

## ДИНАМІКА КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub> В КУЛЬТИВАЦІЙНОМУ ПРИМІЩЕННІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГРИБІВ В ЗАМКНУТІЙ СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ

*КЕПКО О.І., к.т.н.*

*Уманський державний аграрний університет, Україна*

Вступ. Характер та тривалість перехідних процесів в культивацийних приміщеннях при великих об'ємах виробництва потребує моделювання цих процесів для оцінки стану об'єкту на будь-якій ділянці перехідного процесу. Особливо це питання актуальне для замкнутих систем вентиляції із за їх складності.

Запропонована модель розроблена для замкнутої системи вентиляції типу „рослинна теплиця – грибниця” з комбінованим повітрообміном [1,2,3].

Матеріали і методика досліджень. Математична модель побудована на основі газового балансу рослинного і грибного приміщень [4,5,6,7]. При розробці моделі прийняті допущення: концентрації вуглекислого газу в зовнішньому повітрі та повітрі яке надходить із суміжної теплиці на протязі перехідного процесу сталі; температури зовнішнього та внутрішнього повітря на протязі перехідного процесу сталі; щільність повітря не залежить від температури і тиску в середині приміщення; час переміщення повітря в приміщенні не враховується. Експериментальні дослідження проводились в дослідній теплиці кафедри екології, декоративного садівництва та лісівництва Уманського державного аграрного університету. Експерименти по вимірюванню динаміки зміни концентрації CO<sub>2</sub> проводились в грудні–січні 2002–2003 рр. та в цей же період 2003–2004 рр. Для виключення впливу сонячної радіації на газовий баланс вимірювання проводились в темну пору доби.

Результати досліджень. Функціональна залежність між концентрацією вуглекислого газу у часі в системі культивацийне приміщення – теплиця визначається диференційним рівнянням, яке має вигляд:

$$V_{\Pi} \frac{dC}{d\tau} = L_{\text{суб}} + L_{\text{ППі}} - L_{\text{ВПі}} + L_{\text{ПП1.1}} - L_{\text{ВП1.1}} + L_{\text{ПП1.2}} - L_{\text{ВП1.2}} \quad (1)$$

де  $V_{\Pi}$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $L_{\text{суб}} = L_{\text{CO}_2 \text{ зр}} \cdot t$  – потік вуглекислого газу від субстрату, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;  $L_{\text{ПП1.2}} = C_{\text{нов}} \cdot L_{\text{М.1.2}} \cdot t$  – потік вуглекислого газу з припливним вентиляційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;  $L_{\text{ВП1.2}} = C \cdot L_{\text{М.1.2}} \cdot t$  – потік вуглекислого газу з викидним вентиляційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;  $L_{\text{ППі}} = C_{\text{нов}} \cdot L_{\text{інф}}$  – потік вуглекислого газу з припливним інфільтраційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;  $L_{\text{ВПі}} = C \cdot L_{\text{інф}}$  – потік вуглекислого газу з викидним інфільтраційним повітрям, м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/год.;  $L_{\text{ПП1.1}} = C_{\text{менл.}} \cdot L_{\text{М.1.1}} \cdot t$  – потік

вуглекислого газу з припливним повітрям із теплиці,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{год.}$ ;  $L_{ВП 1.1} = C \cdot L_{M.1.1} \cdot t$  – потік вуглекислого газу з викидним повітрям в теплицю,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{год.}$ ;  $L_{інф}$  – повітрообмін інфільтрації,  $\text{м}^3/\text{год.кг.маси}$ ;  $L_{M.1.1}$  – повітрообмін між приміщеннями,  $\text{м}^3/\text{год.кг.маси}$ ;  $L_{M.1.2}$  – повітрообмін із зовнішнім середовищем,  $\text{м}^3/\text{год.кг.маси}$ ;  $L_{CO_2 зр}$  – виділення  $\text{CO}_2$  з 1 кг маси субстрату,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{год.кг.маси}$ ;  $C_{тепл}$  – концентрація  $\text{CO}_2$  в припливному повітрі із теплиці,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{м}^3$ ;  $C_{нов}$  – концентрація  $\text{CO}_2$  в припливному повітрі,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{м}^3$ ;  $m$  – маса субстрату, кг;  $\tau$  – час, год;

