

ІЄРАРХІЧНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВРОЖАЙНІСТЮ ТЕПЛИЦІ

Д. Л. Кошкін, кандидат технічних наук
Миколаївський національний аграрний університет

Запропоновано ієрархічну дворівневу комп'ютеризовану систему керування врожайністю теплиці з використанням математичної моделі мікроклімату при керуванні температурою і вологістю повітря. Досліджено переваги способу декомпозиції системи керування за часовою ознакою.

Ключові слова: теплиця, математична модель, керування врожайністю

Постановка проблеми. У сучасній практиці побудови систем автоматизації технологічних процесів тепличних господарств превалює використання локальних керуючих систем для підтримки в певних межах таких параметрів мікроклімату, як температура і вологість повітря, вміст CO₂ тощо. В кінцевому результаті ці параметри мають значний вплив на зростання рослин, рівень і якість врожайності, а також на споживання енергії в процесі вирощування.

Часто для забезпечення високої врожайності при малому споживанні енергії потрібно контролювати і керувати багатьма взаємопов'язаними параметрами. Це завдання вирішується при використанні комплексної системи керування, яка не тільки регулює параметри мікроклімату теплиці, а ще й враховує їх вплив на остаточний вихід готової продукції. При дослідженні таких систем керування вбачається доцільною декомпозиція їх на ієрархічні рівні за масштабом часу або за критерієм ефективності підсистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням математичних моделей теплиці як об'єкта керування займалися такі вчені, як І. Ф. Бородін, В. Р. Краусп, Р. М. Славін, якими представлено математичний опис динамічних процесів у теплицях. Цією тематикою досліджень також займалися закордонні вчені Rodriguez, Takakura [4, 5] та ін.

Останнім часом багато досліджень присвячено розробленню моделей, які включають рослини та процеси, пов'язані з їх

вирощуванням [1, 2]. Але задача спрощення, декомпозиції або розділення цих процесів залишається актуальною.

Мета статті. Розробити структуру комп'ютеризованої системи керування врожайністю теплиці. Дослідити можливість і з'ясувати доцільність декомпозиції системи керування та математичної моделі врожайності теплиці за часовою ознакою.

Основні матеріали дослідження. Суттєво спрощену математичну модель врожайності теплиці, приведену до одного квадратного метра її площі, можна записати у вигляді

$$W = k_1 I T W ; \quad (1)$$

$$T = k_2 (T_0 - T) + k_3 Q , \quad (2)$$

де W – суха вага врожаю, $\text{кг}/\text{м}^2$; I – інтенсивність світлового потоку в теплиці, $\text{Вт}/\text{м}^2$; T – температура всередині теплиці, $^{\circ}\text{C}$; T_0 – зовнішня температура, $^{\circ}\text{C}$;

Q – кількість теплоти, яка надходить від системи обігріву теплиці, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

k_1, k_2, k_3 – константи.

Приріст ваги продукції за рівнянням (1) прямо пропорційний температурі та інтенсивності світла. Система доповнена рівнянням теплового балансу теплиці (2).

Цільова функція F , яка відображає економічну ефективність такого процесу вирощування має вигляд

$$F = k_4 W(t_1) - k_5 \int_{t_0}^{t_1} Q dt \quad (3)$$

Перший член цільової функції відображає прибуток, отриманий від продажу зібраного врожаю за період (t_0, t_1) , таким чином константа k_4 пропорційна вартості продажу одиниці ваги продукції. Інтеграл в цільовій функції відображає витрати на обігрів теплиці, які обчислюються по витратах теплоти, а коефіцієнт k_5 є пропорційним вартості одиниці енергоносія (кубічного метру газу або кіловат-години електроенергії).

Спрощеною моделлю, яка не враховує теплового ефекту від сонячного опромінення, впливу вентиляції, вологості та

інших факторів, пояснюється суперечність рішень в системі керування врожайністю. Так, розглянувши цю систему рівнянь, можна зробити висновок, що ріст біомаси підвищується зі зростанням температури та інтенсивності світла, збільшуючи цільову функцію. З іншого боку, на нагрів витрачається енергія і тому нагрів без освітлення не має сенсу, а призводить до зменшення цільової функції.

