

пределения скоростей, давлений и температур в теплообменнике-рекуператоре.

Теплообменник-рекуператор, математическое моделирование тепло- и массопереноса, инженерный расчет.

The mathematical modeling of mass and heat transfer in a recuperative heat exchanger to cool the outside air entering the poultry houses is performed. There are performed the engineering calculations and numerical modeling of hydrodynamic and thermal processes using CAD software ANSYS Fluent 14.0 for heat exchanger. The distribution of velocity, pressure and temperature in the heat exchanger, heat exchanger are found.

Heat exchanger, mathematical modeling of heat and mass transfer, engineering calculation.

УДК 62-533.65

АДАПТИВНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ «ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ - ВРОЖАЙНІСТЬ ТОМАТІВ»

В.В Козирський, доктор технічних наук

І.М.Болбот, кандидат технічних наук

Ю.О. Батанов, аспірант*

Проаналізовано вплив температури повітря на врожайність томатів. Запропоновано адаптивну математичну модель, що дозволяє прогнозувати врожайність різних сортів томатів, враховуючи температуру повітря в теплиці.

Адаптивна математична модель, врожайність, мікроклімат, тепличне господарство, температура повітря.

Управління біотехнічними об'єктами в наш час вимагає від існуючих автоматичних систем керування в тепличних господарствах використання нових алгоритмів роботи, які б дозволили враховувати особливості біологічної складової. Використання адаптивної математичної моделі, визначення рівня врожайності дозволить враховувати реальну врожайність овочів. Тим самим математична модель процесу виробництва буде більш чітко наближена до своїх реальних значень.

Будуючи математичну модель рівня врожайності томатів виникають деякі труднощі. Так, неможливо побудувати математичну модель для різних сортів томатів, тому що рівень врожайності у них при різних температурах неоднаковий, виникає потреба в побудові адаптивної математичної моделі. Потрібно розглянути адаптивний алгоритм уточнення параметрів

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В Козирський

© В.В. Козирський, І.М. Болбот, Ю.О. Батанов, 2013

моделі на кожному кроці одержання інформації про об'єкт для нелінійної функції відносно невідомих параметрів моделі [3, 4].

Мета досліджень – визначення впливу температурного режиму на врожайність томатів та побудова адаптивної математичної моделі так, щоб її параметри постійно корегувалися, враховуючи вплив інших факторів мікроклімату на врожайність рослини.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізовано джерела щодо впливу факторів навколишнього середовища на ріст та врожайність томатів. Методика дослідження ґрунтується на вивченні тепломасообмінних процесів, що протікають в об'єкті закритого ґрунту і впливають на показники росту і розвитку рослини.

З усього розмаїття факторів, що впливають на врожайність, найістотнішими є тепломасообмінні процеси. Аналіз літературних джерел [1, 6] свідчить про те, що всю кількість чинників, що впливають на рослину можна звести до світла, тепла, води, поживних речовин і вуглекислоти. Всі ці чинники рослина вбирає з навколишнього середовища, переробляє, частково засвоює і потім формується урожай. Цілком природно, щоб весь цей потік енергії і маси, що надходить до рослини, засвоювався рослиною в оптимальних кількостях. На рослини однаково негативно впливають і дуже малі, і дуже великі порції води, поживних елементів, тепла тощо. Враховуємо, що кожен з цих чинників є досить складним і багатокомпонентним, а одночасне їх поєднання призводить до дуже складної системи, що зумовлює формування врожаю в цілому [2, 5].

Світло – це один із основних факторів, що лімітують ріст і розвиток рослин. Томат дуже вимогливий до освітленості. Мінімальна освітленість, при якій ще можливий вегетативний ріст рослини 2 – 3 тис. лк. При освітленості нижче цього розпад асимілянтів на дихання перевищить їх прихід від фотосинтезу. При достатній наявності сонячних променів прискорюється розвиток рослин: вони раніше цвітуть і плодоносять. При похмурій, навіть теплій погоді, цвітіння затримується і плодоношення настає пізніше. При сонячному опроміненні 8 МДж (2,22 кВт·ч) на добу та звичайному вмісті в повітрі CO₂ (0,03 %), врожайність томатів коливається в межах 40 – 150 г з одного куща за добу і залежить від температури повітря [7], яка для фотосинтезу томату повинна знаходитися в межах 20 – 25 °С. (таблиця).

Вплив температури повітря в теплиці на врожайність томатів

Температура повітря, °С. (x_i)	16	19	22	25	28
Врожайність томатів, г. (y_i)	114	134	146	151	147

Результати досліджень. Розглянемо статистичні дані залежності врожайності томатів (y) від температури повітря (x) [3] (див. таблицю). Попередній розгляд таблиці наводить на думку, що модель цієї залежності є сумою двох експонент. Для зручності коефіцієнти a_1 , a_2 , a_3 , a_4 замінимо на a , b , c , d :

$$y = a \cdot e^{-b \cdot x} + c \cdot e^{-d \cdot x}, \quad (1)$$

де a, b, c, d – шукані параметри моделі.