Розділивши всі члени на  $V_{\Pi}$  отримаємо:

$$\frac{dC}{d\tau} = L_{CO_2 зр} m V_{\Pi}^{-1} + C_{нов} k_{інф} + C_{нов} k_{в} - C k_{інф} + C_{тепл} k_c - C k_c - C k_{в} \quad (2)$$

де  $k_{в} = L_{M.1.2} \cdot m \cdot V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну вентиляції,  $\text{год}^{-1}$ ;  
 $k_c = L_{M.1.1} \cdot m \cdot V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну між теплицями,  $\text{год}^{-1}$ ;  
 $k_{інф} = L_{інф} \cdot V_{\Pi}^{-1}$  – кратність повітрообміну інфільтрації,  $\text{год}^{-1}$ ;

Введемо додаткові позначення:  $a = L_{CO_2 зр} m V_{\Pi}^{-1}$ ;  $b = C_{нов} k_{інф}$ ;  $f = C_{нов} k_{в}$ ;  
 $g = C_{тепл} k_c$ ;  $d = k_{інф} + k_{в} + k_c$

Тоді

$$\frac{dC}{d\tau} = a + b + f + g - C d \quad (3)$$

Ведемо додаткові позначення:  $A = a + b + f + g$ ;  $B = d$ .

Тоді

$$\frac{dC}{d\tau} = A - CB; \quad \frac{dC}{d\tau} + CB = A \quad (4)$$

Диференційне рівняння вирішуємо методом підстановки. В результаті отримаємо загальне рішення диференційного рівняння:

$$C = v u = e^{-B\tau} \left( \frac{A}{B} e^{B\tau} + c \right) \quad (5)$$

Початкові умови:  $\tau = 0$ ;  $C = C_{\Pi}$ , тоді:

$$C_{\Pi} = \frac{A}{B} + c; \quad c = C_{\Pi} - \frac{A}{B}$$

Рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу має вигляд:

$$C = e^{-B\tau} \left( \frac{A}{B} e^{B\tau} + C_{\Pi} - \frac{A}{B} \right)$$

$$C = \frac{A}{B} + \left( C_{II} - \frac{A}{B} \right) e^{-B\tau} \quad (6)$$

Рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу в приміщенні грибниці в явному вигляді має вид:

$$C = \frac{a+b+f+g}{d} + \left( C_{II} - \frac{a+b+f+g}{d} \right) e^{-d\tau} \quad (7)$$

$$C = \frac{C_{нов}(L_{інф} + L_{M1.2}m) + m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} + \left( C_{II} - \frac{C_{нов}(L_{інф} + L_{M1.2}m) + m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} \right) \exp(-(k_{інф} + k_е + k_c)\tau) \quad (8)$$

У випадку, коли параметри внутрішнього повітря в приміщенні грибниці в замкненій системі і при роботі вентиляції по концентрації вуглекислого газу відповідають свіжому повітрю ( $C_{II} = C_{нов}$ ) рівняння набуває вигляду:

$$C = \frac{C_{нов}(L_{інф} + L_{M1.2}m) + m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} + \frac{C_{нов}L_{M1.1} \cdot m - m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} \exp(-(k_{інф} + k_е + k)\tau) \quad (9)$$

Стале значення концентрації вуглекислого газу:

$$C = \left( \frac{C_{нов}(L_{інф} + L_{M1.2}m) + m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} + \frac{C_{нов}L_{M1.1}m - m(C_{менл}L_{M1.1} + L_{CO_2zp})}{L_{інф} + L_{M1.1}m + L_{M1.2}m} \exp(-(k_{інф} + k_е + k)\tau) \right) \times (1 - \exp(-(k_{інф} + k_е + k)\tau)) \quad (10)$$

Концентрація вуглекислого газу в приміщенні грибниці при розімкненій системі і при роботі вентиляції має вигляд:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2zp}m}{L_{інф} + L_{M1.2}m} (1 - \exp(-(k_{інф} + k_е)\tau)) \quad (11)$$

Стале значення концентрації:

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2, zp} m}{L_{инф} + L_{M1.2} m} \quad (12)$$

У випадку коли вентиляційна установка не працює, рівняння динаміки концентрації вуглекислого газу набуває вигляду:

