

УДК 631.3:628.8:65.011.56

### МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ І ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННЯХ ТЕПЛИЦЬ

**Т. О. Прокопенко**

Кіровоградський національний технічний університет  
просп. Університетський, 15, м. Кіровоград, Україна. Е-mail: Arabeska@ukr.net

Розглядаються питання моделювання теплових процесів, тепло- та масообміну в приміщеннях теплиці в умовах нестационарних зовнішніх впливів. Наведена система рівнянь, що визначають тепловий баланс різних режимів теплиць з урахуванням розподілу температури за координатою та зв'язок динамічних характеристик повітряного та ґрунтового об'єму теплиць. Визначено оптимальне співвідношення потужності повітряного і ґрунтового нагрівачів, обґрунтована доцільність керування температурою повітря, при сталому підігріві ґрунту а також показано, що забезпечення необхідних діапазонів параметрів мікроклімату можливе шляхом керування повітряними температурними полями.

**Ключові слова:** температурні поля, приміщення теплиці, моделювання.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ТЕПЛИЦ

**Т. О. Прокопенко**

Кировоградский национальный технический университет  
просп. Университетский, 15, г. Кировоград, Украина. Е-mail: Arabeska@ukr.net

Рассматриваются вопросы моделирования тепловых процессов, тепло- и массообмена в помещениях теплицы в условиях нестационарных внешних воздействий. Приведены системы уравнений, описывающих тепловой баланс различных режимов теплиц с учетом распределения температуры по координатам, а также связь динамических характеристик воздушного и ґрунтового объема теплиц. Определено оптимальное соотношение мощности воздушного и ґрунтового нагревателей, обоснована целесообразность управления температурой воздуха при поддержании постоянной температуры ґрунта, а также показано, что обеспечение необходимых диапазонов параметров микроклимата возможно путем управления воздушными температурными полями.

**Ключевые слова:** температурные поля, помещения теплицы, моделирование.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Однією з найважливіших задач в поліпшенні життєвих умов населення України є регулярне забезпечення його свіжими овочами. Згідно з науково-обґрунтованими нормами харчування, людина повинна рівномірно протягом року спожити 130–150 кг овочів. Кліматичні умови України обумовлюють циклічність виробництва овочів з відкритого ґрунту і не дозволяють одержувати їх рівномірно протягом року. За цих умов різко зростає роль закритого ґрунту, який призначений для більш стабільного і рівномірного постачання населенню продукції сільськогосподарського виробництва в зимово-весняний період.

Закритий ґрунт – це земельні ділянки і спеціальні споруди, де можна створити штучний мікроклімат для вирощування рослин в несезонний час [1, 2]. Основні задачі овочівництва закритого ґрунту полягають у постачанні населення свіжими та багатими вітамінами овочами протягом року і особливо в несезонний, зимово-весняний час і вирощуванні розсади для відкритого ґрунту.

Для підвищення ефективності овочівництва закритого ґрунту доцільно впроваджувати перспективні енерго- та ресурсозберігаючі технології вирощування овочів [3] з використанням малооб'ємних субстратів або на штучно створеному середовищі живлення без субстрату із автоматичними системами забезпечення режимів мікроклімату.

Найбільш досконалим видом культивацийних споруд закритого ґрунту є теплиці. Теплиці захищають рослини від заморозків та надлишку вологи, допомагають збільшити вегетаційний період вирощування ранніх овочів і розсади, дозволяють без порушення цілісності обгороджування виконувати всі агротехнічні заходи і використовувати різні механізми для до-

гляду за рослинами. Конструкція теплиць обумовлена ґрунтово-кліматичними умовами та рівнем матеріально-технічної бази. Поширене використання знайшли блочні, ангарні і баштові теплиці. Дослідженню конструктивних і теплофізичних характеристик теплиць присвячена велика кількість робіт В.В. Адоратського, М.С. Гончарука, С.А. Колясевої, Т.Е. Пашенко, О.Д. Рожанської, Н.І. Гаврилова, Л.М. Ануфрієва і Г.М. Позна, М.Т. Глікмана [4].

