

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ГРИБНОЇ ТЕПЛИЦІ

Д.Л. Кошкін, кандидат технічних наук

І.С. Павлюченко, асистент

Миколаївський державний аграрний університет

Представлено математичну модель мікроклімату грибної теплиці при керуванні температурою повітря, вологістю та концентрацією вуглекислого газу в камері вирощування. Отримано аналітичне рішення математичної моделі керування параметрами мікроклімату. Визначено показники якості процесу керування.

Ключові слова: грибна теплиця, математична модель, керування мікрокліматом.

Постановка проблеми. На сьогодні існує безліч робіт, присвячених моделям мікроклімату теплиць. Всі ці моделі беруть за основу процес вегетації – фотосинтез. Відмінною особливістю грибних теплиць від традиційних є сам процес вегетації, який проходить з виділенням тепла, води та вуглекислого газу в повітря грибниці. Така особливість виникає в зв'язку з тим, що гриби є аеробними мікроорганізмами, що передбачає виділення вуглекислого газу під час їх розвитку, на відміну від поглинання останнього рослинами в процесі фотосинтезу. В зв'язку з цим виникає необхідність переробки типових моделей мікроклімату теплиць, де за основу процесу вегетації взято фотосинтез.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження математичних моделей теплиць як об'єктів керування мікрокліматом наведено в роботах таких учених, як І. Ф. Бородин, В. Р. Краусп, Р. М. Славін. Також ця тематика досліджувана зарубіжними вченими Rodriguez, Takakura та іншими. Хоча відмінності обмінних процесів саме в грибних теплицях вимагають подальшого їх вивчення та розроблення математичних моделей з урахуванням процесів керування вмістом вуглекислого газу. Зважаючи на стрімкий розвиток науки, розробка математичної моделі мікроклімату грибної теплиці для синтезу систем керування мікрокліматом є досить актуальною задачею.

Мета дослідження. Представлене дослідження ставить за мету розроблення математичної моделі грибної теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря та концентрацією вуглекислого газу в повітрі камери вирощування в безперервному часі, вирішення розробленої математичної моделі та визначення показників якості процесу керування.

Викладення основного матеріалу. Розглянувши різні варіанти математичних моделей мікроклімату, розроблені Пешко М.С. [4], Семеновим В.Г. [5], Токмаковим Н.М. [6], пропонується система рівнянь, що приблизно описує процеси повітря-, масо- та теплообміну грибниці:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho V C \frac{dT(t)}{dt} = G_{\text{менл}} C_{\text{менл}} (t_z - t_0) - \sum kF(t_g - t_3) - L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}} (t_g - t_3); \\ \rho V \frac{dX(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} X_{\text{свіж}} - L_{\text{відх}} X_{\text{відх}} + L_{\text{нар}}; \\ \rho V \frac{dC_{\text{CO}_2}(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} C_{\text{CO}_2\text{свіж}} - L_{\text{відх}} C_{\text{CO}_2\text{відх}} + V_{\text{CO}_2}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³; V – об'єм повітря, м³; C – питома теплоємність повітря, Дж/кг·°C; $T(t)$ – температура повітря всередині теплиці, °C; $G_{\text{менл}}$ – витрати теплоносія, кг/с; $C_{\text{менл}}$ – питома теплоємність теплоносія, Дж/кг·°C; t_z, t_0 – температура теплоносія на вході і на виході теплообмінника, °C; F – площа огорожень, м²; t_g, t_3 – температура повітря внутрішня і зовнішня, °C; $L_{\text{свіж}}$ – витрата свіжого повітря для вентиляції приміщення, м³/с; $X(t)$ – абсолютна вологість повітря в атмосфері теплиці, л/м³; $L_{\text{свіж}}$ – витрата свіжого повітря, м³/с; $X_{\text{свіж}}$ – абсолютна вологість свіжого повітря, л/м³; $L_{\text{відх}}$ – витрата відходячого повітря, м³/с; $X_{\text{відх}}$ – абсолютна вологість відходячого повітря, л/м³; $L_{\text{нар}}$ – витрата пари, м³/с; $C_{\text{CO}_2}(t)$ – абсолютний вміст CO₂ в атмосфері теплиці, л/м³; $C_{\text{CO}_2\text{свіж}}$ – абсолютний вміст CO₂ в атмосфері, л/м³; $C_{\text{CO}_2\text{відх}}$ – абсолютний вміст CO₂ у відходячому повітрі із теплиці, л/м³; V_{CO_2} – виділення CO₂ в повітря теплиці в процесі окислення грибами повітря, м³/год з одного кг компосту.