– в замкнутій системі –

$$C = \frac{L_{CO_2, zp} m + C_{нов} L_{инф} + C_{менл} L_{M1.1} m}{L_{инф} + L_{M1.1} m} + \left( C_{II} - \frac{L_{CO_2, zp} m + C_{нов} L_{инф} + C_{менл} L_{M1.1} m}{L_{инф} + L_{M1.1} m} \right) \exp(-(k_{инф} + k_c) \tau) \quad (13)$$

стале значення

$$C = \left( \frac{L_{CO_2, zp} m + C_{нов} L_{инф} + C_{менл} L_{M1.1} m}{L_{инф} + L_{M1.1} m} + \frac{m(C_{нов} L_{M1.1} - L_{CO_2, zp} - C_{менл} L_{M1.1})}{L_{инф} + L_{M1.1} m} \exp(-(k_{инф} + k) \tau) \right) \times (1 - \exp(-(k_{инф} + k_s + k) \tau)) \quad (14)$$

– в розімкнутій системі –

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2, zp} m}{L_{инф}} (1 - \exp(-k_{инф} \tau)) \quad (15)$$

стале значення

$$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2, zp} m}{L_{инф}} \quad (16)$$

Середнє значення концентрації вуглекислого газу при позиційному регулюванні визначається часом роботи вентиляційної системи та часом її „простою”, або інакше кажучи – частотою включень вентиляційної системи, а при пропорційному регулюванні – продуктивністю (потужністю) системи вентиляції.

Експериментальні дослідження проводились при температурі повітря в рослинній теплиці плюс 14 °С, грибниці плюс 16 °С і зовнішнього повітря мінус 15 °С та концентрації CO<sub>2</sub> в теплиці 0,0003 м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> / м<sup>3</sup> пов. Результати експериментальних досліджень показані на рисунках 1 і 2.

Динаміка зміни концентрації  $\text{CO}_2$  в культивацийному приміщенні яка розрахована по математичній моделі, по параметрах які мали місце при проведенні експерименту, при розімкнутій та замкнутій системі вентиляції показана на рисунках 1 і 2 а динаміка зміни концентрації від 0,04% до 0,06% на рисунку 3.

Адекватність математичної моделі експериментальним даним перевірялась по критерію Стюдента. Перевірка показала, що розходження між теоретичними та експериментальними значеннями концентрації  $\text{CO}_2$  не суттєва.

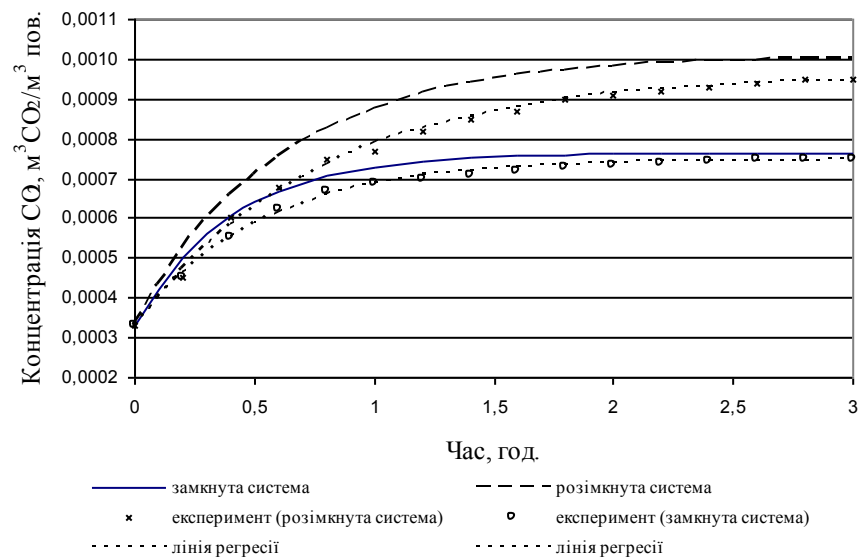


Рис. 1. Динаміка концентрації вуглекислого газу в грибниці при включеній вентиляційній системі

