

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВРОЖАЙНІСТЮ

Кошкін Д. Л.

Миколаївський національний аграрний університет

Запропонована математична модель мікроклімату теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря для застосування в інтелектуальній системі керування врожайністю тепличних культур.

Постановка проблеми. Підтримка параметрів мікроклімату в теплиці має значний вплив на зростання рослин, рівень і якість врожайності, а також на споживання енергії в процесі вирощування. Часто для задоволення вимог високої врожайності при малому споживанні енергії потрібно контролювати і керувати багатьма параметрами мікроклімату: температурою і вологістю повітря, вмістом CO_2 , використовуючи такі керувальні дії, як нагрів повітря (опалення), вентиляцію, зволоження, збагачення діоксидом вуглецю тощо. Із-за високої нелінійності описання фізичних процесів теплиці, класичні методи теорії керування не є придатними, для вирішення проблеми проектування регуляторів мікроклімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження математичних моделей теплиці як об'єкта керування в останні десятиліття суттєво просунулися. У роботах таких учених як І. Ф. Бородін, В. Р. Краусп, Р. М. Славін представлені дослідження математичного опису динамічних процесів у теплицях. Цією тематикою досліджень також займалися закордонні вчені Rodriguez, Takakura та ін.

Найбільш прості моделі представлені у вигляді аперіодичних ланок першого або другого порядку із запізнюванням [1, 2]. Такі моделі є досить грубими і наближено представляють поведінку об'єкта керування при регулюванні одного параметра, наприклад температури. Існують моделі більш складної структури, наприклад, для керування двома і більше параметрами описані в [4, 5]. Незаперечною перевагою таких способів завдання математичних моделей є наочність моделювання і можливість застосування класичних методів синтезу регуляторів систем керування параметрами мікроклімату.

Мета статті. Дослідити необхідність використання математичної моделі мікроклімату теплиці в структурі комп'ютеризованої системи керування врожайністю тепличного господарства. Розробити математичну модель теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря, що базується на законах збереження енергії і маси.

Основні матеріали дослідження. Система керування врожайністю тепличних культур за допомогою сучасних інтелектуальних керуючих засобів має ієрархічну структуру, як показано на рис. 1.

На рис. 1 зображені три основні рівні: польовий рівень, інтелектуальна система керування, сільгоспвиробник.

На нижньому рівні сигналами є реальні фізичні параметри тепличних систем та культур. На цей рівень впливають погодні фактори $f_{\text{реал}}$, які є некерова-

ним зовнішнім впливом. Сигнали на виконавчі елементи, наприклад, системи відкриття вентиляційних отворів або змішувальні клапани систем обігріву є керувальними впливами $u(t)$. Значення, отримані від датчиків параметрів мікроклімату теплиці $x_t(t)$, або характеристик врожайності $x_v(t)$ є вихідними контрольованими змінними, які передаються на оперативний рівень керування (контролер) разом з параметрами погодних умов.

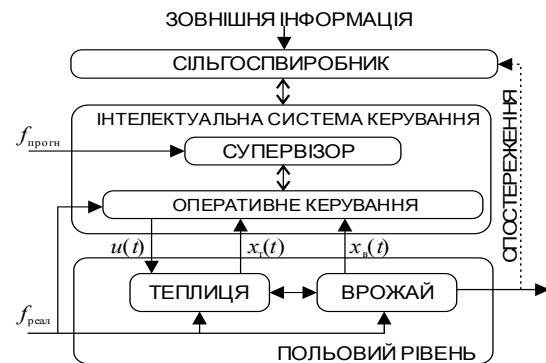


Рисунок 1 – Система керування врожайністю тепличних культур

Відношення між параметрами станів системи і виходами на оперативному рівні тобто математична модель системи стає необхідною при постановці задачі оптимізації системи керування [3].