Традиційні системи керування, які часто використовуються сьогодні (рис. 1), базуються на знаннях або досвіді сільгоспвиробника. Агроном, керуючись типом рослин, їх станом та етапом вирощування, визначає параметри мікроклімату теплиці, які встановлюються як завдання для системи керування мікрокліматом. Сучасні системи керування тепличних комбінатів можуть налічувати до 150 різних параметрів [4], які агроном має визначити, і поставити завдання кліматичному комп'ютеру по досягненню відповідного режиму за допомогою наявних технічних засобів – виконавчих механізмів системи керування. Спостереження за станом рослин та довгострокові погодні прогнози можуть вплинути на рішення сільгоспвиробника по зміні параметрів в процесі вирощування.



Рис. 1. Структура традиційної ситми керування теплицею

Запропонована комп'ютеризована система керування врожайністю тепличних культур за допомогою сучасних інтелектуальних керуючих засобів має ієрархічну структуру, як показано на рис. 2. На схемі виділено два основні рівні системи керування: польовий рівень та інтелектуальна система керування. Також зазначена функція сільгоспвиробника як формувача завдання для системи на базі зовнішньої інформації та спостереження за процесом вирощування.

На нижньому польовому рівні сигналами є реальні фізичні параметри тепличних систем та культур. На цей рівень впливають погодні фактори $f_{\text{реал}}$, які є некерованими зовнішніми впливами. Сигнали на виконавчі елементи, наприклад, системи відкриття вентиляційних отворів або змішувальні клапани систем обігріву є керуючими впливами $u(t)$. Значення, отримані від датчиків параметрів мікроклімату теплиці $x_t(t)$ або характеристик врожайності $x_v(t)$, є вихідними контролюваними змінними, які передаються на оперативний рівень керування (контролер) разом з параметрами погодних умов.

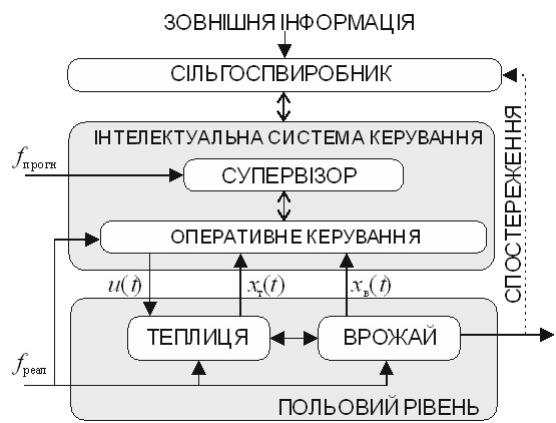


Рис. 2. Система керування врожайністю тепличних культур

При постановці задачі оптимізації цільової функції керування (2) постає необхідність визначення зв'язку між параметрами станів системи і виходами на оперативному рівні керування, тобто математична модель системи. В даній роботі запропоновано математичну модель теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря, яка в подальшому буде використана для отримання оптимальних законів керування врожайністю теплиці.

Модель базується на законах збереження енергії і маси в динаміці змінних стану в наступній диференціальній формі

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{C_{\text{в}}}\left[\tilde{Q}_n^{\text{max}}\tilde{Q}_n(t) + S_n(t) - \lambda'\tilde{Q}_m(t)\right] - \left(\frac{\tilde{v}_e(t)}{T_v} + \frac{k_{\text{м.озр}}}{C_{\text{в}}}\right)\left[T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)\right]; \quad (4)$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V'}\tilde{Q}_m(t) + \alpha'S_n(t) - \frac{\tilde{v}_e(t)}{T_v}\left[\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{зовн}}(t)\right]; \quad (5)$$

