

УДК 628.87

Коц І.В.*(Вінницький національний технічний університет)***Грицун А.В.****Берник І.М.****Ярмолюк Ю.М.***(Вінницький національний аграрний університет)*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛИЦІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В работе представлены функциональные зависимости, что связывают между собой основные параметры теплицы, пригодные для практических расчетов при предыдущей оценке и, выборе их рациональных параметров на стадии эскизного проектирования.

In work functional dependences that hothouse key parameters, suitable for practical calculations connect among themselves at the previous estimation and, a choice of their rational parameters at a stage of outline designing are presented.

Вступ та основна частина

Агропромисловий комплекс (АПК) України в останні роки споживає досить багато енергетичних ресурсів (до 19%), а тому в даній галузі також розпочинають більш активно використовувати енергозберігаючі технології та технічні засоби. В сучасних умовах однією з головних задач АПК є задоволення потреби населення у високоякісній, екологічно чистій, доступній за ціною продукцією, яка б відповідала світовим вимогам і змогла б витіснити з ринку України імпортовану продукцію [1, 4, 6].

Велика частка високоякісної, екологічно чистої продукції вирощується в теплицях завдяки використанню прогресивних, економічних та екологічних енергоощадних систем. До таких енергоощадних систем відноситься використання сонячної енергії, вітрової енергії тощо. В теплицях повинен бути створений відповідний сприятливий мікроклімат для вирощування різних рослин. Як відомо, взимку в сонячний день в теплиці температура може досягати до 35 °С і вище, а вночі до 0 °С, при таких умовах рослини не можуть нормально розвиватись, а тому ефективно застосувати енергоощадну систему повітряного акумулювання тепла в ґрунті та гравійний теплоакумулятор [3,5,6].

Таким чином, актуальність цієї роботи полягає у подальшому розвитку і створенню нових більш економічно та екологічно чистих енергоощадних систем забезпечення необхідних температурних параметрів при вирощуванні овочевої продукції в культивацийних спорудах закритого ґрунту, обґрунтуванню вибору оптимальних параметрів і характеристик тепломасообмінних процесів, що надасть можливість вирощувати високоякісну сільськогосподарську продукцію придатну для споживання.

З метою заощадження енергоресурсів і покращання температурних умов у зоні росту рослин була розроблена система опалення зони вегетації рослин в зимових теплицях [2].

Теплиця розглядається як складна розрахункова система (рис. 1), взаємодія підсистем якої між собою та з підсистемами зовнішнього середовища зображена на рис. 2.

Нагрів об'єму теплиці створюється в результаті нагріву повітряного середовища за допомогою повітрянагрівача та гравійного теплоакумулятора в ґрунті [2]. Вдень при вмиканні електровентилятора тепле повітря у просторі теплиці через повітрязбір і водойму проходить по перфорованих тонколистових трубах, нагріваючи при цьому ґрунт навколо себе, далі по каналах в північній стіні і, підхвачене вентилятором, вже охолоджене

В процесі тепломасообміну у просторі об'єму теплиці можливі наступні ситуації:

1) нагрів об'єму теплиці за рахунок конвективних теплових потоків $Q_{кп}$, $Q_{дк}$, $Q_{вк}$ та конденсацією вологи;

2) охолодження поверхні за рахунок конвективної передачі тепла в нагрітий об'єм;

3) випаровування вологи та конденсація;

4) відбувається нагрів поверхні ґрунту за рахунок теплових потоків.