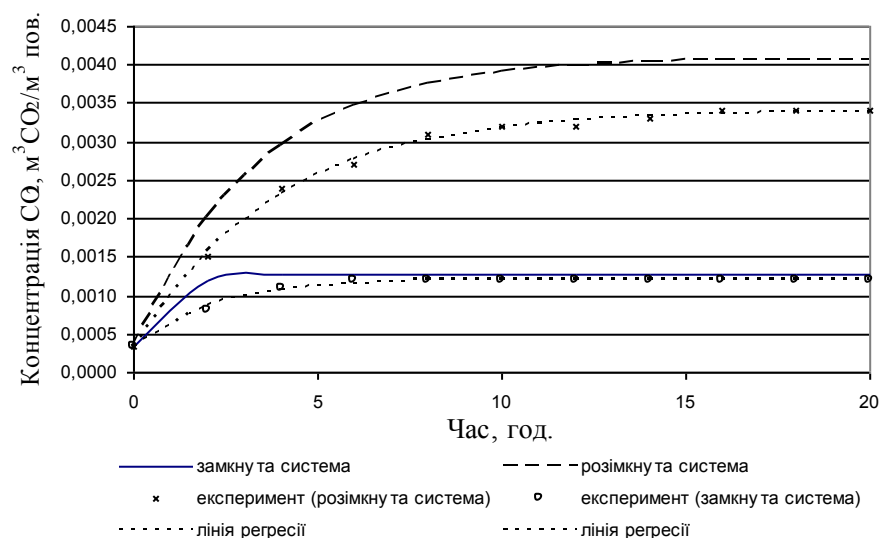
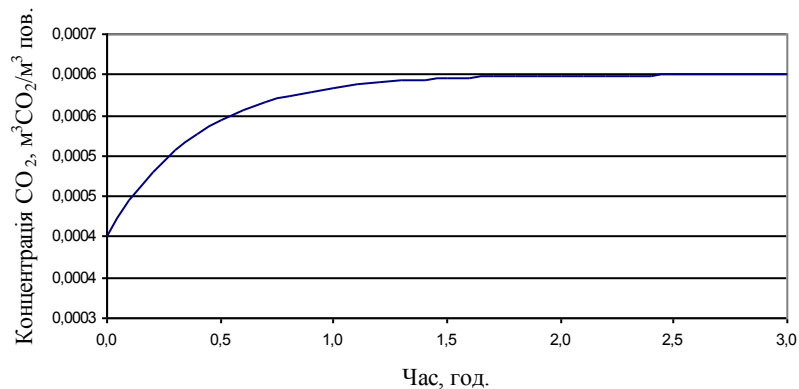


Рис. 2. Динаміка концентрації вуглекислого газу в грибниці при виключеній вентиляційній системі

Висновки. Отримані математичні залежності дають можливість аналітичним шляхом визначити концентрацію  $\text{CO}_2$  в культивацийному приміщенні в залежності від стану замкнutoї системи вентиляції в будь-якій точці

перехідного процесу, а також значення концентрацій, що встановились по завершенню перехідного процесу.



*Рис. 3. Динаміка концентрації вуглекислого газу в грибниці від 0,04% до 0,06%*

Модель може бути використана технічними працівниками при експлуатації або проектуванні замкнутих систем вентиляції для визначення значень концентрацію CO<sub>2</sub> в заданий момент часу або визначенні часу проходження перехідного процесу.

## **SUMMARY**

The mathematical model of dynamics of change of the concentration CO<sub>2</sub> in the cultivation room for growing of mushrooms in the closed system of ventilation is suggested.

## **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Кепко О.І. Математична модель опалювально-вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в закритому ґрунті // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том XV. – К., 2003. – С. 413–419.
2. Кепко О.І. Моделювання енергозберігаючих режимів роботи опалювально-вентиляційного обладнання в спорудах закритого ґрунту при вирощування білкової продукції. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип.83. – Глеваха. ННЦ ІМЕСГ, 2000. – С. 199–202.
3. Патент. № 57956 А Україна, МКВ А01G9/24. Спосіб вентиляції споруд закритого ґрунту / Гірченко М.Т., Голуб Г.А., Жоров В.І., Вдовенко С.А., Кепко О.І., Шаповалов Л.В. (Україна). – №2002021688; Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.
4. Беккер З.Э. Физиология и биохимия грибов –М.: Из-во МГУ, 1988. –227 с.
5. Микроклиматические основы тепличного овощеводства / Пер. с болг. Е.С. Сигаева. С предисл. Н.С. Гончарука. –М.: 1982 –175с.
6. Пивень И.О. Ермолаева В.Н. Выращивание шампиньонов и вёшенки: –Львов: Каменяр, 1988. –88с.
7. Строй А.Ф. Теплоснабжение и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений: Учеб. пособие для вузов. –К.: Вища школа, 1983. –215 с.