Важливою умовою підтримки потрібного мікроклімату в теплиці є вивчення процесів, які відбуваються в рослинах та впливу умов середовища на їх ріст. Знаючи як впливають зовнішні умови на формування мікроклімату в приміщенні теплиці можливо керувати ростом та розвитком рослин в бажаному напрямку.

Питаннями дослідження режимів опалення та нагріву теплиць присвячені відомі роботи вчених: Л.Г. Прищепа, Ю.Н. Пчелкіна, В.І.Смірнова, І.І. Мартиненко, Л.І.Альської, Д.П. Куртнера та інші.

Аналіз робіт Л.М. Ануфрієва, Г.М. Позіна, О.М. Агаркової, Г.Г. Шишка, А.А. Худенка, В.О. Потапова, В.А. Ткаченка, Ю.М. Белікова, В.М. Маркова, Ю.К. Росковшенка, І.О. Кожінова, Д.О. Куртнера та ін. по дослідженню методів, спрямованих на заощадження енергетичних ресурсів у теплицях, виявив такі напрями:

– покращення теплофізичних характеристик огороджуючих конструкцій, що досягається шляхом заміни одинарного огородження подвійним; застосуванням теплозахисних екранів, що трансформуються; застосуванням покриття із теплоутримуючої плівки; утепленням конструктивних елементів каркасу;

– пошук шляхів економії енергії шляхом досліджень з використання альтернативних джерел енер-

гії для опалювання тепличних комплексів;

– удосконалення традиційних систем обігріву теплиць за допомогою впровадження нових автоматичних засобів регулювання мікроклімату у відповідності до технологічних вимог; облік витрати теплоти спеціальними лічильниками теплової енергії; використання комбінованих систем опалення; зміни топології системи опалення з урахуванням зменшення поверхні труб підпокрівельного обігріву та опаленням технологічної зони росту тепличних культур;

– підвищення економічності споживання енергії за допомогою ефективніших методів управління енергосистемою шляхом розробити і впроваджувати комп'ютерних програм, які здатні поєднати точність підтримки температурного режиму і економне споживання теплової і електричної енергії;

– передачею управління джерелами тепла і мікрокліматом єдиної автоматизованій системі.

Нині ефективних алгоритмів керування системою обігріву теплиць не створено, оскільки єдиної думки стосовно моделі тепло- та масообміну в приміщенні теплиці немає.

У цьому плані моделювання теплових процесів у закритому приміщенні теплиці є дієвим засобом для визначення раціональних параметрів мікроклімату теплиці, відтоді, відкриває можливість розробки ефективних енергоощадних прийомів підтримання цих параметрів теплонагрівачами.

Мета даної роботи – створити узагальнену модель тепло- та масообміну в приміщенні теплиці, яка описує тепловологісні режими в приміщенні теплиці залежно від змінних у часі внутрішніх і зовнішніх збурюючих і управляючих дій; враховує розподіл температури за координатою та зв'язок динамічних характеристик повітряного і ґрунтового об'єму теплиці, визначає оптимальні співвідношення потужностей повітряного і ґрунтового нагрівачів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.  
При побудові математичної моделі була прийнята наступна схема теплового балансу культивативної споруди:

– сонячне випромінювання (радіація) частково поглинається світлопрозорим огороженням і потрапляє в теплицю, де перетворюється в теплоту на поверхні ґрунту;

– частина поглиненої теплоти передається конвекцією повітрю, частина – поглинається ґрунтом;

– теплота повітряному середовищу передається від повітряних калориферів, розташованих у верхній частині будівлі теплиці. Потужність повітряних калориферів  $P_n$ ;

– теплота ґрунту передається від розміщених рівномірно в ґрунті кабельних (або водяних) проводів. Потужність ґрунтових підігрівачів  $P_{gp}$

– теплота нагрітого повітря частково через укріття втрачається в оточуюче середовище;

– на зовнішній поверхні теплиці ставляться умови вільного теплообміну;

– з навколишнім середовищем, що має температуру  $t_3$ .

