Выводы. Первые испытания показали высокую эффективность такой системы. Внедрение в практику этого и других решений, способных снизить стоимость теплонасосных установок и срок их окупаемости, поспособствовало бы более широкому распространению подобных систем.

Список литературы

1. Автономные системы теплоснабжения на основе тепловых насосов воздух-вода / В.А. Гусаров, В.В. Харченко, А.О. Сычёв [и др.] // Энергетика и автоматика. – 2013. – № 3. – С. 67–71.

2. Харченко В. В. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В.В. Харченко, А.О. Сычёв // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31–36.

3. Chemekov V. V. The heat supply system for a self-contained dwelling house on the basis of a heat pump and wind power installation / V. V. Chemekov, V. V. Kharchenko // Thermal Engineering. – 2013. – Т. 60, № 3. – С. 212–216.

Розглянуто питання теплопостачання малоповерхових будівель за допомогою теплонасосної системи на основі використання низькопотенційної теплоти невеликих водотоків. Наведено приклад конструкції заглибного теплообмінника вода-розсіл, зпроектованого для роботи у складі подібних систем.

Тепловий насос, низькопотенційна теплота, водотік, заглибний теплообмінник вода-розсіл.

Questions of the organization of a heat supply of low-storeyed buildings with the help of heat pump systems functioning on the basis of low potential heat of small watercourses are considered. The example of a design of the submersible water-brine heat exchanger designed for work as a part of similar systems is given.

Water-source heat pump, low-grade heat, watercourse, submersible ***water-brine heat exchanger.***

УДК 62.644.1

ТЕМПЕРАТУРА РОСЛИНИ ЯК ПАРАМЕТР ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ

В.П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, кандидати технічних наук
Т.І. ЛЕНДЄЛ, аспірант*

Показано, що при вирощуванні овочевої продукції поряд з тепловими характеристиками навколишнього середовища важливою є інформація про температуру рослин. Проаналізовано залежності температури рослин від освітленості в теплиці.

Фітостан, температурний режим, теплиця, мікроклімат.

**Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.П. Лисенко*
© В.П. ЛИСЕНКО, В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, Т.І. ЛЕНДЄЛ

При проектуванні систем стабілізації температурного режиму у теплиці температура рослин може значно відрізнятися від температури повітря в теплиці. Тому, для збільшення врожайності та отримання якісної продукції потрібно враховувати фітостан рослини.

Температура рослин залежить від співвідношення енергій, що нею поглинається і віддається. Це залежить від багатьох параметрів як навколишнього середовища (рівень радіації, температури повітря, швидкості його переміщення), так і стану самих рослин (оптичні властивості рослини, розмір і розташування листя тощо). За результатами дії всіх зазначених факторів температура рослини зазвичай відрізняється від температури навколишнього повітря. При цьому можливо, що температура рослини може бути:

- вищою температури повітря;
- нижчою температури повітря;
- рівною температурі повітря або дуже близькою до неї.

Перше можливе лише при нагріванні плодів томата, стебла і листя сонячним промінням, що може призвести до перегріву рослин і ці обставини слід враховувати у процесі вирощування томатів [6].

Частіше при вирощуванні томатів у теплиці температура рослин нижча або близька до температури повітря теплиці.

Мета досліджень – визначення факторів, які впливають на температурний стан рослин у теплиці.

Матеріали та методика досліджень. Нами було проведено дослідження температури фітомаси у просторі однієї з теплиць у ПАТ "Комбінат "Тепличний". При цьому вимірювалась температура стебла, листка і плоду рослини, освітленість та температура повітря в теплиці і такий фітометричний параметр рослини як діаметр стебла.

Вимірювання освітленості та температури рослин і повітря в теплиці проводились протягом дня в різних рядах теплиці. Освітленість при цьому змінювалась від 2500 до 11000 лк.

Результати досліджень. Результати вимірювань середніх значень параметрів, що досліджувались (температури стебла, плоду, листка рослини, повітря та освітленості біля рослини), наведено в табл. 1.

1. Результати вимірювань досліджуваних параметрів

№ ряду	Освітленість у теплиці, лк	Температура стебла рослини, ˚С	Температура плоду, ˚С	Температура листка, ˚С	Температура повітря біля рослини,˚С
1	3060	24,68	24,68	24,66	29,2
2	2607	25,85	25,69	24,34	33,5
3	4058	24,83	25,83	23,17	32
4	4148	25,08	25,73	23,23	30,7
5	5285	23,47	25,04	21,59	29,7
6	6705	25,92	26,51	25,1	30,9
7	6900	25,3	26,5	24,2	30,75

Усереднені результати вимірювань подано на рис. 1.

