

УДК 681.5.017

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ

Д.Л. Кошкін, кандидат технічних наук

Д.В. Бабенко, кандидат технічних наук, професор
Миколаївський державний аграрний університет

Представлено математичну модель теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря, що базується на законах збереження енергії і маси. Розроблено Simulink-модель для застосування в освітніх цілях для демонстрації фізичних явищ, що відбуваються в теплицях, принципів керування мікрокліматом та принципів застосування математичної моделі в системах керування фізичними процесами теплиці.

Ключові слова: теплиця, математична модель, керування мікрокліматом.

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 (опаєння), вентиляцію, зволоження, збагачення діоксидом вуглецю тощо. Через високу нелінійність описання фізичних процесів теплиці класичні методи теорії керування не є придатними для вирішення проблеми проектування регуляторів мікроклімату.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження математичних моделей теплиці як об'єкта керування останніми десятиліттями істотно просунулися. У роботах таких учених, як І.Ф. Бородін, В.Р. Краусп, Р.М. Славін представлено дослідження математичного опису динамічних процесів в теплицях. Цією тематикою досліджень також займалися зарубіжні учені *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 описують поведінку об'єкта керування при регулюванні одного параметра, наприклад температури. Існують моделі складнішої структури, наприклад представлені в роботі [3], для керування двома і більше параметрами. Безперечною перевагою таких способів завдання математичних моделей є наочність моделювання і можливість застосування класичних методів синтезу регуляторів систем керування параметрами мікроклімату.

Інший підхід до завдання математичних моделей теплиці базується на описі цієї складної динамічної системи, де такі параметри, як температура і вологість пов'язані нелінійними законами термодинаміки, за допомогою моделі в просторі станів такої форми

$$\dot{x} = f(t, x, u, v), \quad (1)$$

де t – час; x – змінні стани, такі як температура повітря в теплиці, його вологість, концентрація діоксиду вуглецю; u – керувальні впливи, такі як обігрів повітря калориферами або іншими пристроями, природна або примусова вентиляція, системи туманоутворення, а також системи збагачення CO_2 ; v – зовнішні обурюючі впливи, наприклад температура і вологість зовнішнього повітря, сонячна радіація, вітрова дія тощо.

Модель в просторі станів точніше описує процеси, що відбуваються в теплиці, враховуючи взаємозв'язок змінних стану, зовнішніх обурень і сигналів управління, проте, у свою чергу, істотно ускладнюється моделювання внаслідок нелінійності моделі.

Мета дослідження. Представлене дослідження ставить за мету розроблення математичної моделі теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря, що базується на законах збереження енергії і маси. А також розроблення **Simulink**-моделі фізичних явищ, які відбуваються в теплиці.

Викладення основного матеріалу. Розглянувши різні варіанти таких моделей [4, 5], ми пропонуємо рівняння динаміки змінних стану в диференціальній формі

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_{\text{в}} V_m} [Q_n(t) + S_n(t) - \lambda Q_m(t)] - \left(\frac{v_{\text{в}}(t)}{V_m} + \frac{k_{m.oz}}{\rho C_{\text{в}} V_m} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)]; \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V_{\text{в}}} Q_m(t) + \frac{1}{V_{\text{в}}} [E(S_n(t), \varphi_{\text{внутр}}(t))] - \frac{v_{\text{в}}(t)}{V_{\text{в}}} [\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{зовн}}(t)]; \quad (3)$$

$$E(S_n(t), \varphi_{\text{внутр}}(t)) = \alpha \frac{S_n(t)}{\lambda} - \beta \varphi_{\text{внутр}}(t), \quad (4)$$

де $T_{\text{внутр}}$, $T_{\text{зовн}}$ – температура повітря всередині і зовні теплиці відповідно (°C); $\varphi_{\text{внутр}}$, $\varphi_{\text{зовн}}$ – відносна вологість повітря всередині і зовні теплиці відповідно (%); $k_{m.oz}$ – коефіцієнт теплопередачі матеріалу огорожування теплиці (Вт/К); V – повний геометричний об'єм теплиці (м³); V_m , $V_{\text{в}}$ – обігрівуваний і зволожений об'єми теплиці відповідно (м³), які зазвичай складають не більше 60–70% загального об'єму теплиці; ρ – густина повітря (1,2 кг/м³); $C_{\text{в}}$ – питома теплоємність повітря (1,005 кДж·кг⁻¹·К⁻¹); Q_n – потужність обігрівачів повітря теплиці (Вт); Q_m – продуктивність системи туманоутворення ($\frac{\text{г}_{\text{води}}}{\text{с}}$); $S_n(t)$ – сонячне випромінювання поглинене теплицею (Вт); λ – питома теплота пароутворення (2512 кДж/кг); $v_{\text{в}}(t)$ – повітрообмін забезпечуваний системою вентиляції теплиці (м³/с); $E(S_n(t), \varphi_{\text{внутр}}(t))$ – евапотранспірація рослин в функції від поглиненого сонячного випромінювання і вологості повітря в теплиці ($\frac{\text{г}_{\text{води}}}{\text{с}}$); α , β – масштабні коефіцієнти, які приймаються, зазвичай, постійними.