Процеси тепломасообміну в споруді можуть бути представлені такою системою рівнянь теплового балансу:

рівнянням теплового балансу для поверхні ґрунту

$$Q_z + Q_{mn} + Q_{ак} + Q_{кп} + Q_{но} + Q_v = 0; \quad (1)$$

рівнянням теплового балансу для об'єму споруди

$$Q_{кп} + Q_{нв} + Q_{дк} + (1 - k_n) + Q_{но} + Q_{ин} = 0; \quad (2)$$

рівнянням теплового балансу на огорожуючій конструкції

$$Q_{дк} + k_n Q_{но} + Q_{вк} + Q_k + Q_{эф} + Q_{ло} = 0; \quad (3)$$

рівнянням балансу вологості для об'єму споруди

$$G_n + G_o + G_k + G_v = 0; \quad (4)$$

де Q_z , Q_v , $Q_{нв}$, $Q_{ин}$, Q_k – теплові потоки, відповідно, від ґрунтового обігріву в теплицю, на випаровування, від повітрянагрівачої установки, на нагрівання вентиляційного повітря, від конденсації площі теплиці, Вт/м²; $Q_{кп}$, $Q_{дк}$, $Q_{вк}$ – конвективні теплові потоки, відповідно, на поверхні ґрунту, до огорожуючої конструкції, від огорожуючої конструкції назовні, Вт/м²; $Q_{но}$, $Q_{ло}$, $Q_{эф}$ – променеві теплові потоки, відповідно, між ґрунтом та огорожуючою конструкцією, від споруд, що розташовані навколо теплиці, від огорожуючої конструкції в навколишнє середовище, Вт/м²; $Q_{ак}$ – тепло, що акумулюється ґрунтом, Вт/м²; Q_{mn} – тепловтрати через ґрунт назовні, Вт/м²; G_n , G_k , G_o , G_v – витрата вологи, відповідно, утворювана при випаровуванні з поверхні ґрунту та при конденсації на огорожуючій конструкції, вношувана ззовні в споруду, видалена разом з вентиляційним повітрям, кг/(с×м²); k_n – коефіцієнт, що враховує поглинання довгохвильового випромінювання трьохатомними газами (для теплиць $k_n=0,88$).

Замість рівняння теплового балансу для внутрішнього об'єму споруди (2) в залежності від характеру задачі можна застосувати рівняння теплового балансу для всієї споруди [4,6]:

$$Q_z + Q_{ак} + Q_{mn} + Q_{нв} + Q_{ин} + Q_v + (Q_{вк} + Q_{эф} + Q_{ло}) \times [1 + a(\rho_z - \rho_v)] = 0, \quad (5)$$

де $[1 + a(\rho_z - \rho_v)]$ – величина, яка враховує надбавку тепловтрат на інфільтрацію (для теплиці із звичайним склінням $a = 1$, для покриття плівкою $a=0,8$);

ρ_z , ρ_v – густина зовнішнього і внутрішнього повітря, кг/м³;

$Q_{ин}$ – повний (променевий і конвективний) тепловий потік від системи обігріву теплиці, Вт/м².

Загальну потужність системи опалення теплиці, Вт, знаходимо за формулою:

$$Q_{он} = KF_{II}(t_v - t_z)\eta_{инф}, \quad (6)$$

де $Q_{он}$ – розрахункова потужність системи опалення, Вт; K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²×°C); t_v , t_z – розрахункова температура внутрішнього та зовнішнього повітря, °C; $\eta_{инф}$ – коефіцієнт інфільтрації; F_{II} – сумарна площа поверхні огороження, м².

Головною конструктивною характеристикою теплиці є коефіцієнт ефективності огороження, від якого залежать тепловтрати та загальна потужність системи опалення.

Цей коефіцієнт визначаємо за формулою [3,4,6]:

$$\eta_{опр} = \frac{F_{II}}{F_O}, \quad (7)$$

де F_{II} – сумарна площа поверхні огороження, м²; F_O – площа ґрунту, м².

Тоді формула (6) набуде вигляду:

$$Q_{он} = KF_O(t_v - t_z)\eta_{опр} \cdot \eta_{инф}, \quad (8)$$

Втрати тепла системою опалення теплиці можна визначити аналітичним способом при максимально допустимих значеннях температури зовнішнього повітря та швидкості вітру.