Знайшовши значення величин $a_1, \dots, a_4$ визначаємо інтенсивність росту овочів залежно від температури.

На основі статистичних даних таблиці необхідно знайти невідомі параметри a, b, c, d . Функція (1) є нелінійною по b і d . Нехай нам відомі початкові значення a_0, b_0, c_0, d_0 . Припустимо, що $a = a_0 + z_1$; $b = b_0 + z_2$; $c = c_0 + z_3$; $d = d_0 + z_4$. Підставимо ці значення в умовні рівняння, розкладемо функції y_k в ряди за степенями z_1, z_2, z_3, z_4 і обмежимося в розкладі першими степенями поправок:

$$y_k(a_0, b_0, c_0, d_0) - y_k + \left(\frac{\partial y_k}{\partial a}\right)_0 z_1 + \left(\frac{\partial y_k}{\partial b}\right)_0 z_2 + \left(\frac{\partial y_k}{\partial c}\right)_0 z_3 + \left(\frac{\partial y_k}{\partial d}\right)_0 z_4 = 0 \quad (2)$$

або

$$\left(\frac{\partial y_k}{\partial a}\right)_0 = e^{-b_0 x_k};$$

$$\left(\frac{\partial y_k}{\partial b}\right)_0 = a_0 e^{-b_0 x_k} (-x_k);$$

$$\left(\frac{\partial y_k}{\partial c}\right)_0 = e^{-d_0 x_k};$$

$$\left(\frac{\partial y_k}{\partial d}\right)_0 = c_0 e^{-d_0 x_k} \cdot (-x_k).$$

Систему рівнянь (2) можемо записати у вигляді:

$$A \cdot z = b, \quad (3)$$

де $b_k = y_k - y_k(a_0, b_0, c_0, d_0)$

$$A = \begin{pmatrix} e^{-b_0 x_1} & -x_1 a_0 e^{-b_0 x_1} & e^{-d_0 x_1} & -x_1 c_0 e^{-d_0 x_1} \\ e^{-b_0 x_2} & -x_2 a_0 e^{-b_0 x_2} & e^{-d_0 x_2} & -x_2 c_0 e^{-d_0 x_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e^{-b_0 x_4} & -x_4 a_0 e^{-b_0 x_4} & e^{-d_0 x_4} & -x_4 c_0 e^{-d_0 x_4} \end{pmatrix}$$

Як відомо, розв'язок системи умовних рівнянь (3) має вигляд:

$$z = (A' \cdot A)^{-1} A' b; \quad (4)$$

Розв'язавши систему (4), знайдемо $a = a_0 + z_1$; $b = b_0 + z_2$; $c = c_0 + z_3$; $d = d_0 + z_4$.

Позначивши a, b, c, d через a_0, b_0, c_0, d_0 , робимо другу ітерацію, тобто знову знаходимо вектор b , а також матрицю A і розв'язуємо систему (4).

У нашому випадку, враховуючи дані таблиці, маємо:

$$b_1 = 134 - a_0 e^{-b_0 19} - c_0 e^{-d_0 19};$$

$$\begin{aligned}
b_2 &= 146 - a_0 e^{-b_0 22} - c_0 e^{-d_0 22}; \\
b_3 &= 151 - a_0 e^{-b_0 25} - c_0 e^{-d_0 25}; \\
b_4 &= 147 - a_0 e^{-b_0 28} - c_0 e^{-d_0 28};
\end{aligned}
\tag{5}$$

Матриця A матиме вигляд:

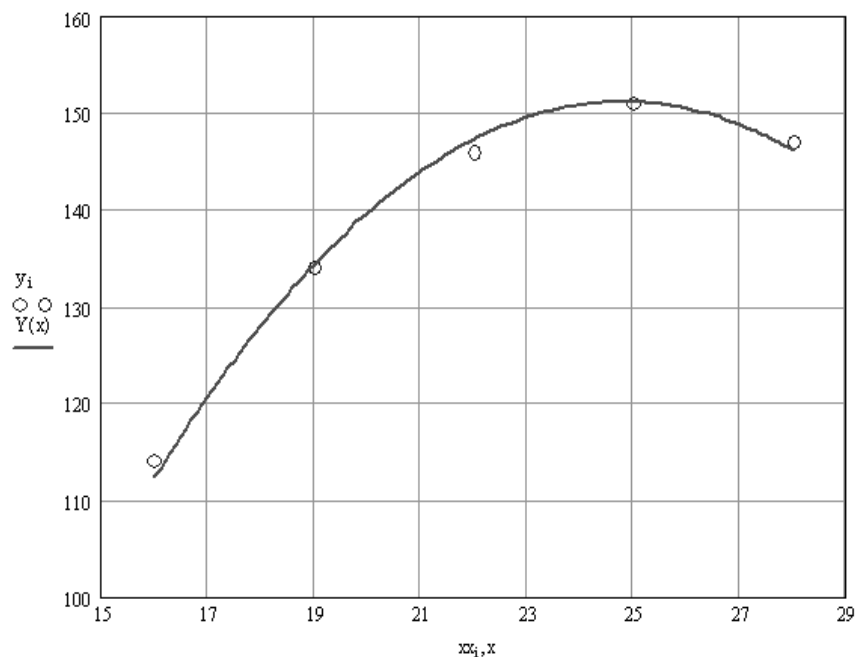
$$A = \begin{pmatrix} e^{-b_0 19} & -19a_0 e^{-b_0 19} & e^{-d_0 19} & -195c_0 e^{-d_0 19} \\ e^{-b_0 22} & -22a_0 e^{-b_0 22} & e^{-d_0 22} & -22c_0 e^{-d_0 22} \\ e^{-b_0 25} & -25a_0 e^{-b_0 25} & e^{-d_0 25} & -25c_0 e^{-d_0 25} \\ e^{-b_0 28} & -28a_0 e^{-b_0 28} & e^{-d_0 28} & -28c_0 e^{-d_0 28} \end{pmatrix}
\tag{6}$$

