. – 2011. – С. 274 – 278.
7. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
8. Серякова Л.П. Метеорологические условия и растения. /Л.:Ленингр. гидромет. институт. –1971.– 77с.
9. Гарчевский И.А. Основы фотосинтеза, М.: Высшая школа, 1977. – 253 с.
10. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of R. Soc. London, Ser. A, 454, pp. 903-995, 1998
11. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis / Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L. [and others]. — Proc. R. Soc. London, 1998. — Vol. 454. — P. 903—995.
12. 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 \ – Vol.38, Issue 2 – pp. 389-400 - 1979.

А. Дудник

Особенности построения системы управления биотехническим объектом с учетом природных возмущений (на примере сооружений закрытой почвы)

В статье описано процедуру синтеза системы управления процессами выращивания овощной продукции в теплицах с точки зрения комплексного подхода к биотехническому объекту с учетом как микроклиматических, биологических особенностей процесса, так и с учетом влияния внешних возмущений. Решение данного научного задания позволяет выработать эффективное управляющее решение на основе полученного прогнозированного значения внешних возмущений и обеспечить максимальную экономическую прибыль при минимизации затрат на выращивание продукции.

A. Dudnik

Features of creation of a control system of biotechnical object taking into account natural indignations (on an example of constructions of the closed soil)

In article it is described procedure of synthesis of a control system by processes of cultivation of vegetable production in hothouses from the point of view of a complex campaign to biotechnical object with the account as mikroklivatichesky, biological features of process, and taking into account influence of external indignations. The solution of this scientific task allows to develop the effective operating decision on the basis of the received predicted value of external indignations and to provide the maximum economic profit at minimization of expenses for production cultivation.

Одержано 03.09.12