де $T_{\text{внутр}}(t)$, $T_{\text{зовн}}(t)$ – температура повітря всередині і зовні теплиці відповідно ($^{\circ}\text{C}$); $\varphi_{\text{внутр}}(t)$, $\varphi_{\text{зовн}}(t)$ – відносна вологість повітря всередині і зовні теплиці відповідно (%); $\tilde{Q}_n(t)$, $\tilde{Q}_m(t)$, $\tilde{v}_e(t)$ – нормалізовані керуючі змінні; $S_n(t)$ – сонячне випромінювання, поглинене теплицею (Вт); λ' , V' , α' – нормалізовані коефіцієнти моделі; T_v – константа, яка дорівнює часу, необхідному для повної заміни повітря в зволоженій частині теплиці; $C_{\text{в}}$ – питома теплоємність повітря ($1,005 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{K}$); $k_{\text{м.оз}}$ – коефіцієнт теплопередачі матеріалу огорожування теплиці (Вт/К);

У системі рівнянь (4)-(5) змінними стану є температура і відносна вологість повітря всередині теплиці $T_{\text{внутр}}$, $\varphi_{\text{внутр}}$, а керуючими впливами: потужність обігрівачів повітря теплиці $\tilde{Q}_n(t)$, продуктивність системи туманоутворення $\tilde{Q}_m(t)$, а також повітрообмін системи вентиляції теплиці $\tilde{v}_e(t)$.

Другий ієрархічний рівень системи керування – це інтелектуальний кліматичний комп'ютер (див. рис. 2), у межах якого діє дві підсистеми: оперативний рівень, який виконує фактичне керування і стратегічний рівень (супервізор). Оперативний рівень сприймає значення фізичних параметрів теплиці і врожайності, а повертає керування у вигляді команд на виконавчі механізми. Завдання супервізора полягає в тому, щоб перетворити інформацію сільгоспвиробника з тактичного рівня таким чином, щоб ця інформація могла використовуватися на оперативному рівні. На тактичному рівні можуть бути використані довгострокові погодні прогнози $f_{\text{прогн}}$.

На верхньому рівні (див. рис. 2) розташовується сільгоспвиробник, який проводить спостереження характеристик врожаю і ухвалює рішення щодо коригувальних дій, якщо він відчуває в них потребу. Ці рішення засновані на зовнішній інформації та його власному досвіді. Сільгоспвиробник взаємодіє з комп'ютерною системою керування врожайністю через настроювання.

Найпростіші алгоритми контролерів оперативного рівня часто розроблені евристичним методом і мають вигляд релейних правил для ухвалення рішення про опалення і вентиляцію або одноконтурних систем із ПІД-регуляторами. В той же час, навіть при використанні контролерів, як правило, є операційні режими, в яких управлінське рішення ухвалюється лише сільгоспвиробником.

Найкращі результати діяльності тепличного господарства досягаються шляхом обчислення керуючих впливів за наявності математичної моделі на основі оптимізації сформульованої в явному виді, і добре продуманої цільової функції, яка поєднує очікувані вигоди, витрати і ризики. Таким чином, комп'ютеризована система керування врожайністю теплиці, на базі спостережуваних вихідних параметрів теплиці і врожаю має формувати такі керуючі сигнали, щоб за період вирощування явно сформульована цільова функція досягла максимуму, з урахуванням фактичних значень зовнішніх вхідних сигналів і очікуваних їх змін найближчим часом. Очевидно, замість того, щоб максимізувати функцію прибутковості, можуть бути зведені до мінімуму функції вартості.

Як показують дослідження [3], при розробленні оптимальних систем керування врожайністю тепличних господарств виникають такі проблеми: недостатня точність моделювання мікроклімату теплиці; важка прогнозованість зовнішніх збурень; значна різниця в часі відгуків системи при розгляді процесів керування мікрокліматом та вирощуванням врожаю.

В цьому сенсі є перспективним розділення системи на ієрархічні рівні або її декомпозиція за часовою ознакою на два контури. Зовнішній контур керування процесом вирощуван-

ня врожаю – "повільний" контур, та внутрішній контур керування мікрокліматом – "швидкий" контур.