– При побудові математичної моделі і визначенні температурного поля в системі теплиця - навколишнє середовище були прийняті такі спрощення:

– теплиця розглядається як певний об'ємний простір, обмежений світлопрозорою оболонкою, заповнений однорідним газом (повітрям), з нижньої частини об'єм обмежено поверхнею ґрунту;

– ґрунт розглядається як обмежений об'єм термічно однорідної маси;

– втрата теплоти на випаровування вологи (в першому наближенні) відсутня або компенсуються додатковою потужністю ґрунтових нагрівачів  $\Delta P_{gp}$ ;

– поверхні огорожень теплиці знаходяться в умовах вільного конвективного теплообміну з навколишнім газовим середовищем, що покоїться (атмосферне повітря).

Функціональні залежності між температурою повітря в приміщенні теплиці, температурою ґрунту та температурою рослин можна визначити системою диференціальних рівнянь:

Рівняння теплового балансу для поверхні ґрунту:

$$J \cdot f + P_{gp} = (m_{gp} \cdot c_{gp} + m_p \cdot c_p) \cdot \frac{d\Theta}{dt} + a \cdot f \cdot (\Theta - t) \quad (1)$$

Рівняння теплового балансу для повітря:

$$P_n + a \cdot f \cdot (\Theta - t) = m_n \cdot c_p \cdot \frac{dt}{da} + a_e \cdot F_c \cdot (t_e - \Theta_c) + a_p \cdot f_p \cdot (f_e - \Theta_p) \quad (2)$$

Рівняння теплового балансу для світлопроникного огороження:

$$m_c \cdot c_c \cdot \frac{d\Theta_c}{dt} = a_c^e \cdot F_c^e \cdot (t_e - \Theta_c) - a_c^n \cdot F_c^n \cdot (\Theta_c - t_3) \quad (3)$$

Рівняння теплового балансу для рослин:

$$m_p \cdot c_p \cdot \frac{d\Theta_p}{dt} = a_p \cdot f_p \cdot (t_e - \Theta_p) \quad (4)$$

де  $\theta$ ,  $t$ ,  $t_3$  – температуру ґрунту, повітря і зовнішнього середовища відповідно, в  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0$  – початкова температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0^2$  – середньодобова температура доквілля,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_3$  – температура зовнішня,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_a^2$  – амплітуда коливань зовнішньої температури.  $t_e$  – температура внутрішнього повітря в приміщенні теплиці,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_e^2$  – середньодобова внутрішня температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_a^e$  – амплітуда коливань внутрішньої температури,  $^{\circ}\text{C}$ .  $\omega$  – частота коливань;  $\omega = \pi / 12 \times 3600$ .  $\theta_c^0$  – початкова температура огорожі зі скла,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\theta_c$ ,  $\theta_{ocp}$  – температура огорожі;  $\theta_{gp}$  – температура ґрунту;  $\theta_o$ ,  $\tau_o$  – початкова температура ґрунту,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\theta_p$ ,  $t_{roc}$  – температура рослинного покриву,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\theta_p^0$  – початкова температура рослинного покриву,  $^{\circ}\text{C}$ .  $\tau_o$  – (тривалість нагріву), час;  $I$  – інтенсивність сонячної радіації;  $R_v$  – вологість, %;  $P_n, P_{gp}$  – потужність обігрівачів повітря і ґрунту,  $\text{Вт}$ ;  $m_n, m_{gp}, m_p, m_c$  – маса повітря, ґрунту, рослин і огороження (стіна, стіна зі скла) в об'ємі теплиці,  $\text{кг}$  (до маси ґрунту відноситься коренева система і нагрівальні елементи, а до маси повітря відноситься маса огорожі і рослин);  $C_{gp}, C_c, C_p, C_n$  – питома теплоємність ґрунту, огороження (стіни із скла), теплоємність рослин і теплоємність повітря,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ ;  $f, f_n, f_p, F$  – поверхня

ґрунту, повітря, рослин і огороження,  $\text{м}^2$ ;  $\kappa, \alpha$  – коефіцієнти тепловіддачі,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ .

Відповідно до розрахункової схеми та прийнятих спрощень рівняння теплового балансу для ґрунту в теплиці має вигляд (1) та повітря (2).

З (1) можна визначити температуру ґрунту в те-

плищі  $\Theta$ :

$$\frac{P_n}{a \cdot f} + \Theta - t = \frac{m_n c_p}{a \cdot f} \frac{dt}{dt} + \frac{kF}{a \cdot f} t - \frac{kF}{a \cdot f} t_3$$

$$\Theta = -\frac{P_n}{a \cdot f} - \frac{kF}{a \cdot f} t_3 + \left(1 + \frac{kF}{a \cdot f}\right) t + \frac{m_n c_p}{a \cdot f} \frac{dt}{dt}; \quad (5)$$

Введемо позначення:

$$T_3 = \frac{P_n}{a \cdot f} + \frac{kF}{a \cdot f} t_3;$$

$$a_1 = 1 + \frac{kF}{a \cdot f}; T_n = \frac{m_n c_p}{a \cdot f}; T_{sp} = \frac{m_{sp} c_{sp}}{a \cdot f}.$$

$$a_1 = 1 + Fk / af; A_1 = T_{sp} T_n; B_1 = T_{sp} a + T_n;$$

$$D_1 = I f + P_{sp} / af + P_n / af + Fk t_3 / af; C_1 = a_1;$$

$$t = C_1^1 e^{\gamma t} + C_2^1 e^{\gamma_2 t} + \frac{D_1}{C_1}; r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B_1^2 - 4A_1 C_1}}{2A_1};$$

Отримаємо температуру ґрунту в теплиці:

$$\Theta = -T_3 + a_1 \cdot t + T_n \frac{dt}{dt} \quad (6)$$

Після диференціювання та перетворень отримаємо рівняння:

$$\frac{I \cdot f + P_{sp}}{a \cdot f} = T_{sp} \left[ a_1 \frac{dt}{dt} + T_n \frac{d^2 t}{dt^2} \right] + \left[ -T_3 + a_1 t + T_n \frac{dt}{dt} \right] - t;$$

$$T_{sp} a_1 \frac{dt}{dt} + T_{sp} T_n \frac{d^2 t}{dt^2} + T_n \frac{dt}{dt} + a_1 t = \frac{I \cdot f + P_{sp}}{a \cdot f} + T_3 \quad (7)$$

$$T_{sp} T_n \frac{d^2 t}{dt^2} + (T_{sp} a_1 + T_n) \frac{dt}{dt} + a_1 t =$$

$$= \frac{I \cdot f + P_{sp}}{a \cdot f} + \frac{P_n}{a \cdot f} + \frac{Fk}{a \cdot f} t_3 = D_1; \quad (8)$$

Позначимо та обчислимо:

$$A_1 \frac{d^2 t}{dt^2} + B_1 \frac{dt}{dt} + C_1 t = D_1; \quad (9)$$

$$A_1 = T_{sp} T_n$$

$$B_1 = T_{sp} a_1 + T_n$$

$$C_1 = a_1 = 1 + \frac{kF}{a \cdot f};$$

$$D_1 = \frac{I \cdot f + P_{sp}}{a \cdot f} + \frac{P_n}{a \cdot f} + \frac{kF}{a \cdot f} t_3$$

Розв'язок неоднорідного рівняння (9) отримаємо як суму загального рішення однорідного рівняння і часткового рішення неоднорідного рівняння:

$$t = C_1^1 e^{\gamma t} + C_2^1 e^{\gamma_2 t} + \frac{D_1}{C_1}; \quad (10)$$

$$r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B_1^2 - 4A_1 C_1}}{2A_1};$$

де  $r_1, r_2$  - корні характеристичного рівняння

Визначимо з рівняння (1) величину  $t$ :

$$-\frac{I \cdot f + P_{sp}}{a \cdot f} + T_{sp} \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = t \quad (11)$$