У системі рівнянь (2) – (4) змінними стану є температура і відносна вологість повітря всередині теплиці $T_{\text{внутр}}$, $\varphi_{\text{внутр}}$; а керувальними діями – потужність обігрівачів повітря теплиці Q_n , продуктивність системи туманоутворення Q_m , а також повітрообмін системи вентиляції теплиці $v_{\text{в}}$.

Для спрощення моделі вважається, що випаровування від рослин більшою мірою залежить від сонячної радіації і

меншою - від вологості повітря, тому в рівнянні (4) можна знехтувати доданком $\beta\varphi_{\text{внутр}}(t)$.

Враховуючи вищевказане та підставляючи (4) в (2), після перетворень отримаємо

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{C_{\epsilon}} \left[Q_n^{\max} \mathcal{Q}_n(t) + S_n(t) - \lambda' \mathcal{Q}_m(t) \right] - \left(\frac{\mathcal{V}_g(t)}{T_v} + \frac{k_{m,ozp}}{C_{\epsilon}} \right) \left[T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{внеш}}(t) \right]; \quad (5)$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V'} \mathcal{Q}_m(t) + \alpha' S_n(t) - \frac{\mathcal{V}_g(t)}{T_v} \left[\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{внеш}}(t) \right], \quad (6)$$

де $\mathcal{Q}_n(t)$, $\mathcal{Q}_m(t)$, $\mathcal{V}_g(t)$ - нормалізовані керувальні впливи;

$\lambda' = \lambda Q_m^{\max}$, $V' = \frac{V_m}{Q_m^{\max}}$, $\alpha' = \frac{\alpha}{V_{\epsilon} \lambda}$ - нормалізовані коефіцієнти

моделі; $T_v = \frac{V_{\epsilon}}{V_{\epsilon}^{\max}}$ - константа, що дорівнює часу, необхідному

для повної заміни повітря в зволоженій частині теплиці.

На базі системи рівнянь (5) - (6) розроблено блоково-імітаційну модель в середовищі **Simulink** програмного комплексу **Matlab**, та промодельовано фізичні процеси в теплиці площею 1000 м² висотою 4 м з такими параметрами [4]: $C_{\epsilon} = -324,67$ хв·Вт/°С; $k_{m,ozp} = 29,81$ Вт/°С; $T_v = 3,41$ хв; $\lambda' = 465$ Вт; $\alpha' = 0,0033$ г/(м³·хв·Вт); $V' = 13,3$ г/(м³·хв). Всі параметри приведені до одного квадратного метра площі теплиці. Початкові значення температури і вологості, встановлені в блоках інтеграції, відповідно 15°С, і 50%.

При моделюванні зовнішні збурення моделювалися підсистемами, в які входять генерувальні ланки постійної, гармонійної і випадкової складових. Таким чином проводилося моделювання коливання зовнішньої температури, вологості, а також сонячного випромінювання протягом доби.

Результати моделювання у вигляді графіків зміни зовнішньої та внутрішньої температури та вологості повітря представлено на рис.

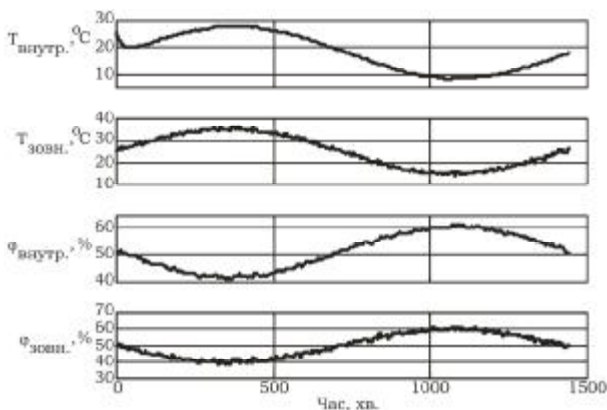


Рис. Результати моделювання фізичних процесів теплиці

Висновки. Представлено математичну модель фізичних явищ в теплиці при керуванні температурою і вологістю внутрішнього повітря. Розроблено блочно-імітаційну модель в середовищі **Matlab-Simulink** для застосування в освітніх цілях з метою демонстрації фізичних явищ, які відбуваються в теплиці, і принципів керування мікрокліматом. Завдяки простоті налаштування параметрів, модель може бути легко відтворена для безлічі різних конструкцій і систем тепличних комплексів, а також для різноманітних сценаріїв зміни умов довкілля. Як подальші напрями досліджень передбачається використання моделі для розроблення регуляторів систем керування мікрокліматом.

Література:

1. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, А. А. Рыс.— М. : Колос, 1996. — 351 с.
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. 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.
4. Rodríguez, F. Feedforward controllers for greenhouse climatecontrol based on physical models. / F. Rodríguez, 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.