Другий рівень – це інтелектуальна система керування кліматичними параметрами, у межах якої є два рівні: оперативний рівень, який виконує фактичне керування і стратегічний рівень (супервізор). Оперативний рівень сприймає значення фізичних параметрів теплиці і, можливо, урожайності, і повертає керування у вигляді команд на виконавчі механізми. Завдання супервізора полягає в тому, щоб перевести 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 системи 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, його власному досвіді. Сільгоспвиробник взаємодіє з комп'ютерною системою керування мікрокліматом через налаштування.

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 ПДД-регуляторами.

В той же час навіть при використанні контролерів, як правило, є операційні режими, у яких управлінське рішення ухвалюється лише сільгоспвиробником. В першу чергу, це автоматична адаптація системи керування на температурах вище припустимих, при максимальному сонячному випромінюванні. Виробник встановлює параметри бажаного режиму роботи системи у відповідності зі своїми спостереженнями про стан сільськогосподарських культур, на основі свого досвіду і зовнішньої інформації. Нарешті, основний алгоритм може бути переглянутий з міркувань безпеки, наприклад, у випадку дощу або штормової погоди.

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 й ризики

Таким чином, можна сформулювати проблему, розв'язувану системою керування тепличним господарством: з урахуванням фактичних зовнішніх входних змінних, очікуванням їх змін найближчим часом і з обліком спостережуваних вихідних параметрів теплиці і врожаю: які необхідно вибрати керуючі входи, щоб за зазначений період вирощування явно сформульована цільова функція досягла максимуму. Очевидно, замість того, щоб максимізувати функцію прибутковості, можуть бути зведені до мінімуму функції вартості.

В даній роботі на першому етапі вирішується задача розробки математичної моделі теплиці при керуванні температурою й вологістю повітря, що базується на законах збереження енергії й маси, яка в подальшому буде використана для отримання оптимальних законів керування.

У роботах [4,5] пропонуються різні варіанти таких моделей базовані в більшості випадків на законах збереження маси і енергії в динаміці змінних стану в наступній диференціальній формі

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_{\text{в}} V_{\text{м}}} [Q_{\text{н}}(t) + S_{\text{н}}(t) - \lambda Q_{\text{м}}(t)] - \left(\frac{v_{\text{в}}(t)}{V_{\text{м}}} + \frac{k_{\text{м.оз}}}{\rho C_{\text{в}} V_{\text{м}}} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)]; \quad (1)$$

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_{\text{в}} V_{\text{м}}} [Q_{\text{н}}(t) + S_{\text{н}}(t) - \lambda Q_{\text{м}}(t)] - \left(\frac{v_{\text{в}}(t)}{V_{\text{м}}} + \frac{k_{\text{м.оз}}}{\rho C_{\text{в}} V_{\text{м}}} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)]; \quad (2)$$

$$E(S_{\text{н}}(t), \phi_{\text{внутр}}(t)) = \alpha \frac{S_{\text{н}}(t)}{\lambda} - \beta \phi_{\text{внутр}}(t), \quad (3)$$

де $T_{\text{внутр}}$, $T_{\text{зовн}}$ – температура повітря всередині і зовні теплиці відповідно ($^{\circ}\text{C}$); $\phi_{\text{внутр}}$, $\phi_{\text{зовн}}$ – відносна вологість повітря всередині і зовні теплиці відповідно (%); $k_{\text{м.оз}}$ – коефіцієнт теплопередачі матеріалу огорожування теплиці (Вт/К); V – повний геометричний об'єм теплиці (м^3); $V_{\text{т}}$, $V_{\text{в}}$ – обігрівуваний і зволожуваний об'єми теплиці відповідно (м^3), які зазвичай складають не більше 60–70% загального об'єму теплиці; ρ – густина повітря (1,2 кг/м); $C_{\text{в}}$ – питома теплоємність повітря (1,005 кДж·кг $^{-1}$ ·К); $Q_{\text{н}}$ – потужність обігрівачів повітря теплиці (Вт); $Q_{\text{т}}$ – продуктивність системи туманоутворення ($\text{г}_{\text{води}}/\text{с}$); $S_{\text{н}}(t)$ – сонячне випромінювання поглинене теплицею (Вт); λ – питома теплота пароутворення (2512 кДж/кг); $v_{\text{в}}(t)$ – повітрообмін забезпечуваний системою вентиляції теплиці ($\text{м}^3/\text{с}$); $E(S_{\text{н}}(t), \phi_{\text{внутр}}(t))$ – евапотранспірація рослин в функції від поглиненого сонячного випромінювання і вологості повітря в теплиці ($\text{г}_{\text{води}}/\text{с}$); α , β – масштабні коефіцієнти, які приймаються зазвичай постійними.