Після перетворень отримуємо:

$$T_n T_{sp} \frac{d^2 \Theta}{dt^2} + \left[ T_n + T_{sp} + \frac{kF}{a \cdot f} T_{sp} \right] \frac{d\Theta}{dt} + \frac{kF}{a \cdot f} \cdot \Theta =$$

$$\left[ \frac{P_n + P_{sp}}{a \cdot f} + \frac{kF \cdot P_{sp}}{(a \cdot f)^2} \right] + \left( 1 + \frac{kF}{a \cdot f} \right) \frac{I \cdot f}{a \cdot f} + \frac{kF}{a \cdot f} \cdot t_3 = D_2 \quad (12)$$

Введемо позначення у вираз (12), та перепишемо його у вигляді:

$$A_2 \frac{d^2 \Theta}{dt^2} + B_2 \frac{d\Theta}{dt} + C_2 \Theta = D_2, \quad (13)$$

де  $A_2 = T_n T_{sp}$ ;  $B_2 = T_n + T_{sp} + \frac{kF}{a \cdot f} \cdot T_{sp}$ ;  $C_2 = \frac{kF}{a \cdot f}$ .

Розв'язок неоднорідного диференційного рівняння (13) отримаємо у вигляді:

$$\Theta = C_1' \cdot e^{\gamma t} + C_2' \cdot e^{\gamma_2 t} + \frac{D_2}{C_2}; \quad (14)$$

де  $r_1, r_2$  - корні характеристичного рівняння

$$r_{1,2} = \frac{-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4A_2 C_2}}{2A_2},$$

$C_1, C_2$  - постійні інтегрування.

За умов  $t_3 = const$ ,  $I(af) = const$ ,  $D_1 = const$  визначимо  $C_1$  та  $C_2$ .

За початкових умов:  $t=0$ ;  $t=t_0$ ;  $\Theta = \Theta_0$ ;  $\frac{dt}{dt} = 0$  постійні  $C_1$  та  $C_2$  визначаються співвідношенням:

$$C_1' = -r_2 \frac{t_0 C_1 - D_1}{C_1 (r_1 - r_2)}; \quad (15)$$

$$C_2' = r_1 \frac{t_0 C_1 - D_1}{C_1 (r_1 - r_2)}; \quad (16)$$

де  $t_0$  - початкова температура;  $t_0 = 1^0 C$ ;  $\theta^0$  - початкова температура ґрунту,  $^0 C$ ;  $\theta^0 = 1 \dots 2^0 C$ ;  $q_0 = 5^0 C$

Таким чином отримаємо рівняння, що визначає змінення температури повітря за часом (динамічні характеристики теплиці):

$$t = \frac{t_0 C_1 - D_1}{C_1 \cdot (r_1 - r_2)} \cdot [r_1 \cdot e^{r_1 t} - r_2 \cdot e^{r_2 t}] + \frac{D_1}{C_1}; \quad (17)$$

Визначимо сталі інтегрування в рівнянні (17) за початковими умовами :

$$C_1' = -r_2 \frac{\Theta_0 C_1 - D_2}{C_2(r_1 - r_2)}; \quad (18)$$

$$C_2' = -r_1 \frac{\Theta_0 C_2 - D_2}{C_2(r_1 - r_2)}$$

Рівняння, що описує зміну температури ґрунту в теплиці буде мати вигляд:

$$\Theta = \frac{\Theta_0 C_2 - D_2}{C_2 \cdot (r_1 - r_2)} \cdot [r_1 \cdot e^{r_2 \cdot t} - r_2 \cdot e^{r_1 \cdot t}] + \frac{D_2}{C_2}; \quad (19)$$

де  $\Theta_0$  – початкова температура ґрунту.

$$B_2 = T_n + T_{zp} + \frac{kF}{a \cdot f} \cdot T_{zp} = T_n + \left(1 + \frac{kF}{a \cdot f}\right) T_{zp};$$

$$D_2 = \frac{P_n + P_{zp}}{a \cdot f} + \frac{kF \cdot P_{zp}}{(a \cdot f)^2} + \left(1 + \frac{kF}{a \cdot f}\right) \frac{I \cdot f}{a \cdot f} + \frac{kF}{a \cdot f} \cdot t_3$$