Розв'язавши систему умовних рівнянь (4) і враховуючи (5), (6), отримаємо $z_1; z_2; z_3; z_4$, тобто $a = a_0 + z_1; b = b_0 + z_2; c = c_0 + z_3; d = d_0 + z_4$. Припускаючи, що $a = a_0 + z_1; b = b_0 + z_2; c = c_0 + z_3; d = d_0 + z_4$ і повторивши розв'язання системи умовних рівнянь (4), отримаємо нове наближення невідомих a, b, c, d .

Процес наближення продовжується доти, поки вектор b не буде в межах заданої точності 5 % від y :

$$|y| \leq y_i \cdot 0,05. \tag{7}$$

Кінцевим результатом є одержання коефіцієнтів моделі a, b, c, d . Отримавши ці коефіцієнти, підставимо їх у рівняння (1) і одержимо необхідну математичну залежність врожайності рослини від температури в теплиці (рисунок).



Залежність врожайності томатів від температури повітря в теплиці:
 ooo – дослідні значення; ----- – результати апроксимації за виразом (1)

Адаптивна математична модель дозволяє спрогнозувати врожайність рослини томата, враховуючи рівень температури повітря в теплиці. При цьому коефіцієнти моделі постійно корегуються при кожній зміні параметрів моделі. Як вже зазначалось раніше, при зміні інтенсивності сонячного опромінення буде змінюватися і врожайність, тому слід розглядати врожайність томатів, враховуючи й інтенсивність сонячного опромінення.

Висновки

Запропонована адаптивна математична модель дозволяє спрогнозувати врожайність різних сортів томатів, враховуючи рівень температури повітря в теплиці. Коефіцієнти моделі корегуються при кожній зміні параметрів моделі, адаптивний алгоритм уточнює параметри моделі на кожному кроці одержання інформації про об'єкт.

Встановлено, що для зазначених умов при збільшенні температури повітря до 25 °C відбувається зростання врожаю, після чого будь-яке зростання температурного режиму вже не дає ніякого збільшення врожаю як в кількісному, так і в якісному виразах, більше того, відбувається його згасання.

Список літератури

1. Брызгалов В.А. Овощеводство защищенного грунта / В.А. Брызгалов, В. А. Советкина, Н. И. Савинова. – М.: Колос, 1999. – 352 с.
2. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: 2006. – 290 с.
3. Разработка и анализ методов получения математических моделей механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы / Г. Я. Минчук, И. П. Дрозд, И. А. Янович и др. // Чернобыль – 96. V Междунар. науч. – техн. конф.: тезисы докл. – Зеленый Мыс, 1996. – 86 с.
4. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк. 1998. – 260 с.
5. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений / Дж.Г.М. Торнли; пер. с англ. Д.М. Гродзинского. – К.: Наук. думка, 1982. – 312 с.
6. Теплицы и тепличные хозяйства: справочник / Г.Г. Шишко, Потапов В.А., Сулима Л. Т., Чебанов Л. С. – К.: Урожай, 1993. – 424 с.
7. The Effect of Temperature and Mean Cumulative Daily Light Intensity on Fruiting Behavior of Greenhouse-grown Tomato: [Електрон. ресурс]. / Sezgin Uzun // The University of Ondokuz Mayıs, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture. 2007. – 132(4). – р. 459–466. – Режим доступа: до журн.: <http://journal.ashspublications.org/content/132/4/459.full.pdf>

Проанализировано влияние температуры воздуха на урожайность томатов. Предложена адаптивная математическая модель, которая позволяет спрогнозировать урожайность разных сортов томатов, учитывая температуру воздуха в теплице.

Адаптивная математическая модель, урожайность, микроклимат, тепличное хозяйство, температура воздуха.

The analysis of the influence of temperature on the yield of tomatoes. The proposed adaptive mathematical model to predict the yield of different varieties of tomatoes given the level of air temperature in the greenhouse.

Adaptive mathematical model, yields, microclimate, greenhouses, temperature air.