На рис. 3 представлено запропоновану структуру двоконтурної ієрархічної системи керування врожайністю тепличного господарства. Зовнішній контур вирішує задачу оптимального керування в масштабі діб та тижнів. Для вирішення використовуються дані щодо актуального стану врожаю, довгострокового прогнозу погоди, перспективи зміни реалізаційної ціни продукції. Такий розрахунок може відбуватися регулярно (залежить від типу рослин), наприклад раз на тиждень, або по мірі надходження необхідної інформації: зміна прогнозу ціни або погодних умов.

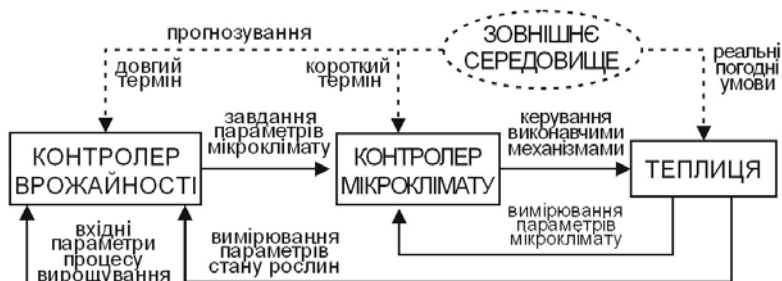


Рис. 3. Ієрархічна дворівнева система керування врожайністю теплиці

Використання траєкторій станів системи, розрахованих в зовнішньому контурі, разом з короткотерміновим прогнозом погоди дозволяє в подальшому вирішити "швидко" підзадачу для внутрішнього контуру керування, щоб поставити завдання контролю динаміки мікроклімату теплиці. При цьому критерій ефективності "швидкої" підзадачі повинен бути оптимізований тільки на інтервалі часу, під час якого дія виконавчих механізмів впливає на зміну мікроклімату теплиці. На практиці цей інтервал має порядок однієї години або навіть менше.

Висновки: 1. В роботі проведено декомпозицію системи керування врожайністю теплиці на дві підсистеми залежно від часу відгуку системи та вирішуваних задач при оптимізації процесів. Перша "повільна" підсистема пов'язана з питаннями вирощування врожаю, а друга "швидка" – з параметрами

мікроклімату теплиці. 2. Взаємозв'язок верхнього та нижнього рівнів системи керування пропонується виробляти у вигляді траєкторій станів системи, досягнення або слідування за якими забезпечить оптимальність процесу керування.

Список використани джерел:

1. Кошкін Д. Л. Математична модель мікроклімату теплиці для комп'ютеризованої системи керування врожайністю. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Харків: ХНТУСГ, 2014. Випуск 154 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – С. 31-33.
2. Малько С. Л. Актуальность проблемы контроля и диагностики систем автоматизации технологических процессов защищенного грунта / С. Л. Малько, Л. П. Андрианова // Электрификация сельского хозяйства. – Уфа : БГАУ, 2002, Вып. 3. – С. 62-65.
3. Speetjens, S. L. Towards an adaptive model for greenhouse control / S. L. Speetjens, J. D. Stigter, G. Van Straten. – Computers and Electronics in Agriculture, 2009, Vol. 67 (1-2). – P. 1-8.
4. F. Rodrigues, F. Feedforward controllers for greenhouse climate control based on physical models / F. Rodrigues, M. Berenguel, M. R. Arahall. – Proceedings of the European Control Conference ECC, 2001. – P. 2158-2163
5. T. Takakura, T. Simulation of biological and Environmental Processes / T. Takakura, J. E. Son. – Kyushu University Press, 2004. – 139 p.

Д. Л. Кошкин. Иерархическая компьютеризованная система управления урожайностью теплицы

Предложена иерархическая двухуровневая компьютеризованная система управления урожайностью теплицы с применением математической модели микроклимата при управлении температурой и влажностью воздуха. Исследованы преимущества способа декомпозиции системы управления по временному признаку.

Ключевые слова: теплица, математическая модель, управление урожайностью

D. Koshkin. Hierarchical computerized greenhouse crop control system

The hierarchical computerized crop control system with an intelligent microclimate model-based temperature and humidity control subsystem is proposed. Feasibility and advisability of the time scale decomposition of greenhouse crop control system was investigated.

Key words: greenhouse, mathematical model, yield management