Для спрощення розрахунків введемо позначення:

$$a_1 = I \cdot f_{zp} + P_{zp}, \quad a_2 = m_{zp} C_{zp}, \quad x = \Theta_{zp},$$

$$a_3 = a_{z-p} \cdot t_{zp}; \quad b_1 = P_n; \quad b_2 = m_n \cdot C_p; \quad b_3 = a_{p-p} \cdot t_{расн},$$

$$b_4 = k \cdot F, \quad y = t_p;$$

$$C_1 = a_{p-p} \cdot t_p, \quad C_2 = m_p \cdot C_{p-c}, \quad C_3 = a_l \cdot f_{расн}.$$

Запишемо вирази у нових позначеннях:

$$a_1 = a_2 \frac{dx}{dt} + a_3 \cdot (\Theta - t),$$

$$b_1 + a_3(\Theta - t) = b_2 \cdot \frac{dt}{dt} + b_3(t - y) + b_4(t - t_3),$$

$$C_1 \cdot (t - y) = C_2 \cdot \frac{dy}{dt} + C_3(y - t_{опр}).$$

З першого рівняння

$$a_3(\Theta - t) = a_1 - a_2 \frac{dx}{dt}; \quad t = \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Після підстановки у друге рівняння, маємо:

$$b_1 + a_1 - a_2 \frac{dx}{dt} = b_2 \cdot \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + (b_3 + b_4) \cdot \left( \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt} \right) - b_3 y - b_4 \cdot t_3$$

Звідси:

$$y = \frac{b_2}{b_3} \cdot \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b_3 + b_4}{b_3} \cdot \left( \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt} \right) - \frac{b_4 \cdot t_3 - b_1 + a_1 + \frac{a_2}{b_3} \cdot \frac{dx}{dt}}{b_3}$$

Підставимо у і в третє рівняння:

$$C_1 \left( \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{b_2 \cdot a_2}{b_3 \cdot a_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{b_3 + b_4}{b_3} \left( \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt} \right) + \frac{b_4}{b_3} \cdot t_3 + \frac{b_1 + a_1 - \frac{a_2}{b_3} \cdot \frac{dx}{dt}}{b_3} \right) =$$

$$= C_2 \left( \frac{b_2 a_2}{b_3 a_3} \cdot \frac{d^3x}{dt^3} + \frac{b_3 + b_4}{b_3} \cdot \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{a_2}{b_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right) +$$

$$+ C_3 \left( \frac{b_2 a_2}{b_3 a_3} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b_3 + b_4}{b_3} \cdot \left( \Theta - \frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{dx}{dt} \right) - \frac{b_4}{b_3} \cdot t_3 - \frac{b_1 + a_1 + \frac{a_2}{b_3} \cdot \frac{dx}{dt}}{b_3} - t_{опр} \right)$$

Графічна інтерпретація розв'язку рівнянь розігріву повітря (17) і ґрунту (19) для різних потужностей нагрівачів наведені на рис. 1. На рис. 2. представлена розгінна характеристика математичної моделі та точки реальної кривої розігріву теплиці. На рис. 3,а наведені залежності динаміки зміни температури повітря, а на рис. 3,б – динаміки зміни температури ґрунту при різній потужності нагрівачів.

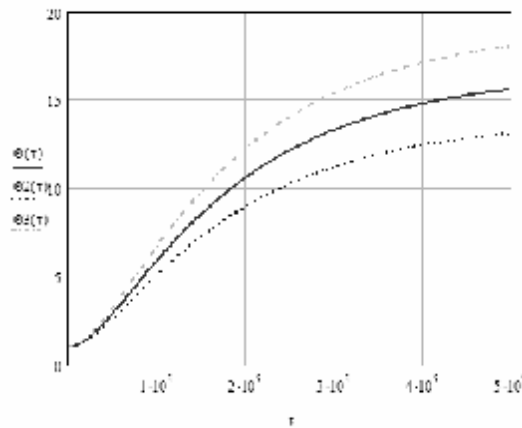
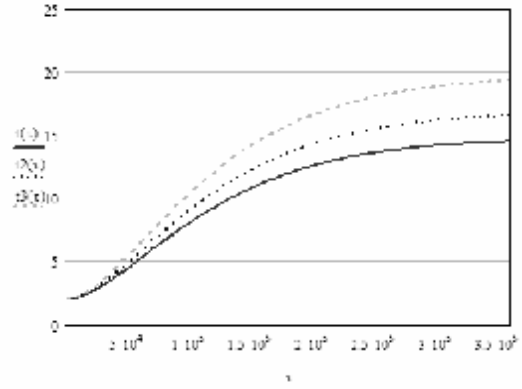


