

Питання управління в складних системах

УДК 535.24, 66.021.3

О.Б. Борщ, В.В. Борщ

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОЦІНКА ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕПЛОВОЛОГІСНИЙ СТАН ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ КЕРУВАННІ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ

Визначений ключовий фактор, що впливає на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції з урахуванням її повітропроникності при автоматичному керуванні параметрами мікроклімату теплиці.

Ключові слова: тепловологісний стан, мікроклімат, повітропроникність, автоматичне керування.

Вступ

Постановка проблеми. Рівномірне на протязі року задоволення потреб населення України в овочах передбачає застосування сільськогосподарських технологій закритого ґрунту. Оскільки вказані технології потребують значних затрат енергії (агропромисловий комплекс України споживає близько 20 відсотків енергетичних ресурсів), суттєве підвищення енергоефективності технологічних процесів при виробництві овочевої продукції для вітчизняних аграріїв є актуальним.

Вирішальну роль у формуванні врожаю овочів у тепличному господарстві відіграє мікроклімат приміщення. Існуючі системи для його забезпечення в тепличних приміщеннях мають низку недоліків – не враховується температура на поверхні рослин, комплексно не оцінюється вплив сонячної радіації, температури та швидкості потоків зовнішнього повітря, матеріалу та конструкції огородження а також інших факторів, що мають випадковий характер.

Переведення тепличних господарств на промислову основу з використанням сучасних автоматичних систем керування параметрами мікроклімату [1] є запорукою стійкого забезпечення населення овочами в кліматичних умовах України в необхідній кількості та високої якості.

Не менш важливою складовою програми підвищення енергоефективності тепличного господарства є вибір матеріалу для різних конфігурацій тепличного приміщення.

Тепловологісні параметри мікроклімату теплиці визначаються алгебраїчною сумою всіх теплових потоків споруди. В холодний період року осно-

вною її складовою є втрати теплоти через огорожувальні конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різниця тисків внутрішнього та зовнішнього повітря викликає фільтрацію повітря крізь товщу огорожувальної конструкції споруди теплиці. Фільтрація є типовим молекулярним процесом, до якого застосовуються всі закономірності гідродинаміки потоку в пористих середовищах [1]. Можна передбачити, що кількість вологи, яка буде переноситися за рахунок фільтрації повітря значно більша, ніж при дифузійному переносі. Але, якщо в процесі фільтрації вологого повітря крізь товщу огородження не відбувається конденсація або випаровування вологи, то вологовміст огородження в довільній точці залишається незмінним. Це явище обумовлене досить невеликою кількістю пару в порах та капілярах огородження, порівняно з кількістю рідини (зміна концентрації пару в порах та капілярах огородження не впливає на вологовміст огородження) [2, 3]. Проблема оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій для тепличних споруд полягає у відсутності достовірних методів розрахунку. В роботах [4-6] процес зміни тепловологісного стану представлений системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{r\varepsilon}{c} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + a_m \delta^l \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \end{cases} \quad (1)$$

де ε – критерій фазового перетворення;

r – теплота випаровування вологи, зв'язаної з матеріалом, кДж/кг;

δ^l – термоградієнтний коефіцієнт, кг/(кг · град).

Використовувати запропоновану систему рівнянь для розрахунку тепловологісного стану огорожувальних конструкцій занадто складно, тому що в літературі не сформульовані граничні та початкові умови, а також відсутній їх математичний запис. До того ж неможливо впевнитись настільки достовірно ця система рівнянь описує весь комплекс фізичних явищ, які відбуваються при зміні тепловологісного стану огороження теплиці.

Формування мети статті. З метою підтвердження теоретичних досліджень, результати яких висвітлені в [7], були виконані дослідження зміни тепловологісного стану огорожувальних конструкцій з урахуванням їх повітропроникності та визначення фактору впливу різних параметрів. Із великої кількості задач, що вирішуються при проведенні досліджень існуючих процесів, можна виділити дві задачі: перша задача – виявлення кількісної залежності між параметрами процесу; друга задача – знаходження оптимальних умов протікання процесу.

Для розв'язання цих задач, зокрема в нашому випадку для вирішення першої задачі, доцільно використати кібернетичний підхід, в основу якого покладена запропонована Н. Вінером ідея “чорного ящика” (рис. 1).