У системі рівнянь (1) – (3) змінними стану є температура і відносна вологість повітря всередині теплиці $T_{\text{внутр}}$, $\phi_{\text{внутр}}$, а керуючими впливами: потужність обігрівачів повітря теплиці $Q_{\text{н}}$, продуктивність системи туманоутворення $Q_{\text{т}}$, а також повітрообмін системи вентиляції теплиці $v_{\text{в}}(t)$.

Для спрощення моделі звичайно вважається, що виділювані рослинами випаровування більшою мірою залежать від сонячної радіації і у меншій від вологості повітря, тому в рівнянні (3) зневажають доданком $\beta \phi_{\text{внутр}}$.

Підставляючи (3) в (1), після перетворень одержимо

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{C_{\text{в}}} [Q_{\text{н}}^{\text{max}} \tilde{Q}_{\text{н}}(t) + S_{\text{н}}(t) - \lambda' \tilde{Q}_{\text{м}}(t)] - \left(\frac{\tilde{v}_{\text{в}}(t)}{T_{\text{в}}} + \frac{k_{\text{м.оз}}}{C_{\text{в}}} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)]; \quad (4)$$

$$\frac{d\phi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V'} \tilde{Q}_{\text{м}}(t) + \alpha' S_{\text{н}}(t) - \frac{\tilde{v}_{\text{в}}(t)}{T_{\text{в}}} [\phi_{\text{внутр}}(t) - \phi_{\text{зовн}}(t)], \quad (5)$$

де $\tilde{Q}_{\text{н}}(t)$, $\tilde{Q}_{\text{м}}(t)$, $\tilde{v}_{\text{в}}(t)$ – нормалізовані керуючі змінні; $\lambda' = \lambda Q_{\text{м}}^{\text{max}}$, $V' = \frac{V_{\text{м}}}{Q_{\text{м}}^{\text{max}}}$, $\alpha' = \frac{\alpha}{V_{\text{в}} \lambda}$ – нормалізовані коефіцієнти моделі; $T_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{v_{\text{в}}^{\text{max}}}$ – константа, що дорівнює часу, необхідному для повної заміни повітря в зволожуваній частині теплиці.

На базі системи рівнянь (4)-(5) у даному дослідженні була розроблена блочно-імітаційна модель у середовищі Simulink програмного комплексу Matlab, представлена на рис. 2.

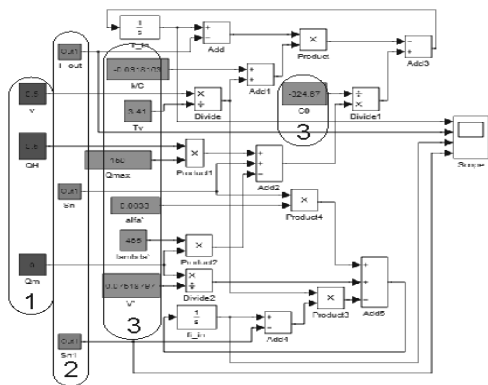


Рисунок 2 – Математична модель теплиці в середовищі Matlab-Simulink

На схемі виділено три групи блоків. У групу 1 входять блоки керуючих впливів. Група 2 поєднує блоки збурювальних впливів. У третю групу об'єднані блоки констант-параметрів конкретної теплиці. Інші блоки призначені для виконання математичних операцій: підсумовування, множення, інтегрування, тощо; а також для візуалізації результатів моделювання – блок «Score».

