

УДК 631.23+004.94+51-74

## РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ З ВРАХУВАННЯМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДІЄНТУ ПАРАМЕТРІВ

Сабо А.Г., к.т.н., доцент

e-mail: andrii.sabo@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет

**Анотація:** Представлено розробку моделі динаміки мікроклімату для аркової теплиці з високим дахом та з вентиляцією через вікна верхньо-бічного розташування. Модель типу «чорного ящика» на основі дворівневої структури (для повітря в зоні розташування рослин та для над цією зоною в теплиці) побудована та оцінена на основі експериментальних даних. Модель засновано на базових фізичних рівняннях принципів і обрана з набору лінійних систем, що описуються змінними стану з дискретним часом на основі методів ідентифікації підпростору з використанням пакету прикладних програм MATLAB. При верифікації моделі похибка склала менше 9%, що є добрим показником для нескладної лінійної системи.

**Постановка проблеми.** При моделюванні динаміки мікроклімату в теплиці завжди намагаються знайти компроміс між складністю моделі та її точністю. Останнім часом в країні все більше розповсюджуються високі теплиці аркового типу, для яких характерним є наявність помітного вертикального градієнту параметрів мікроклімату (насамперед температури та вологості), для яких поки що не розроблено достатньо точної і разом з тим простої моделі, придатної для застосування на практиці. Тому постає задача розробки простої моделі на основі базових фізичних законів, яка б враховувала наявність вертикального градієнту в зазначених теплицях і перевірки її точності.

**Формулювання цілей.** При розробці зазначеної вище моделі ставиться задача створити лінійну модель невисокого порядку на основі базових фізичних законів методом вибору на основі експериментальних даних з інваріантних тимчасових моделей стану з наступною верифікацією моделі на іншому наборі таких даних.

**Основні матеріали дослідження.** Відправним пунктом для побудови моделі є використання базових фізичних законів для температури та вологості для двох обсягів повітря, де індексом 1 позначено повітря в шарі рослин в теплиці, який повністю обіймається обсягом повітря в теплиці, позначеним індексом 2, де має місце обмін повітрям між зазначеними обсягами, а також між обсягом 2 та середовищем 3, а саме:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4; C_2 \frac{dT_2}{dt} = Q_3 - Q_5,$$

де  $C_{1,2}$  та  $T_{1,2}$  – відповідно теплова ємність та температура підпросторів 1,2;  $Q_{1,2,3,4,5}$  – відповідно теплові потоки 1 – від сонячної радіації, 2 – через покриття, 3 – між ґрунтом та повітрям, 4 – через вентиляцію.

$$V_1 \frac{dH_1}{dt} = M_1 - M_2; V_2 \frac{dH_2}{dt} = M_1 - M_2 + M_3,$$

де  $V_{1,2}$  та  $H_{1,2}$  – відповідно ефективні ємності та абсолютна вологість підпросторів 1,2;  $M_{1,2,3}$  – відповідно потоки вологи 1 – від рослин, 2 – осідання на покритті та рослинах, 3 – через вентиляцію.

Наведені рівняння є взаємно незалежними диференціальними рівняннями, що відповідають моделі мікроклімату в теплиці в змінних стану. Для пошуку лінійної дискретної стаціонарної моделі для мікроклімату в теплиці без додаткового опалення в просторах стану для кількох вхідних та вихідних змінних повинні використовуватися ефек-

тивні та надійні алгоритми [1-3]. Приймаємо як базову параметричну модель - систему диференційних рівнянь першого порядку

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k; \mathbf{y}_k = \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \mathbf{D}\mathbf{u}_k + \mathbf{v}_k$$

де  $\mathbf{u}_k$  – вхідний вектор процесу,  $\mathbf{x}_k$  – вектор стану процесу,  $\mathbf{y}_k$  – вихідний вектор процесу,  $\mathbf{w}_k$  та  $\mathbf{v}_k$  – векторні масиви стохастичних невимірюваних змінних, що відображають шум у процесі та вимірюваннях відповідно (всі - на момент  $k$ ).

Вказані змінні прийняті відповідними білому шуму першого порядку. Матриці  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{D}$  описують модель просторів стану. На основі розгляду процесу як сигналу, що проходить крізь канал зв'язку з білим шумом [3] було ідентифіковано структуру моделі як:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B} \begin{pmatrix} H_3 \\ T_3 \\ Q_1 \end{pmatrix} + \mathbf{w}_k; \begin{pmatrix} H_2 \\ T_2 \\ H_1 \\ T_1 \end{pmatrix} = \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \mathbf{D} \begin{pmatrix} H_1 \\ T_1 \\ Q_1 \end{pmatrix} + \mathbf{v}_k.$$

Для визначення параметрів моделі використовувався пакет Matlab [3,4], за допомогою якого з використанням експериментальних даних (2220 точок часу, що відповідають біля 180 годинам зняття експериментальних даних) було визначено, що достатній порядок моделі буде  $n=3$ , а потім визначено параметри моделі на основі використання ідентифікаційного алгоритму визначення у підпросторах при сполученні стохастичних та детермінованих змінних [1,3]. Модель при отриманих таким чином параметрах при симуляції у порівнянні зі згаданими вище експериментальними даними продемонструвала відхилення в межах: відносна середньоквадратична похибка складала за температурою 6,0%, за вологістю – 4,1%. Для перевірконого набору експериментальних даних (1830 точок часу, що відповідають біля 160 годинам зняття експериментальних даних) модель дає такі відхилення від реальних даних: відносна середньоквадратична похибка за температурою 8,8%, за вологістю – 7,3%. Найбільші відхилення відповідали точкам фазового переходу (вологість була близькою до 100%, що відповідає випадінню крапельної вологи), де проявляється нелінійність, що є критичним моментом для лінійної моделі.

**Висновок.** Розроблена модель дозволяє доволі точно передбачати зміну параметрів мікроклімату і може бути взятою за основу при розробці системи управління мікрокліматом в високих аркових теплицях.

#### Список використаних джерел.

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. - М.: Наука, 1991. - 432 с.
2. Körner, O., Challa, H., Temperature integration and process based humidity control in chrysanthemum / O. Körner, H. Challa // Computers and electronics in agriculture, No. 43, 2004. - pp. 1–21.
3. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи / О.В. Горячкин. – М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
4. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. - СПб.: Наука. 2000. - 475 с.