Рисунок 1 – Зміни температури розігріву повітря за часом (динамічні характеристики теплиці) та ґрунту в теплиці для різних потужностей нагрівачів: 1 –  $P_n=100$  Вт,  $P_{zp}=150$  Вт; 2 –  $P_n=200$  Вт,  $P_{zp}=80$  Вт; 3 –  $P_n=160$  Вт,  $P_{zp}=160$  Вт

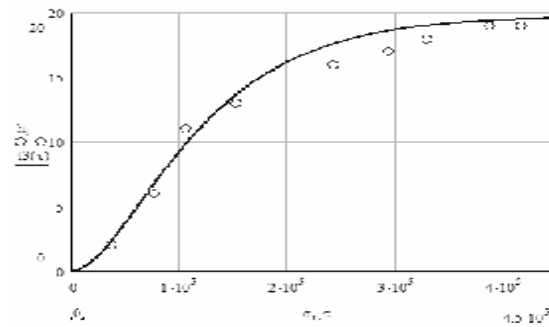


Рисунок 2 – Розгінна характеристика математичної моделі та точки реальної кривої розігріву теплиці



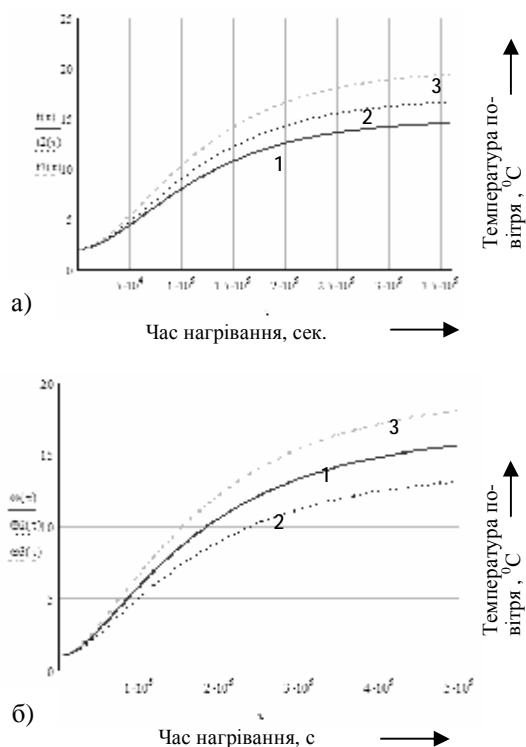


Рисунок 3 – Графіки зміни температури повітря  $t(t)$  (а) та ґрунту  $\Theta(t)$  (б) в теплиці за часом

при: 1 –  $P_n=100$  Вт,  $P_{гр}=150$  Вт; 2 –  $P_n=200$  Вт,  $P_{гр}=80$  Вт; 3 –  $P_n=160$  Вт,  $P_{гр}=160$  Вт.

**ВИСНОВКИ** Розроблена математична модель теплових режимів теплиць, яка враховує розподіл температури за координатою та зв'язок динамічних характеристик повітряного та ґрунтового об'єму теплиць.

Це дозволяє визначити оптимальне співвідношення потужності повітряного і ґрунтового нагрівачів. Доцільним є керування температурою повітря, при сталому підігріві ґрунту (температура ґрунту підтримується на рівні, що забезпечує температурний рівень згідно до агротехнічних вимог).

