

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРИБНОГО ПРИМІЩЕННЯ В ЗАМКНУТІЙ СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ

ГОЛУБ Г.А., к.т.н., Національний науковий центр “ІМЕСГ”

КЕПКО О.І., асистент, Уманський державний аграрний університет

Вступ. Система споруд закритого ґрунту “рослинна теплиця – грибниця” дозволяє за допомогою системи вентиляції здійснювати газове взаємопідживлення рослин та грибів, оскільки загальновідомо, що рослини під час фотосинтезу поглинають CO_2 та виділяють O_2 , а гриби під час дихання, навпаки, поглинають O_2 та виділяють CO_2 . Повітря насичене CO_2 із грибниці та насичене O_2 із теплиці за допомогою системи вентиляції циркулюють по замкнутому контуру, а припливне повітря в систему подають тільки при значеннях концентрації CO_2 в грибниці, що перевищують встановлену норму [5]. Крім технологічних переваг така система вентиляції забезпечує суттєву економію теплової енергії для нагріву припливного повітря [2,3]. Для забезпечення автоматичного управління температурним режимом в системі “рослинна теплиця – грибниця” необхідно знати її динамічні характеристики як об’єкта управління температурами циркулюючого повітря та субстрату в грибниці.

Матеріали та методика досліджень. Під час досліджень використані диференційні рівняння, що характеризують динамічні властивості об’єктів управління, існуючі схеми систем вентиляції теплиць та культиваційних приміщень для вирощування грибів. Для системи “рослинна теплиця – грибниця”, шляхом створення математичної моделі динаміки температури і субстрату та експериментально, згідно методики приведеній в [4], визначалася передаточна функція.

Результати досліджень. Температура субстрату та повітря є визначальними факторами, що впливають на процес вирощування грибів, одночасно, температура циркулюючого повітря є основним фактором при вирощуванні овочевих культур в теплиці. Для визначення функціональної залежності між температурою субстрату та повітря у часі скористаємося теоретичними передумовами викладеними в роботі [1], де цю залежність запропоновано визначати системою диференційних рівнянь.

Стосовно системи споруд “рослинна теплиця – грибниця” ця система буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dt_{\tilde{N}}}{d\tau} = \frac{q_C m_C - r m_{A\tilde{I}}}{m_C \tilde{N}_C} - \frac{\alpha_{\tilde{N}} S_C}{m_C c_C} (t_{\tilde{N}} - t_{\tilde{I}}) \\ \frac{dt_{\tilde{I}}}{d\tau} = -\frac{k_{\tilde{I}\tilde{A}} S_{\tilde{I}\tilde{A}}}{m_{\tilde{I}} \tilde{N}_{\tilde{I}}} (t_{\tilde{I}} - t_{\tilde{A}}) + \frac{\alpha_{\tilde{N}} S_C}{m_{\tilde{I}} c_{\tilde{I}}} (t_{\tilde{N}} - t_{\tilde{A}}) + \\ + \frac{k_{\tilde{I}\tilde{I}} S_{\tilde{I}\tilde{I}}}{m_{\tilde{I}} \tilde{N}_{\tilde{I}}} (t_{\tilde{I}\tilde{I}} - t_{\tilde{A}}) + k_{\tilde{I}1} (t_{\tilde{I}\tilde{I}} - t_{\tilde{A}}) + \\ + k_{\tilde{I}2} (t_{\tilde{I}} - t_{\tilde{A}}) + k_{\tilde{I}\tilde{I}0} (t_{\tilde{I}} - t_{\tilde{A}}) \end{array} \right. \quad (1)$$