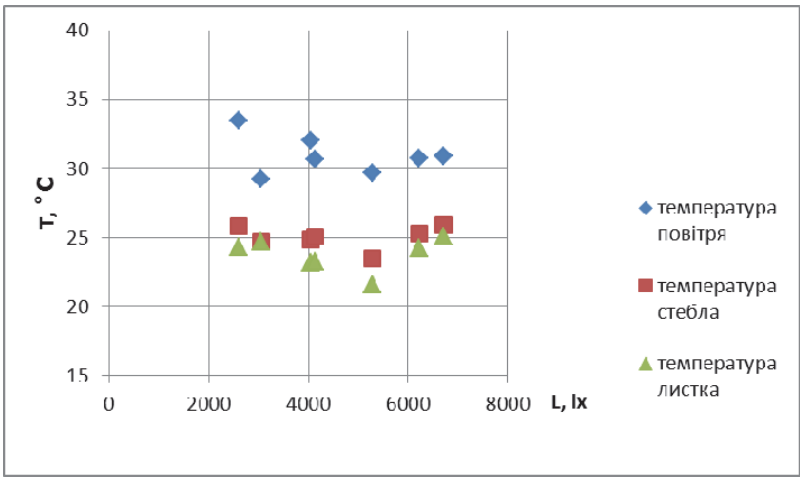

Рис.1. Залежність температур рослини та повітря біля рослини від освітленості

Аналіз матеріалів, що наведено на рис. 1, дозволяє використати для їх опису лінійну регресію, коефіцієнти якої визначаються методом найменших квадратів (застосовують при нормальному розподілі).

$$y = a + b \cdot x, \quad (1)$$

де a і b – коефіцієнти лінійного рівняння.

Визначимо коефіцієнти рівняння (1) та похибки вимірювання за методикою, що наведена в [4]. Розрахунки коефіцієнтів лінійного рівняння проводимо в математичному пакеті MathCAD. Матриці параметрів, що досліджуються, будуть мати вигляд:

$$AA = \begin{pmatrix} n & \sum xa \\ \sum xa & \sum xa^2 \end{pmatrix}, \quad BA = \begin{pmatrix} \sum ya \\ \sum_{ii} (xa_{ii} ya_{ii}) \end{pmatrix}, \quad BB = \begin{pmatrix} \sum yb \\ \sum_{ii} (xa_{ii} yb_{ii}) \end{pmatrix},$$

$$BC = \begin{pmatrix} \sum yc \\ \sum_{ii} (xa_{ii} yc_{ii}) \end{pmatrix}, \quad BD = \begin{pmatrix} \sum yd \\ \sum_{ii} (xa_{ii} yd_{ii}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де *xa* – виміряні значення освітленості; *ya* – виміряні значення температури стебла рослини; *yb* – виміряні значення температури плоду; *yc* – виміряні значення температури листка; *yd* – виміряні значення температури повітря біля рослини; *AA* – матриця коефіцієнтів освітленості в теплиці; *BA* – матриця коефіцієнтів температури стебла рослини; *BB* – матриця коефіцієнтів температури плоду; *BC* – матриця коефіцієнтів температури листка; *BD* – матриця коефіцієнтів температури повітря біля рослини; *n* – обсяг вибірки.

Загальний вираз для визначення коефіцієнтів рівняння має вигляд [5]:

$$k = A^{-1} B = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де *k* – матриця коефіцієнтів *a* та *b*; A^{-1} – обернена матриця значень аргументу (для нашого випадку – освітленість); B – матриця залежної величини (для нашого випадку – це температури стебла, плоду, листа та повітря біля рослини).

Із (3) визначимо коефіцієнти для рівнянь стосовно:

- температури стебла:

$$aa1 = AA^{-1}BA = \begin{pmatrix} 24.902 \\ 2.489 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

- температури плоду:

$$aa2 = AA^{-1}BB = \begin{pmatrix} 24.443 \\ 2.707 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

- температури листка:

$$aa3 = AA^{-1}BD = \begin{pmatrix} 23.655 \\ 2.155 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

- температури повітря біля рослини:

$$aa4 = AA^{-1}BC = \begin{pmatrix} 32.142 \\ -2.515 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Результати розрахунку за (4) – (7) дозволять у явному вигляді побудувати залежності температур рослини та повітря біля рослини від величини освітленості в теплиці.