Кількісною характеристикою різних способів обігріву теплиці є коефіцієнт β , який показує, яка частина тепла, що виділяється опалювальними приладами, йде на обігрів зони рослин [3,4]:

$$\beta = \frac{t_p - t_3}{t_k - t_3}, \quad (9)$$

де t_p – температура повітря в зоні рослин, $^{\circ}\text{C}$; t_k – температура повітря в теплиці поблизу покрівлі, $^{\circ}\text{C}$.

Чим менша різниця $(t_p - t_k)$, тим менше буде тепловтрата при однаковому тепловому режимі в зоні рослин. Найменша величина тепловтрати буде при умові: $t_p - t_k = 0$. В цьому випадку необхідно забезпечити температурний режим в зоні рослин і фактичні тепловтрати через огорожуючі конструкції, які визначаємо середньою температурою повітря біля внутрішньої поверхні огороження.

Коефіцієнт β – це коефіцієнт ефективності системи обігріву, чим ближче його величина до одиниці, тим раціональніше використовується тепло системи опалення.

Тоді формула (8) отримає наступний вигляд:

$$Q_{on} = \frac{KF_o}{\beta} (t_p - t_3) \eta_{оп} \cdot \eta_{инф}. \quad (10)$$

Температура ґрунту, $^{\circ}\text{C}$, у вертикальному перерізі над трубою ґрунтового обігріву визначаємо за формулою [4]:

$$t_1 = 14,5 + 0,46S + (46,46 - 14,71S)h + (4 - 2,09S - 17,8h + 11,65Sh)\lambda_{II}, \quad (11)$$

де S – горизонтальна відстань між осями трубопроводів ґрунтового обігріву, м; h – глибина розташування джерела тепла в ґрунті, м; λ_{II} – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C})$.

Температура ґрунту, $^{\circ}\text{C}$, у вертикальному перерізі на середині відстані між трубопроводами ґрунтового обігріву визначаємо за формулою [4]:

$$t_2 = 13,92 + 0,58S + (58,71 - 27,42S)h + (4,75 - 2,59S - 26,55h + 13,5Sh)\lambda_{II}. \quad (12)$$

Потужність системи, Вт, ґрунтового обігріву визначаємо за формулою [4]:

$$Q_{II} = [32,81\lambda_{II} + 4,95 - (11,5\lambda_{II} + 3,36)S]F_o \quad (13)$$

Об'ємну витрату повітря, $\text{м}^3/\text{с}$, в початковому перерізі повітророзподільника визначаємо за формулою:

$$L_0 = \frac{Q_{on} (273 + t_3)}{342(t_3 - t_e) \cdot 10^3} \quad (14)$$

Оптимальний діаметр перфорованого трубопроводу, м, визначаємо згідно формули:

$$d_{opt} = \frac{4,5 \cdot l (273 + t_3)^{0,1}}{L_0^{0,1} \cdot 10^3} \quad (15)$$

де l – довжина перфорованого трубопроводу, визначається з конструктивних особливостей теплиці, м.

Швидкість руху повітря, м/с, в початковому перерізі перфорованого трубопроводу визначаємо за формулою:

$$v_0 = 1,27 \frac{L_0}{d^2}. \quad (16)$$

У випадку, якщо отриманий діаметр d_{opt} не задовольняє конструктивне облаштування теплиці, а також, якщо швидкість повітря v_0 перевищує рекомендовані межі [1,4-6], то уточнюємо v_0 чи d_{opt} .

Діаметр отворів перфорації, при якому виключається можливість негативного впливу хвиль нагрітого повітря на відстань з врахуванням найбільш несприятливих умов визначаємо, виходячи з заданої по умові розташуванню трубопроводу в теплиці мінімальної

відстані S від перфорованого отвору до рослин і допустимих вітрових (ω_d) та температурних (t_d) режимів на осі течії за формулами:

а) з умови забезпечення допустимих швидкостей повітря на осі течії

$$d_0 = \frac{S\omega_d}{7,97 \sqrt{\frac{t_g + 273}{t_s + 273}} \omega_{\max}}. \quad (17)$$

б) з умови

забезпечення допустимих температур на осі течії

$$d_0 = \frac{S(t_d - t_g)}{3,51 \sqrt{\frac{t_g + 273}{t_s + 273}} (t_s - t_g)}. \quad (18)$$

Величини допустимої швидкості ω_d і температури t_d приймають в кожному конкретному випадку в залежності від прийнятих за агрономічними вимогами допустимих швидкостей і температур повітря на осі течії в зоні рослин [1,3-6].