де t_C – температура субстрату, °С; m_C – маса субстрату в грибниці, кг; C_C – питома теплоємність субстрату, Дж/кг°С; q_C – тепловиділення субстрату, Вт/кг; α_C – коефіцієнт тепловіддачі від субстрату до повітря, Вт/м²°С; S_C – площа поверхні субстрату, яка обдувається повітрям, м²; t_B – температура внутрішнього повітря в грибниці, °С; r – питома теплота випаровування води, Дж/кг; m_{BII} – інтенсивність випаровування води, кг/с; τ – час, сек.; m_{II} – маса повітря в грибниці, кг; k_{I1} – кратність повітрообміну в системі “рослинна теплиця – грибниця” який організовано між приміщеннями системи, с⁻¹; k_{I2} – кратність повітрообміну в системі “рослинна теплиця – грибниця” який організовано між грибним приміщенням і зовнішнім середовищем, с⁻¹; C_{II} – питома теплоємність повітря, Дж/кг °С; t_H – температура зовнішнього повітря, °С; t_{III} – температура припливного повітря із рослинної теплиці в грибницю, °С; k_{OI} – коефіцієнт теплопередачі через огорожуючі конструкції, Вт/м² °С; S_{OI} – площа поверхні огорожень, м²; S_{OII} – площа поверхні опалювальних приладів, м²; k_{OII} – коефіцієнт тепловіддачі від опалювальних приладів до повітря, Вт/м² °С; t_{OII} – температура води в опалювальних приладах, °С; $k_{II\Phi}$ – кратність повітрообміну інфільтрації, с⁻¹.

Увівши значення допоміжних величин, одержимо:

$$\begin{cases} \frac{dt_{\bar{N}}}{d\tau} = Q_C - Ct_{\bar{N}} + Ct_I \\ \frac{dt_I}{d\tau} = Dt_I + \dot{A}t_{\bar{N}} + Jt_{II} + Yt_I + Gt_I + Ft_{II} - \\ \quad - (D + \dot{A} + F + J + Y + G)t_{\bar{A}} \end{cases} \quad (2)$$

де $Q_C = \frac{q_C m_C - r m_{ВП}}{m_C C_C}$ – співвідношення явного тепловиділення субстрату та його теплоємності, c^{-1} ; $C = \frac{\alpha_C S_C}{m_C C_C}$ – співвідношення тепловіддачі від субстрату до повітря та теплоємності субстрату, c^{-1} ; $D = \frac{k_{ог} S_{ог}}{m_{II} C_{II}}$ – співвідношення втрат тепла через огорожу та теплоємності повітря, c^{-1} ; $E = \frac{\alpha_C S_C}{m_{II} C_{II}}$ – співвідношення тепловіддачі від субстрату до повітря та теплоємності повітря, c^{-1} ; $F = \frac{k_{оп} S_{оп}}{m_{II} C_{II}}$ – співвідношення тепловіддачі від опалювальних приладів до повітря та теплоємності повітря, c^{-1} ; $J = k_{I1}$ – кратність повітрообміну в системі “рослинна теплиця – грибниця” який організовано між приміщеннями системи, c^{-1} ; $Y = k_{I2}$ – кратність повітрообміну в системі “рослинна теплиця – грибниця” який організовано між грибним приміщенням і зовнішнім середовищем, c^{-1} . $G = k_{II\Phi}$ – кратність повітрообміну інфільтрації, c^{-1} .

Визначивши з першого рівняння системи диференціальних рівнянь значення температури повітря та, підставивши в друге рівняння, після диференціювання першого рівняння системи та об’єднання одержаних виразів, отримаємо лінійне неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, що замінює систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 t_C}{d\tau^2} + (C + D + E + F + J + Y + G) \frac{dt_C}{d\tau} + C(D + F + J + Y + G) t_C = \\ = C(Dt_H + Jt_{III} + Ft_{оп} + Yt_H + Gt_H) + (D + E + F + J + Y + G)Q_C \end{aligned} \quad (3)$$

З даного рівняння видно, що при постійних значеннях температур води в опалювальних приладах та припливного повітря, оскільки вони підтримуються окремою системою регулювання, основним вхідним впливом, який може привести

до зміни температури субстрату, є зміна температури зовнішнього повітря, тепловиділення субстрату або втрат тепла через огороження. Оскільки швидкість зміни температури зовнішнього повітря та тепловиділення субстрату незначна, будемо вважати, що на короткому відрізку часу вони також є постійними величинами. В цьому випадку диференціальне рівняння зміни температури субстрату буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 t_C}{d\tau^2} + c \frac{dt_C}{d\tau} + dt_C = A \quad (4)$$

де $c = C + D + E + F + J + Y + G$; $d = C(D + F + J + Y + G)$;

$$A = C(Dt_H + Jt_{III} + Ft_{OP} + Yt_H + Gt_H) + (D + E + F + J + Y + G)Q_C$$

Очевидно, що при цьому одне з часткових рішень неоднорідного диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами, яке одночасно є сталим значенням температури субстрату, буде мати вигляд:

$$t_C^* = t_C^C = \frac{A}{d} = \frac{Dt_H + Jt_{III} + Ft_{OP} + Yt_H + Gt_H}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_C}{C(D + F + J + Y + G)} + \frac{Q_C}{C} \quad (5)$$

Загальне рішення диференціального рівняння, як сума рішень відповідного однорідного диференціального рівняння та часткового рішення неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд:

$$t_C = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + t_C^C \quad (6)$$

де k_1, k_2 – корені характеристичного рівняння; C_1, C_2 – постійні рішення диференціального рівняння.