Визначимо точність розрахунку параметрів за прийнятими лінійними моделями [4]

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{pi})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

де δ – середньоквадратичне відхилення розрахунку від результатів вимірювань; y_i – результат вимірювання параметра, що досліджувався (див. табл.1); y_{pi} – середнє розраховане значення функції; n – кількість вимірювань.

Таким чином, рівняння регресії в явному вигляді та середньоквадратичне відхилення будуть:

- для температури стебла

$$y1(x) = 24.902 + 2.489 \cdot 10^{-5} x, \quad (9)$$
$$\delta_1 = 0{,}829\ ^\circ C,$$

для температури плоду

$$y2(x) = 24{,}443 + 2{,}707 \cdot 10^{-4} x, \quad (10)$$
$$\delta_2 = 0{,}507\ ^\circ C,$$

для температури листка

$$y3(x) = 23{,}665 + 2{,}155 \cdot 10^{-5} x, \quad (11)$$
$$\delta_3 = 1{,}188\ ^\circ C,$$

для температури повітря біля рослини

$$y4(x) = 32{,}142 - 2{,}515 \cdot 10^{-4} x, \quad (12)$$
$$\delta_4 = 1{,}37\ ^\circ C.$$

Графічні зображення залежностей температур від освітленості наведемо на рис. 2 (розраховані та за результатами вимірювань).

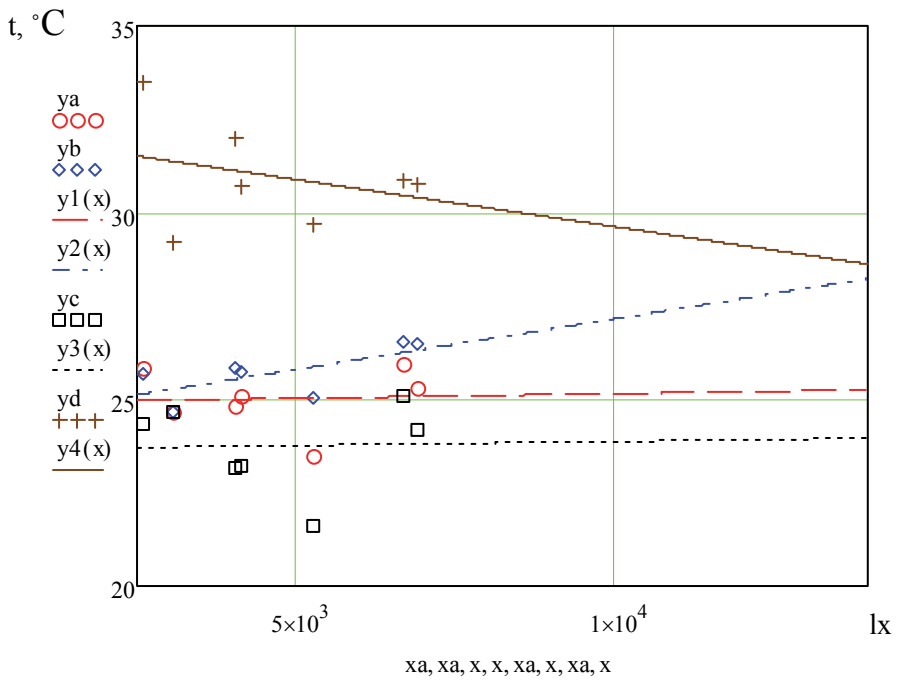

Рис. 2. Залежності температур рослини та повітря біля рослини від освітленості:

температура стебла: ya (◦) – результати вимірювань, y1 (– –) – результати розрахунків; температура плоду: yb (◊) – результати вимірювань, y2 (–·–) – результати розрахунків; температура листка: yc (□) – результати вимірювань, y3 (···) – результати розрахунків; температура повітря біля рослини: yd (+) – результати вимірювань, y4 (–) – результати розрахунків

Із графіків видно, що в денний період часу температура рослини збільшується за рахунок зростання освітленості при тому, що температура повітря в теплиці зменшувалася. Це слід враховувати (відстежувати температури фітомаси), бо перегрів рослин може негативно вплинути на їх подальший розвиток [6].