У системі рівнянь (1) змінними стану є температура, абсолютна вологість повітря та абсолютний вміст CO_2 в атмосфері грибниці T , X , C_{CO_2} ; а керувальними діями – витрата теплоносія $G_{\text{тепл}}$, витрата пари $L_{\text{пар}}$, а також витрати відходячого повітря $L_{\text{відх}}$.

Аналітичний розв'язок даної моделі наведено у системі (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} T(t) = \frac{\left[\frac{G_{\text{тепл}} C_{\text{тепл}} (t_2 - t_0) +}{+ t_2 \left(\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}} \right)} \right] \cdot \exp \left(\frac{\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}}}{\rho V C} t \right) + T_0}{\left(\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}} \right) \cdot \exp \left(\frac{\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}}}{\rho V C} t \right)}; \\ X(t) = \frac{\left(L_{\text{свіж}} X_{\text{свіж}} + L_{\text{пар}} \right) \cdot \exp \left(\frac{L_{\text{відх}}}{\rho V} t \right) + X_0}{\exp \left(\frac{L_{\text{відх}}}{\rho V} t \right) \cdot L_{\text{відх}}}; \\ C_{\text{CO}_2}(t) = \frac{\left(L_{\text{свіж}} C_{\text{CO}_2 \text{свіж}} + V_{\text{CO}_2} \right) \cdot \exp \left(\frac{L_{\text{відх}}}{\rho V} t \right) + C_{\text{CO}_2 0}}{\exp \left(\frac{L_{\text{відх}}}{\rho V} t \right) \cdot L_{\text{відх}}}. \end{array} \right. \quad (2)$$

На базі системи рівнянь (2) розроблено програму в середовищі MathCad та проведено розрахунок. Розрахункові дані для реалізації математичної моделі мікроклімату шампінйонниці: густина повітря $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$; об'єм повітря в приміщенні $V = 400 \text{ м}^3$; питома теплоємність повітря $C = 1,005 \text{ Дж/}^\circ\text{C}\cdot\text{кг}$; температура повітря всередині теплиці $T_{\text{теплиці}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$; витрата теплоносія (вода) $G_{\text{тепл}} = 0,074 \text{ кг/с}$; питома теплоємність теплоносія $C_{\text{тепл}} = 4200 \text{ Дж/}^\circ\text{C}\cdot\text{кг}$; температура на вході теплообмінника $t_2 = 95^\circ\text{C}$; температура на виході теплообмінника $t_0 = 70^\circ\text{C}$; коефіцієнт теплопередачі огорожуючої конструкції $k = 6 \text{ Дж/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; площа огорожень $F = 100 \text{ м}^2$; температура повітря всередині приміщення $t_a = 21^\circ\text{C}$; зовнішня температура повітря (середньодобова в період опалення прийнята за

даними архіва метеоспостережень <http://www.meteoprog.ua>)
 $t_3 = 1^\circ\text{C}$; витрата свіжого повітря для вентиляції приміщення $L_{\text{свіж}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$; абсолютна вологість повітря в атмосфері теплиці $X_{\text{теплиці}} = 0,0171 \text{ л/м}^3$; абсолютна вологість свіжого повітря $X_{\text{свіж}} = 0,0041 \text{ л/м}^3$; витрата вихідного повітря $L_{\text{вих}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$; абсолютна вологість вихідного повітря $X_{\text{вих}} = 0,0171 \text{ л/м}^3$; витрата пари $L_{\text{пар}} = 0,014 \text{ кг/с}$; абсолютний вміст CO_2 в атмосфері теплиці $C_{\text{CO}_2, \text{теплиці}} = 1,1 \text{ л/м}^3$; абсолютний вміст CO_2 в атмосфері $C_{\text{CO}_2, \text{свіж}} = 0,38 \text{ л/м}^3$; абсолютний вміст CO_2 у вихідному з теплиці повітрі $C_{\text{CO}_2, \text{вих}} = 1,2 \text{ л/м}^3$; виділення CO_2 з 1 кг компосту в процесі окислення грибами повітря $V_{\text{CO}_2} = 0,1625 \text{ м}^3/\text{год}$; початкова температура $T_0 = 18^\circ\text{C}$; початкова вологість $X_0 = 0,013 \text{ л/м}^3$; початковий вміст $C_{\text{CO}_2, 0} = 0,6 \text{ л/м}^3$.

Графіки зміни температури, вологості та рівня вуглекислого газу в шампінйонниці представлено на рис. Криві відображають перехідний процес технологічних параметрів мікроклімату при ступінчастій зміні керувальних сигналів обігріву (а), зволоження (б) та вентиляції (в).