З першого рівняння системи диференціальних рівнянь знаходимо:

$$t_{II} = \left(\frac{k_1}{C} + 1 \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1 \right) C_2 \exp(k_2 \tau) + \frac{Dt_H + Jt_{III} + Ft_{OP} + Yt_H + Gt_H}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_C}{C(D + F + J + Y + G)} \quad (7)$$

Позначивши стале значення температури повітря

$$t_{II}^C = \frac{Dt_H + Jt_{III} + Ft_{OP} + Yt_H + Gt_H}{D + F + J + Y + G} + \frac{EQ_C}{C(D + F + J + Y + G)} \quad (8)$$

одержимо

$$t_{II} = \left(\frac{k_1}{C} + 1 \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1 \right) C_2 \exp(k_2 \tau) + t_{II}^C \quad (9)$$

Постійні рішення диференційних рівнянь визначаються з тієї умови, що в початковий момент часу температура субстрату та повітря дорівнюють своїм початковим сталим значенням. При наявності вхідних збуджуючих впливів (зміна температури зовнішнього повітря, величини тепловиділень субстрату, які залежать від інтенсивності проходження в субстраті біологічних процесів або температури припливного повітря) установлюються нові сталі значення температури субстрату та повітря. Таким чином можна записати:

$$C_1 = - \frac{(k_2 + C)(t_C^{СП} - t_C^{СК}) - C(t_{II}^{СП} - t_{II}^{СК})}{k_1 - k_2} \quad (10)$$

$$C_2 = \frac{(k_1 + C)(t_C^{СП} - t_C^{СК}) - C(t_{II}^{СП} - t_{II}^{СК})}{k_1 - k_2}$$

де $T_C^{СП}, T_C^{СК}$ – початкове та кінцеве сталі значення температури субстрату, $^{\circ}\text{C}$;
 $T_{II}^{СП}, T_{II}^{СК}$ – початкове та кінцеве сталі значення температури повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Неоднорідне диференційне рівняння другого порядку, яке описує динамічні властивості системи споруд „рослинна теплиця – грибниця”, може бути представлено через перетворення Лапласа у формі передаточної функції [4], що має важливе значення для виконання функцій автоматичного управління температурою повітря та субстрату:

$$W(s) = \frac{k}{T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1} = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (11)$$

де $T_{01} = d^{-0,5}, T_{02} = cd^{-1}$ – постійні величини; T_1 – постійна часу для субстрату, с; T_2 – постійна часу для повітря, с; k – коефіцієнт передачі по каналу управління.

По виду передаточної функції можна зробити висновок, що система споруд „рослинна теплиця – грибниця” з точки зору автоматичного управління температурою субстрату являє собою двоємнісний об’єкт. Так, наприклад, зміна температури води в системі опалення дослідної системи від 50°C до 60°C при початковому сталому значенні температури субстрату $15,2^{\circ}\text{C}$ та повітря $12,9^{\circ}\text{C}$ призводить до перехідного процесу (рис. 1, 2), і нове сталі значення температури субстрату та повітря встановлюється на рівні $18,8^{\circ}\text{C}$ та $16,5^{\circ}\text{C}$.

Для дослідного визначені величини, на основі яких, згідно методики [4]

