

УДК 681.5.017

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ГРИБНОЇ ТЕПЛИЦІ

**Кошкін Д.Л., к.т.н.**

*Миколаївський національний аграрний університет*

Тел/факс (0512) 42–48–96

**Анотація** – Представлено блочно-імітаційну модель на базі математичної моделі мікроклімату грибною теплиці при керуванні температурою повітря, вологістю та концентрацією вуглекислого газу в камері вирощування. Отримано аналітичне рішення математичної моделі керування параметрами мікроклімату. Визначені показники якості процесу керування.

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

*Постановка проблеми.* На сьогодні існує багато робіт присвячених моделям мікроклімату теплиць. Всі ці моделі беруть в основу процес вегетації – фотосинтез [1, 2]. Відмінною особливістю грибних теплиць від традиційних являється сам процес вегетації, який проходить з виділенням тепла, води та вуглекислого газу в повітря грибниці. Дана особливість виникає в зв'язку з тим, що гриби являються аеробними мікроорганізмами, що передбачає виділення вуглекислого газу під час їх розвитку, на відміну від поглинання останнього рослинами в процесі фотосинтезу. У зв'язку з цим виникає необхідність переробки типових моделей мікроклімату теплиць, де в основі процесу вегетації взято фотосинтез.

*Аналіз останніх досліджень.* Питанню розробки математичних моделей об'єктів захищеного ґрунту в останні часи присвячено досить багато публікацій. В роботах Пешко М.С. [3], Семенова В.Г. [4], Токмакова Н.М. [5] наведені моделі різного ступеню деталізації, які базуються на законах збереження маси та енергії. Хоча відмінності обмінних процесів саме в грибних теплицях вимагають подальшого їх вивчення та розробки математичних моделей з врахуванням процесів керування вмістом вуглекислого газу, який виділяється грибами при вирощуванні. Таким чином, розробка математичної моделі, яка відображає взаємозв'язок параметрів мікроклімату грибною теплиці для синтезу систем керування є досить актуальною задачею.

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

*Основна частина.* Розглянувши різні варіанти математичних моделей мікроклімату грибних теплиць, пропонується система рівнянь, що приблизно описує процеси повітря-, масо- та теплообміну грибниці:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho V C \frac{dT(t)}{dt} = G_{\text{тепл}} C_{\text{тепл}} (t_2 - t_0) - \sum kF(t_6 - t_3) - L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}} (t_6 - t_3); \\ \rho V \frac{dX(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} X_{\text{свіж}} - L_{\text{відх}} X_{\text{відх}} + L_{\text{нар}}; \\ \rho V \frac{dC_{\text{CO}_2}(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} C_{\text{CO}_2\text{свіж}} - L_{\text{відх}} C_{\text{CO}_2\text{відх}} + V_{\text{CO}_2}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V$  – об'єм теплиці,  $\text{м}^3$ ;

$C$  – питома теплоємність повітря,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$T(t)$  – температура повітря всередині теплиці,  $^\circ\text{C}$ ;

$G_{\text{тепл}}$  – витрати теплоносія,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$C_{\text{тепл}}$  – питома теплоємність теплоносія,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$t_2, t_0$  – температура теплоносія на вході і виході теплообмінника,  $^\circ\text{C}$ ;

$F$  – площа огорожень,  $\text{м}^2$ ;

$t_6, t_3$  – температура повітря внутрішня і зовнішня,  $^\circ\text{C}$ ;

$L_{\text{свіж}}$  – витрата свіжого повітря для вентиляції приміщення теплиці,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$X(t)$  – абсолютна вологість повітря у теплиці,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$L_{\text{свіж}}$  – витрата свіжого повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$X_{\text{свіж}}$  – абсолютна вологість свіжого повітря,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$L_{\text{відх}}$  – витрата відходячого повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $X_{\text{відх}}$  – абсолютна вологість відходячого повітря,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$L_{\text{нар}}$  – витрата пари,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_{\text{CO}_2}(t)$  – абсолютний вміст  $\text{CO}_2$  в атмосфері теплиці,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{CO}_2\text{свіж}}$  – абсолютний вміст  $\text{CO}_2$  в атмосферному повітрі,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{CO}_2\text{відх}}$  – абсолютний вміст  $\text{CO}_2$  у відходячому повітрі із теплиці,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;

$V_{CO_2}$  – виділення  $CO_2$  в повітря теплиці в процесі окислення грибами повітря, м<sup>3</sup>/год з одного кг компосту.