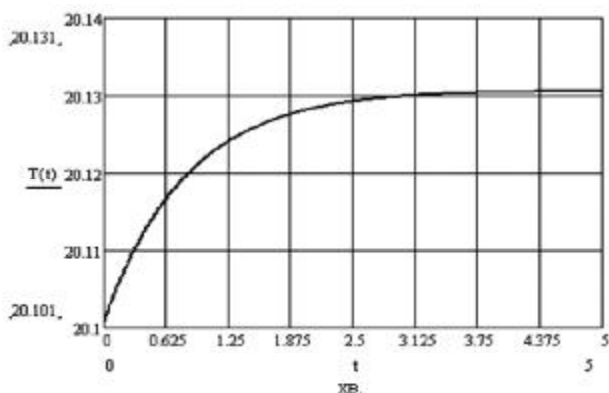
Як можна бачити з графіків, отримані перехідні процеси є аперіодичними залежностями, що дозволяє використовувати в моделях систем керування прості ланки першого порядку. Крім того, нескладно визначити їх параметри як графічно, так і з аналітичного розв'язку (2). Постійні часу можуть бути обчислені за такими залежностями:

- для ланки керування температурою

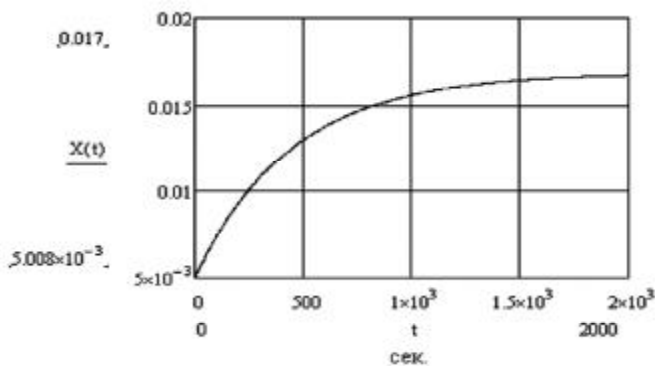
$$T_{\text{темп}} = \frac{\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}}}{\rho VC}, \quad (3)$$

- для ланок керування вологістю та вмістом CO_2

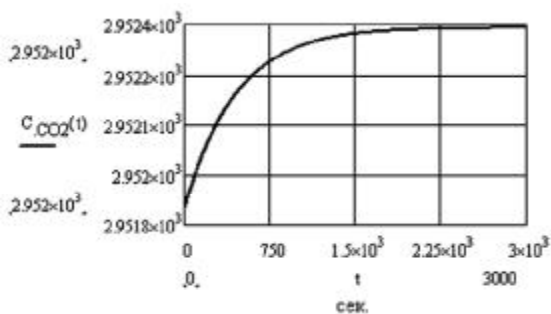
$$T_{\text{вог}} = T_{\text{CO}_2} = \frac{L_{\text{вих}}}{\rho V}. \quad (4)$$



а)



б)



в)

Рис. Графіки зміни технологічних параметрів мікроклімату в шампінйонниці при ступінчастій зміні керувальних сигналів.

Висновки. Отримано математичну модель мікроклімату в шампінйонниці, яка дозволяє враховувати канал регулювання вмісту вуглекислого газу в теплиці. Проведений аналітичний розв'язок рівнянь моделі дозволив виявити аперіодичний характер перехідних процесів при керуванні температурою, вологістю та вмістом CO₂. Отримано залежності для розрахунку постійних часу аперіодичних ланок, які можна використовувати в подальших дослідженнях при проектуванні та моделюванні систем автоматизованого керування параметрів мікроклімату шампінйонниці.

Література:

1. Войнова Н. Ф. Методы и системы адаптивного управления температурным режимом теплиц : автореф. дис. канд. техн. наук. — М. : РГАЗУ, 2007. — 22 с.
2. Кирилин Н. И. Оптимизация алгоритма взаимосвязанного регулирования температуры и влажности в технологических условиях / Н. И. Кирилин, Т. В. Шаронова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1986. — № 2. — С. 22—32.
3. Кошкін Д. Л. Динамічна модель керування мікрокліматом теплиці / Д. Л. Кошкін, Д. В. Бабенко // Вісник аграрної науки Причорномор'я . — 2011. — № 3 (60). — С. 160—164.
4. Пешко М. С. Раскрытая математическая модель микроклимата грибной теплицы / М. С. Пешко // Молодой ученый. — 2011. — № 9. — С. 42—48.
5. Семенов В. Г. Математическая модель микроклимата теплицы / В. Г. Семенов, Е. Г. Крушель // Известия ВолгГТУ. — 2009. — № 6. — С. 32—35.
6. 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.