отримана передаточна функція яка має вигляд:

$$W(s) = \frac{16,7}{(21,8p + 1)(0,1p + 1)} \quad (12)$$

а передаточна функція яка отримана з математичної моделі при тих же умовах, що і експеримент –

$$W(s) = \frac{18,8}{(17,9p + 1)(0,04p + 1)} \quad (13)$$

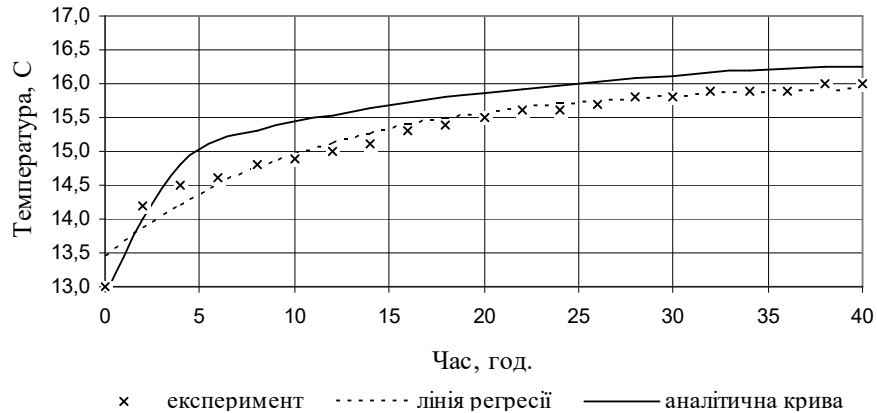


Рис.1. Динаміка зміни температури внутрішнього повітря при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 °С

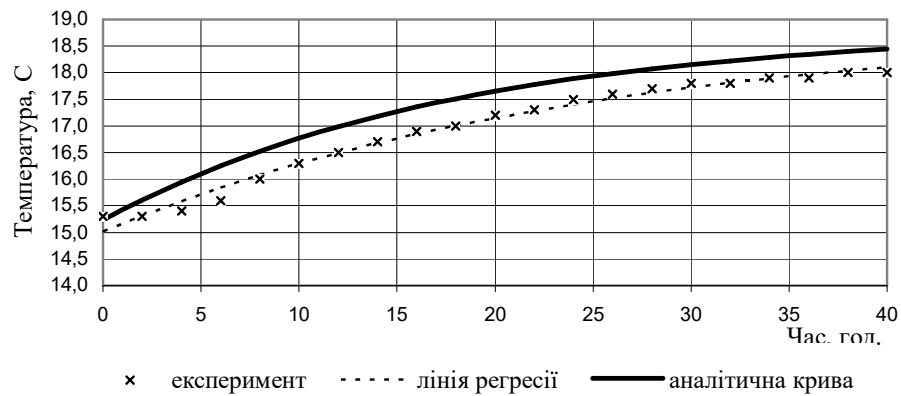


Рис. 2. Динаміка зміни температури субстрату при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 °С

Величина постійних часу, отриманих з математичної моделі відрізняються від експериментальних на 9–60 % що обумовлено інфільтрацією повітря, коливанням температури зовнішнього повітря та нестабільністю тепловиділення субстрату під

час проведення експерименту.

Висновки. Встановлено, що з точки зору автоматичного управління температурою субстрату, система споруд “рослинна теплиця – грибниця” у випадку підтримання сталої температури в теплиці являє собою двоємнісний об’єкт. Розроблена динамічна модель зміни температури субстрату та повітря дозволяє вибрати по відношенню τ/T тип регулятора температури субстрату. Проведені дослідження є основою для розробки алгоритму управління системою споруд „рослинна теплиця – грибниця”.

Список літератури:

1. Голуб Г.А. Мікроклімат споруд для вирощування грибів // Вісник аграрної науки. – №10. – 2003. – С. 46-49.

2. Кепко О.І. Математична модель опалювально-вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в закритому ґрунті // Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільського господарства”. – Київ: НАУ. – 2003. – том XV. – С.

3. Кепко О.І. Моделювання енергозберігаючих режимів роботи опалювально-вентиляційного обладнання в спорудах закритого ґрунту при вирощуванні білкової продукції // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2000. – Вип. 83. – С.

4. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.

5. Спосіб вентиляції споруд закритого ґрунту. Патент №57956 А Україна, МКВ А01G 9/24 / Гірченко М.Т., Голуб Г.А., Жоров В.І., Вдовенко С.А., Кепко О.І., Шаповалов Л.В. (Україна). – №2002021688; Заявл. 28.02.02; Опубл. 15.07.03, Бюл. №7.

Запропоновано математичну модель динаміки температури субстрату та повітря в системі споруд “рослинна теплиця – грибниця”.

Предложена математическая модель динамики температуры субстрату и воздуха в системе сооружений “растительная теплица – грибница”.

The mathematical model of dynamics of temperature of substrate and air in the system “hothouse – cultivation room for growing mushrooms” is given.