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

Аналітичний розв'язок даної моделі наведений в рівняннях (2-4):

$$T(t) = \frac{\left[ G_{менл} C_{менл} (t_2 - t_0) + + t_3 \left( \sum kF + L_{свіж} C_{нов} \right) \right] \cdot \exp\left( \frac{\sum kF + L_{свіж} C_{нов}}{\rho V C} t \right) + T_0}{\left( \sum kF + L_{свіж} C_{нов} \right) \cdot \exp\left( \frac{\sum kF + L_{свіж} C_{нов}}{\rho V C} t \right)}; \quad (2)$$

$$X(t) = \frac{\left( L_{свіж} X_{свіж} + L_{нар} \right) \cdot \exp\left( \frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) + X_0}{\exp\left( \frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) \cdot L_{відх}}; \quad (3)$$

$$C_{CO_2}(t) = \frac{\left( L_{свіж} C_{CO_2свіж} + V_{CO_2} \right) \cdot \exp\left( \frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) + C_{CO_20}}{\exp\left( \frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) \cdot L_{відх}}. \quad (4)$$

На базі системи рівнянь (1) розроблено блочно-імітаційну модель в середовищі Matlab/Simulink та проведено розрахунок. На рис. 1 представлена модель підсистеми каналу моделювання рівняння теплового балансу. Дві інші підсистеми (вологості та вмісту  $CO_2$ ) мають подібну структуру.

Розрахункові дані для реалізації математичної моделі мікроклімату шампінйонниці, на базі реального об'єкта, були прийняті наступними: густина повітря  $\rho = 1,225$  кг/м<sup>3</sup>; об'єм повітря в приміщенні  $V = 400$  м<sup>3</sup>; питома теплоємність повітря  $C = 1,005$  Дж/°С кг; температура повітря всередині теплиці  $T_{менлиці} = 21$  °С; витрата теплоносія (вода)  $G_{менл} = 0,074$  кг/с; питома теплоємність теплоносія  $C_{менл} = 4200$  Дж/°С·кг; температура на вході теплообмінника  $t_2 = 95$  °С; температура на виході теплообмінника  $t_0 = 70$  °С; коефіцієнт теплопередачі огорожуючої конструкції  $k = 6$  Дж/(м<sup>2</sup>·°С); площа огорожень  $F = 100$  м<sup>2</sup>; зовнішня температура повітря (середньодобова в період опалення прийнята за даними архіву метеоспостережень

<http://www.meteorprog.ua>)  $t_3 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 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  $\text{CO}_2$  в атмосфері теплиці  $C_{\text{CO}_2\text{теплиці}} = 1,1 \text{ л/м}^3$ ; абсолютний вміст  $\text{CO}_2$  в атмосфері  $C_{\text{CO}_2\text{свіж}} = 0,38 \text{ л/м}^3$ ; абсолютний вміст  $\text{CO}_2$  у вихідному з теплиці повітрі  $C_{\text{CO}_2\text{вих}} = 1,2 \text{ л/м}^3$ ; виділення  $\text{CO}_2$  з 1 кг компосту в процесі окислення грибами повітря  $V_{\text{CO}_2} = 0,1625 \text{ м}^3/\text{год}$ ; початкова температура  $T_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ; початкова вологість  $X_0 = 0,013 \text{ л/м}^3$ ; початковий вміст  $\text{CO}_2$   $C_{\text{CO}_2 0} = 0,6 \text{ л/м}^3$ . Графіки зміни температури, вологості та рівня вуглекислого газу в шампінйонниці представлені на рис. 2.