## MODELLING OF THERMAL PROCESSES AND PARAMETERS OF GREENHOUSE INDOOR CLIMATE

**T. Prokopenko**

Kirovograd National Technical University

prosp. Universytetskyi, 15, Kirovograd, Ukraine. E-mail: Arabeska@ukr.net

The article deals with modeling of thermal processes, heat and mass transfer in greenhouses under non-stationary environmental effects. The systems of equations describing the heat balance of different modes of greenhouses with temperature distribution in the coordinates, and the correlation between air dynamic characteristics and greenhouse soil are shown. The optimal ratio of the power of air and ground heaters is determined, the expediency of temperature control while maintaining constant soil temperature is substantiated, and also it is shown that provision of the required range of climate parameters is possible via air temperature fields control.

**Key words:** temperature fields, greenhouse facilities, modelling.

### REFERENCES

1. Vaschenko S.F., Chekunova Z.I., Gavrilov N.I. and ath. *Protective ground horticulture* / Ed. by S.F. Vaschenko, Doc.Sc., biology. – Moscow: Kolos, 1974. – 352 p. [in Russian]
2. Sykhareva L.I., Kubyshcheva N.V. Economic efficiency of electric heating of transplant seedlings plastic house of 1 hectare area size // *Protective ground horticulture*. – Moscow, 1992. – Vol. 71. – PP. 44–51. [in Russian]
3. Soldatov V.V. *Methods of energy-saving control of greenhouse heating* //Theses abstract ... Cand.Sc., engineering – Moscow, 1993. – 256 p. [in Russian]
4. Girnyk N. L. *Multidimensional automation control system*

Обґрунтована доцільність моделювання температурних полів в теплиці для забезпечення необхідного діапазону параметрів мікроклімату і його стабільності. Визначення температурних полів в теплиці дозволяє вибирати наперед потужність обігрівачів, прослідити і проаналізувати взаємозв'язок інтенсивності сонячної радіації з матеріалом огороження, температурою та вологістю довілля і на основі цього аналізу прогнозувати значення температур на поверхні ґрунту, рослин, огороження при різних зовнішніх та внутрішніх характеристиках теплиці, що є необхідним для оцінки явищ, що відбуваються в теплиці і визначити температуру в приміщенні теплиці в загалі. Побудова температурних полів в теплиці дає можливість прогнозувати і вибирати параметри мікроклімату в теплиці, що забезпечує можливість формування наперед заданого теплового режиму в приміщенні в залежності від факторів, які впливають на мікроклімат і конструктивних особливостей теплиці.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Овощеводство защищенного грунта / С.Ф. Ващенко, З.И. Чекунова, Н.И. Гаврилов и др.; под ред. д-ра с-х наук С.Ф. Ващенко. – М.: «Колос», 1974. – 352 с.
2. Сухарева Л.И., Кубышева Н.В. Экономическая эффективность электрического обогрева блока рассадных пленочных теплиц площадью 1 гектар. Овощеводство защищ. грунта. – М, 1992. – С.44–51. ШХР: 462376, т. 71.
3. Солдатов В.В. Методы энергосберегающего управления обогревом тепличных комбинатов //Диссертация на соискание учен. степ. канд. техн. наук. – Москва, 1993. – 256 с.
4. Гирнык Н.Л. Многомерные САУ тепло массообменными процессами сельскохо-зяйственных об-ектов / Автореф. дис. на соиск учен. степ. д.т.н. – Киев: Украинская с-х академия, 1986. – 37 с.
5. Гарасимчук І.Д., Панцир Ю.І. Інформаційно-вимірвальна система контролю параметрів мікроклімату та обліку витрат енергоресурсів // Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. – Кам'янець-Подільський, 2001. – Вип. 9. – С. 451–454.

for heat- and mass-transfer of agricultural objects//Theses abstract ... Doc.Sc., engineering. – Kyiv: Ukrainian Agricultural Academy, 1986. – 37 p. [in Russian]

5. Garasimchuk I. D., Pansyr Yu. I. Information measuring control system for microclimate parameters and energy consumption accounting //Transactions of Podolski State Agricultural and Technical University. – Kamjanets-Podilskii, 2001. – Iss. 9. – PP. 451–454. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 26.10.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Саленком О.Ф.