Для встановлення залежності температури рослини від її фітометричних параметрів вимірювався діаметр стебла рослини.

Результати вимірювань температури стебла та його діаметра наведено в табл. 2.

Для опису залежностей, що наведені на рис. 3, використаємо нелінійне рівняння регресії

$$y=ax^2+bx+c\ , \qquad (13)$$

де *a,b* і *c* – коефіцієнти рівняння; *x* – змінна.

Виміряні значення діаметра стебла записано у вигляді матриці D з розмірністю 40x1, а виміряні значення температури стебла у вигляді матриці S1 з такою ж самою розмірністю:

$$D=\left(12{,}1\quad 12{,}24\quad 11{,}66\quad 11{,}66\quad 12{,}3\quad 13{,}1\quad 12{,}58\quad ..\quad 16{,}68\quad 13\right)_{40\times 1},$$

$$S1=\left(19\quad 24{,}5\quad 24{,}9\quad 24\quad 24{,}4\quad 24{,}7\quad 26\quad ..\quad 26{,}5\quad 27\right)_{40\times 1}. \qquad (14)$$

Розрахунки коефіцієнтів рівняння проводимо в математичному пакеті MathCAD:

$$A = \begin{pmatrix} N & \sum D & \sum D^2 \\ \sum D & \sum D^2 & \sum D^3 \\ \sum D^2 & \sum D^3 & \sum D^4 \end{pmatrix},\ B1 = \begin{bmatrix} \sum S1 \\ \sum\limits_i (S1_i D_i) \\ \sum\limits_i S1_i (D_i)^2 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

де А – матриця коефіцієнтів діаметра стебла рослини; В1 – матриця коефіцієнтів температури стебла рослини; *N* – обсяг вибірки.

Для визначення коефіцієнтів моделі (13) використовуємо алгоритм

$$a1 = A^{-1} \cdot B1 = \begin{pmatrix} 33{,}82 \\ -1{,}401 \\ 0{,}054 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Відповідно залежність між температурою стебла та його діаметром представлено рівнянням та рис. 4:

$$y5(x)=33{,}82-1{,}401x+0{,}054x^2\ ; \quad (17)$$

середньоквадратична похибка при цьому дорівнює: δ_4 = 1,981 °С.

2. Результати вимірювань температури стебла та його діаметра

№ виміру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр стебла	12,1	12,24	11,66	11,66	12,3	13,1	12,58	12,89	10,92	12,6
Температура стебла	19	24,5	24,9	24	24,4	24,7	26	25,7	26	27,6
№ виміру	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Діаметр стебла	11,6	12,12	13,5	11,51	12,66	11,82	12,88	14,23	12	12,82
Температура стебла	24,6	24,9	25,3	25,3	25,5	24,5	25,5	26,6	26,6	27,5
№ виміру	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Діаметр стебла	11,8	13,8	13,3	12,38	13,1	12	13	12,5	15	14
Температура стебла	27,5	23	23,8	23,6	24,5	25	24,6	25,1	25,2	26
№ виміру	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Діаметр стебла	11,7	12,75	12,02	11,8	15,84	13,14	13	13,24	16,68	13
Температура стебла	27,5	21,6	22,5	23,5	25	25,1	24,8	26	26,5	27

Графічно результати вимірювань наведено на рис. 3.