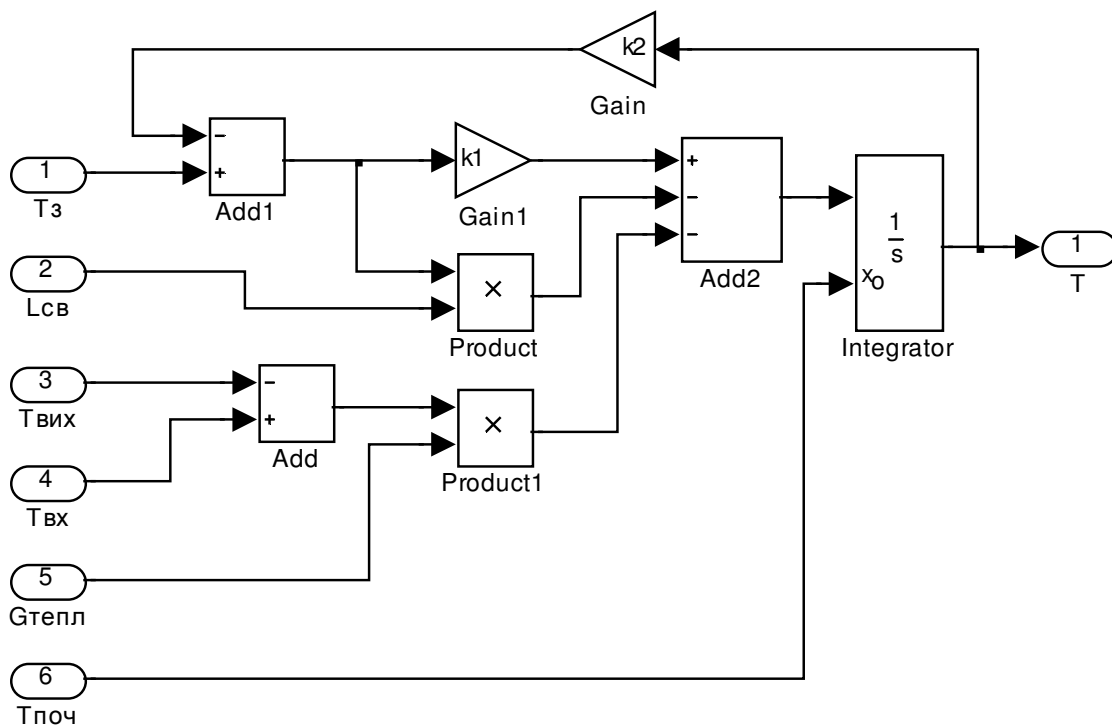


Рис. 1. Блочно-імітаційна модель рівняння теплового балансу.

Криві відображають перехідний процес технологічних параметрів мікроклімату при ступінчастій зміні керувальних сигналів обігріву (а), зволоження (б) та вентиляції (в).