Кількість отворів перфорації n , шт., і їх крок a_0 , м, визначаємо за наступним залежностями

$$n = \frac{f d^2}{d_0^2}; a_0 = \frac{n' l}{n}, \quad (19)$$

де n' - кількість рядів отворів перфорації ($n'=2,4,6$ і т.д.).

Виходячи з умов зниження міцності трубопроводів, приймаємо мінімально допустиму відстань між отворами $a_0=0,2$ м, якщо $a_0 < a_d$, тоді потрібно збільшити кількість рядів отворів n' .

Діаметр, середню швидкість по площі та середню температуру течії на відстані x від площини перфорованих отворів визначаємо за формулами:

$$d_x = 6,9 d_0 \left(\frac{0,082x}{d_0} + 0,145 \right). \quad (20)$$

$$\omega_x^{cp} = \frac{0,095 d_0 \omega_x}{0,082x + 0,145 d_0}. \quad (21)$$

$$t_x^{cp} = \frac{0,226 d_0 (t_x - t_g)}{0,082x + 0,145 d_0} + t_g. \quad (22)$$

Необхідний повний тиск на початку повітророзподільвача, Па, визначаємо за формулою [4]:

$$P_{\Pi} = \xi \frac{174 v_0^2}{(t_s + 273)}; \quad (23)$$

де ξ – узагальнений коефіцієнт гідравлічного опору всього повітророзподільвача (визначається графічно).

Висновки

1. На підставі теоретичного аналізу тепломасообмінних процесів досліджуваної теплиці типу наведені узагальнені функціональні залежності, що зв'язують між собою основні параметри теплиці (розрахункові температури, швидкість вітру, вологість, коефіцієнт теплопередачі, теплопровідності), що придатні для практичних розрахунків при попередній оцінці і виборі їхніх раціональних параметрів на стадії ескізного проектування.

2. Наведена математична модель і представлені рекомендації у вигляді аналітичних залежностей для практичної реалізації при розробці методики розрахунку необхідної для створення різноманітних типорозмірів ефективних теплиць запропонованої конструкції та подальшого впровадження їх у виробництво, а також для оцінки їх ефективності у

порівнянні із іншими відомими конструкціями теплиць.

Література

1. ВНТ.П-СГіП-46-19-96. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств. – К.: Мінсільгостпрод України, 1996. – 68 с.
2. Патент 21955 Україна МПК А01G 9/1. Теплиця типу «Сонячний вегетарій» / І.В. Коц, Н.Б. Терновенко, О.П. Сліпенька; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний ун-т – № u200611434; заявл. 30.10.2006; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4/2007.
3. Шишко Г. Г. Отопление и вентиляция теплиц // Г. Г. Шишко, В. А. Потапов, Л. Л. Злобин. – К.: Будівельник, 1984. – 111 с.
4. Руководство по теплотехническому расчету культивационных сооружений / Гипронисельпром. – Орел, 1982. – 175 с.
5. Малкін Е.С. Експериментальні дослідження параметрів повітря в системі локального мікроклімату в розсадних відділеннях теплиць // Е.С. Малкін, Н. В. Чепурна / Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.–2001. – № 1. – С. 3–7.
6. Росковієнко Ю.К. Розробка енергоощадної системи опалення зони вегетації рослин в зимових теплицях [Електронний ресурс] / Ю.К. Росковієнко, І.В. Клімова // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. — 2004. — Вип. 7. — С. 65-69. — Бібліогр.: 4 назв. — укр.