Рис. 1. Схема “чорного ящика”:

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ – фактори, які впливають на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції; Y – відгук (параметр оптимізації)

Залежність між вихідними параметрами - результатами експерименту (відгуком) та вхідними параметрами (факторами) має вигляд

$$Y = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3). \quad (2)$$

Мета статті. Кількісно оцінити вплив різних факторів на тепловологісний стан огорожувальних конструкцій при автоматичному керуванні параметрами мікроклімату теплиці.

Виклад основного матеріалу

Основними факторами, які впливають на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції, на наш погляд є температура та вологовміст повітря і повітропроникність матеріалу. Надамо цим факторам коди, тобто позначимо:

φ_1 – температуру повітря, $t, ^\circ\text{C}$;

φ_2 – вологовміст повітря, $d, \text{г/кг}$;

φ_3 – опір повітропроникності матеріалу

$$R_{и}, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

Параметром оптимізації, який найбільш повно віддзеркалює процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції, є швидкість зміни вологості матеріалу

$$Y = \frac{dW}{dt}, \text{г/год}, \quad (3)$$

де dW – кількість води, яку втратить матеріал огорожувальної конструкції в процесі змін вологісного стану за проміжок часу dt , г;

dt – проміжок часу, за який відбуваються зміна вологісного стану, год.

Для оцінювання впливу різних факторів на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції був проведений обчислювальний експеримент.

Мета експерименту – визначити фактор, який найбільше впливатиме на процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції. Для порівняння були розраховані огорожувальні конструкції, виконані з різного матеріалу. Теплотехнічні характеристики цих огорожувальних конструкцій подані в табл. 1.

Для знаходження функціональної залежності $Y = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ було проведено низку розрахунків. Значення параметру оптимізації Y знаходили у вигляді полінома третього порядку.

В табл. 2 наведені дані, які характеризують інтервал варіювання факторів ($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$), а в табл. 3 – матриця планування обчислювального експерименту. З метою підвищення точності обробки дослідних даних був використаний метод ортогонального центрального композиційного планування дослідів [8].

За результатами плану знаходимо вісім коефіцієнтів рівнянь регресії:

$$Y = v_0 + v_1 \cdot \varphi_1 + v_2 \cdot \varphi_2 + v_3 \cdot \varphi_3 + v_{12} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 + v_{13} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_3 + v_{23} \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 + v_{123} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3, \quad (4)$$

де

$$\varphi_i = \frac{\Phi_i - \Phi_{i0}}{\delta_i}, \quad (5)$$

Φ_i – натуральне значення фактору;

Φ_{i0} – значення i -го фактора на нульовому рівні;

δ_i – інтервал варіювання i -го фактора;

$$v_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\varphi_{ij} \cdot y_j)}{n}, \quad v_{ij} = \frac{\sum_{\ell=1}^n (\varphi_{i\ell} \cdot \varphi_{j\ell} \cdot y_\ell)}{n}. \quad (6)$$

Таблиця 1

Теплотехнічні характеристики
огороджувальних конструкцій

Матеріал огороджувальної конструкції	Питома густина матеріалу $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda, \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})}$	Коефіцієнт теплоємності $c, \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$	Опір повітропроникності $R_{и}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$
Полікарбонат	0,8	0,018	0,2	0,1
Ракушняк	1400	0,56	0,88	6,0

Таблиця 2

Інтервал варіювання
та рівень факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Вологовміст $d, \text{г} / \text{кг}$	Опір повітропроникності $R_{и}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$
Нульовий рівень $\varphi_i = 0$	35	4,75	3,1
Інтервал варіювання δ_i	10	2,05	3,1
Нижній рівень $\varphi_i = -1$	25	2,7	0,2
Верхній рівень $\varphi_i = +1$	45	6,8	6

Таблиця 3

Матриця планування експерименту

Номер розрахунку	φ_1	φ_2	φ_3	$\varphi_1\varphi_2$	$\varphi_1\varphi_3$	$\varphi_2\varphi_3$	$\varphi_1\varphi_2\varphi_3$	у	у'
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,001499	0,001499
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,002257	0,002257
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,000708	0,000708
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,001476	0,001476
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,008504	0,008504
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,013883	0,013883
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,004777	0,004777
8	1	1	1	1	1	1	1	0,010221	0,010221