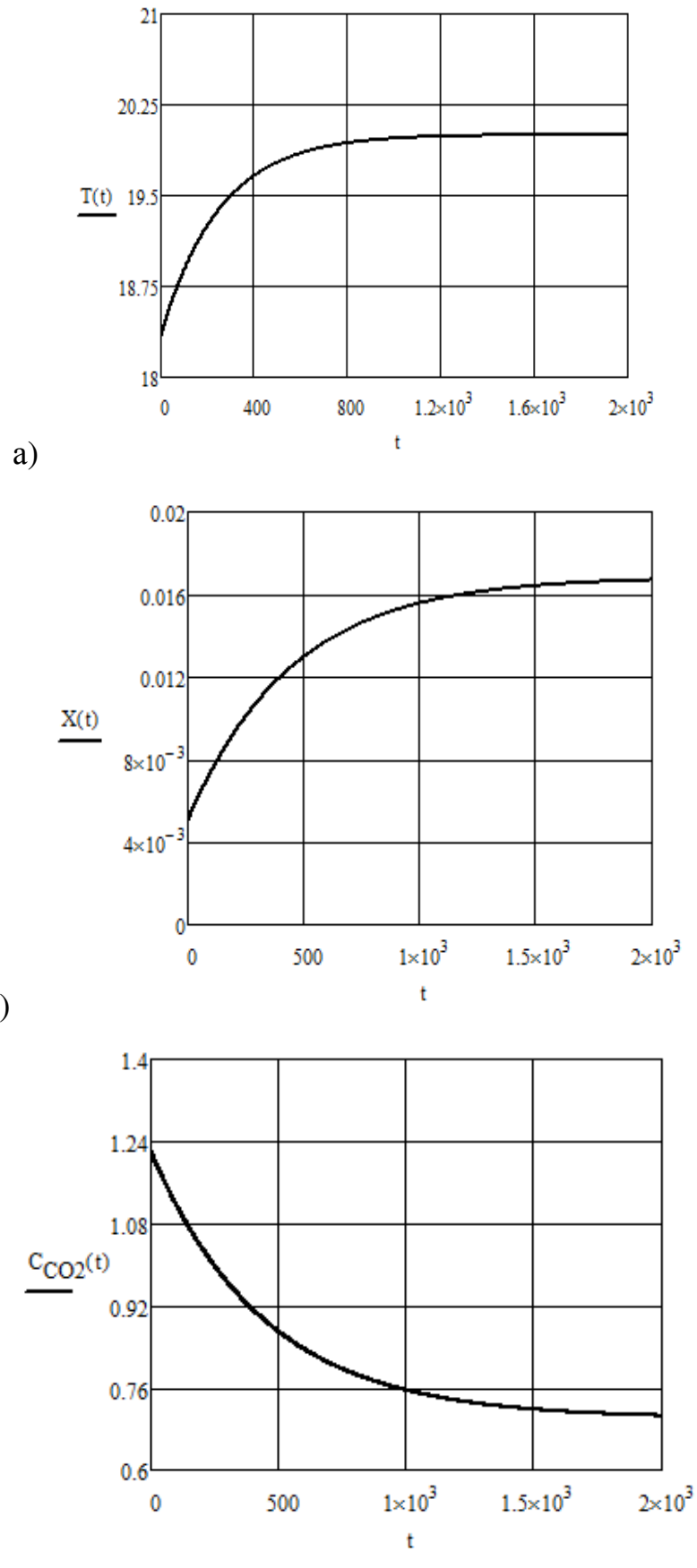


Рис. 2. Графіки зміни технологічних параметрів мікроклімату в шампінйонниці при ступінчастій зміні керувальних сигналів.

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

– для ланки керування температурою

$$T_{\text{темп}} = \frac{\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}}}{\rho V C}; \quad (5)$$

– для ланок керування вологістю та вмістом  $\text{CO}_2$

$$T_{\text{вол}} = T_{\text{CO}_2} = \frac{L_{\text{відх}}}{\rho V}. \quad (6)$$

*Висновки.* Отримана математична 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  $\text{CO}_2$ . Отримані залежності для розрахунку постійних часу аперіодичних ланок, які можна використовувати в подальших дослідженнях при проектуванні та моделюванні систем автоматизованого керування параметрів мікроклімату шампінйонниць.

#### *Список використаних джерел*

1. *Войнова Н.Ф.* Методы и системы адаптивного управления температурным режимом теплиц: Автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: РГАЗУ, 2007. — 22 с.
2. *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.
3. *Пешко М.С.* Раскрытая математическая модель микроклимата и грибной теплицы / *М.С. Пешко* // Молодой ученый. — 2011. — №9. — С. 42—48.
4. *Семенов В.Г.* Математическая модель микроклимата теплицы / *В.Г. Семенов, Е.Г. Крушель* // Известия ВолгГТУ. — 2009. — №6. — С. 32—35.
5. *Токмаков Н.М.* Математическая модель системы управления микроклиматом ангарных теплиц / *Н.М. Токмаков, В.С. Грудинин* // Журнал «Гавриш». — М.: НИИОЗГ, 2008. — №3. — С. 28—32.

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ГРИБНОЙ ТЕПЛИЦЫ**

Д.Л. Кошкин

*Аннотация* – представлена блочно-имитационная модель на базе математической модели микроклимата грибной теплицы при управлении температурой воздуха, влажностью и концентрацией углекислого газа в камере выращивания. Получено аналитическое решение математической модели управления параметрами микроклимата. Определены показатели качества процесса управления.

## **SIMULATION MODEL OF MUSHROOM GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETER CONTROL**

D. Koshkin

### *Summary*

The simulation model of air temperature, humidity and carbon dioxide concentration for mushroom greenhouse microclimate control was presented. The analytical solution of mathematical model equations was derived. The parameters of control process quality were defined.