У прикладі була промодельована теплиця на 1000 м² висотою 4 м. з наступними параметрами [4]: $C_g = -324,67 \text{ хв} \cdot \text{Вт}/^\circ\text{C}$; $k_{m,oz} = 29,81 \text{ Вт}/^\circ\text{C}$; $T_v = 3,41 \text{ хв}$; $\lambda' = 465 \text{ Вт}$; $\alpha' = 0,0033 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{хв} \cdot \text{Вт})$; $V' = 13,3 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{хв})$. Усі параметри приведені до одного квадратному метру площі теплиці. Початкові значення температури і вологості, установлені в блоках інтегрування: 15 °C, і 50%.

При моделюванні всі параметри математичної моделі теплиці вважалися постійними, зовнішні збурювання моделювалися підсистемами, в які входять три складові: постійна, гармонійна і випадкова.

Моделювання проводилося в середовищі Matlab/Simulink, для інтегрування використовувався метод Рунге-Кутта 4-го порядку з фіксованим кроком 1 хв, діапазон інтегрування 1 доба або 1440 хв. Результати представлені на рис. 3.

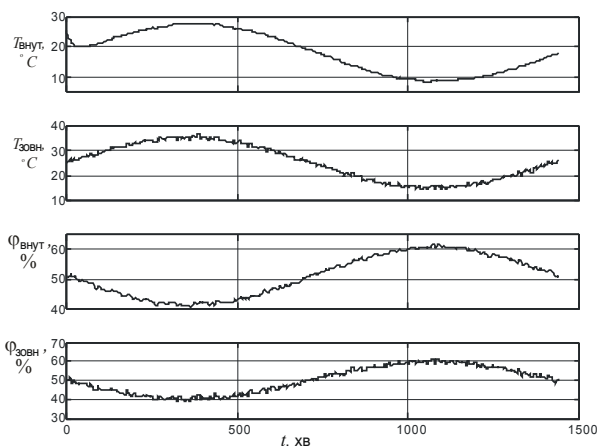


Рисунок 3 – Результати моделювання температури і вологості повітря всередині теплиці

Висновки. Представлена модель теплиці при керуванні параметрами мікроклімату, розроблена для

застосування в комп'ютерних системах керування врожайністю при пошуку оптимальних режимів роботи. Внаслідок простоти настроювання параметрів, може бути легко відтворена для безлічі різних конструкцій і систем тепличних комплексів, а також для різноманітних сценаріїв зміни умов навколишнього середовища. У якості подальших напрямків досліджень передбачається розробка оптимальних регуляторів для системи керування мікрокліматом як безперервного так і дискретного принципів дії.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Токмаков Н. М. Математическая модель системы управления микроклиматом ангарных теплиц / Н. М. Токмаков, В. С. Грудинин // Гавриш №3. — М. : Научно-исследовательский институт овощеводства защищенного грунта (НИИОЗГ), 2008. — С. 28-32.
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. Rodriguez, F. Feedforward controllers for greenhouse climate control based on physical models / F. Rodriguez, M. Berenguel, M. R. Arahal. — Proceedings of the European Control Conference ECC, 2001. — P. 2158-2163
5. Takakura, T. Simulation of biological and Environmental Processes / T. Takakura, J. E. Son. — Kyushu University Press, 2004. — 139 p.

Аннотация

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОЖАЙНОСТЬЮ

Кошкин Д. Л.

Предложена математическая модель микроклимата теплицы при управлении температурой и влажностью воздуха для применения в интеллектуальной системе управления урожайностью тепличных культур.

Abstract

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE GREENHOUSE CLIMATE FOR COMPUTERIZED CROP CONTROL SYSTEM

D. Koshkin

The mathematical model of the greenhouse temperature and humidity control for use in intelligent crop control system is proposed.