В результаті розрахунків була отримана лінійна модель

$$y = 0,005415781 - 0,001543594 \cdot \varphi_1 - 0,00112026 \cdot \varphi_2 + 0,003930573 \cdot \varphi_3 + 0,0000009427 \cdot \varphi_1 \varphi_2 + 0,001162135 \cdot \varphi_1 \varphi_3 - 0,000727135 \cdot \varphi_2 \varphi_3 - 0,000000617875 \cdot \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3. \quad (7)$$

Дослідження зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції з урахуванням її повітропроникності виготовленої з полікарбонату суттєво спростило задачу енергоефективного автоматичного керування параметрами мікроклімату теплиці за допомогою розробленої авторами інтелектуальної системи керування на основі мікроконтролера К-1 [9].

Висновки

1. Фактором, який найбільш суттєво впливає на процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції є опір повітропроникності матеріалу огороження. Далі по рангу впливає температура та вологовміст повітря.

2. На основі оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії можна прийти до висновку, що є можливість нехтування деякими коефіцієнтами, а саме:

– коефіцієнтом, що враховує вплив вологовмісту повітря, φ_2 ;

– коефіцієнтом, що враховує вплив одночасно двох факторів: температури та вологовмісту повітря, φ_1, φ_2 ;

– коефіцієнтом, що враховує вплив одночасно трьох факторів: температуру, вологовміст повітря та повітропроникність, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

З урахуванням цього лінійна модель буде мати вигляд

$$\frac{dW}{dt} = 0,005415781 - 0,001543594 \cdot t + 0,003930573 \cdot R_u + 0,001162135 \cdot t \cdot R_u - 0,000727135 \cdot d \cdot R_u. \quad (8)$$

3. Перевірка адекватності рівняння регресії зроблено за допомогою критерію Фішера. Оскільки, $F = 5,3 \cdot 10^{-5} \leq F_{(0,05; f_{ad}, f_y)} = 6,3883$, то модель адекватна [8].

4. Теплотехнічні характеристики огорожувальної конструкції приміщення теплиці, виготовленої з полікарбонату використані при розробці інтелектуальної системи керування параметрами мікроклімату теплиці на основі мікроконтролера К-1.

Список літератури

1. Ушков Ф.В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха – М.: Стройиздат, 1969. – 144 с.
2. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно - пористых телах. - М.: Гостехиздат, 1954. - 297 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: Стройиздат, 1973. - 287 с.
4. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. - Минск, Изд-во АН БССР, 1961. - 520 с.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. – На заміну СНиП П-3-79; чинний від 2007-04-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. – [Чинний з 01.01.2014.] – К.: Мінбуд України, 2013. – 66 с. – (Державний стандарт України).
7. Строй А.Ф., Чумуріна О.Б. Повітропроникність, як фактор зміни вологісного режиму огорожувальних конструкцій будинку в процесі його експлуатації // Вентиляція, освітлення та теплозапобігання. Вип.. 9. – К.: КНУБА, 2006. – С. 95-106.
8. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
9. Бориц В.В. Макет теплиці з автоматичним керуванням параметрами мікроклімату / В.В. Бориц, О.Б. Бориц, Р.О. Терновий, В.В. Гарусов // Збірник наукових праць студентів електромеханічного факультету. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 79-83.

Надійшла до редколегії 22.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦЫ

Е.Б. Борщ, В.В. Борщ

Определен основной фактор, влияющий на изменение тепловлажностного состояния ограждающей конструкции с учетом воздухопроницаемости при автоматическом управлении параметрами микроклимата теплицы.

Ключевые слова: тепловлажностное состояние, микроклимат, воздухопроницаемость, автоматическое управление.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VARIOUS FACTORS ON TALABALARNI STATUS WALLING THE AUTOMATIC CONTROL PARAMETERS OF MICROCLIMATE OF A GREENHOUSE

O.B. Borsch, V.V. Borshch

The main factors affecting the change in thermal and humidity condition enclosure because of its breathability with automatic management of the greenhouse microclimate.

Keywords: thermal and humidity condition, climate, air permeability, automatic control.