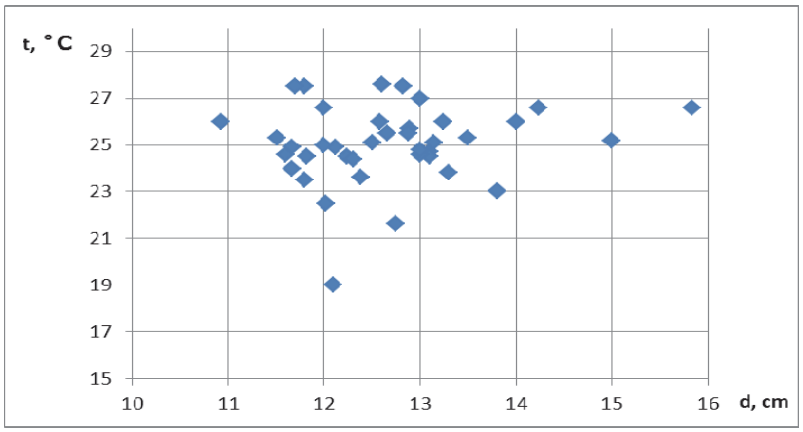

Рис. 3. Результати вимірювань температури стебла та його діаметра

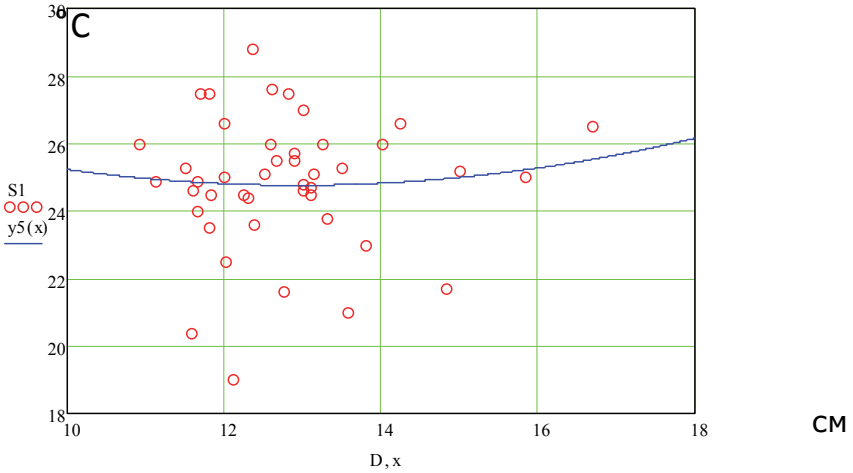

Рис. 4. Залежність температури стебла від його діаметра:
температура стебла: S1 (◦) – результати вимірювань,
y5 (–) – результати розрахунків

Для встановлення зв'язку між двома параметрами визначимо коефіцієнт кореляції [5,6]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{m}(y_i - \bar{y})^2}}, \qquad (16)$$

де x_i і y_i – значення змінних; $\bar{x}$ і $\bar{y}$ – середні значення змінних; $i=1..m$ – обсяг вибірки.

Із (16) визначено коефіцієнт кореляції, рівний r_{xy}=0,19, що вказує на низький зв'язок між двома вимірюваними параметрами [2, 4].

Висновки. У результаті досліджень встановлено, що температура рослин може значно відрізнятися від температури повітря в теплиці і це потрібно враховувати при проектуванні систем стабілізації температурного режиму у теплиці. За виміряними температурами рослини (плоду, листка і стебла), повітря біля рослини та освітленості визначено залежності температур від освітленості в теплиці. Середньоквадратичні похибки моделей при цьому становили: δ_1 = 0,829

°С – при розрахунку температури стебла; δ_2 = 0,507 °С – при розрахунку температури плоду; δ_3 = 1,188 °С – при розрахунку температури листка; δ_4 = 1,37°С – при розрахунку температури повітря біля рослини.

За результатами досліджень визначено коефіцієнт кореляції між температурою стебла та його діаметром, який становить r_{xy}= 0,19.

Список літератури

1.Безручко А.С. Система автоматичного регулювання мікроклімату в теплицях / А.С. Безручко, Ю.Н. Пчелкин // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 1984. – № 6. – С.11.

2.Гайдышев И. Анализ и обработка данных: спец. справочник / И. Гайдышев. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.

3.Клапвайк Д. Климат теплиц и управление ростом растений / Д. Клапвайк. – М.: Колос, 1976. – 127 с.

4.Крянев А.В. / Математические методы обработки неопределенных данных / А.В. Крянев, Г.В. Лукин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 216 с.

5.Овощеводство / [Г. И. Тараканов, В.Д. Мухин, К.А. Шуин и др.]. – М.: Колос, 2003. – 472 с.

6.Полевой В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.

7.Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения / В. Феллер. – М.: Мир, 1964. – 511 с.

Показано, что при выращивании овощной продукции наряду с тепловыми характеристиками окружающей среды важна информация о температуре растений. Проанализированы зависимости температуры растений от освещенности в теплице.

Фитосостояние, температурный режим, теплица, микроклимат.

It is shown that when grown vegetable production along with the thermal properties of the environment is important information about temperature plants. The analysis of temperature dependence of light plants in the greenhouse.

Fitocondition, temperature, greenhouse, climate.