

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМИ
УТИЛІЗАЦІЇ НАДЛИШКОВОЇ І ВІДПРАЦЬОВАНОЇ ТЕПЛОТИ З
ҐРУНТОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
ВИРОБНИЧИХ СПОРУД**

Б. І. КОТОВ, доктор технічних наук, професор
Вінницький національний аграрний університет,
В. О. ГРИЩЕНКО, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: bepeck2001@rambler.ru

Анотація. В статті обґрунтовано доцільність використання акумуляторів тепла в сільськогосподарських виробничих спорудах з метою зменшення енерговитрат на забезпечення мікроклімату за рахунок нагрівання акумулюючої насадки в час максимального надходження зовнішньої теплоти і нагрівання припливного повітря за відсутності зовнішніх теплонадходжень. На прикладі теплиці з трубно-водяним опаленням, біологічними об'єктами та вентиляторами розроблена математична модель теплових режимів з системою утилізації надлишкової теплоти. Тепловий акумулятор реалізовано у вигляді ізольованого каналу заповненого насадкою, розміщеною в середині ґрунтового масиву під шаром субстрату, який має повітряне сполучення із шатром теплиці.

Запропонована розгорнута математична модель динаміки радіаційно-теплогового режиму культивацийної споруди з акумулятором надлишкової теплоти, яка складається з рівнянь теплового балансу за стаціонарного теплового процеуі для: світлопрозорого огороження; рослинного покриву; повітря в об'ємі теплиці; повітря в об'ємі насадки; насадки акумулятора. Враховуючи замкненість повітряного тракту системи теплиця-акумулятор-теплиця використано умови спряження двох ланок: температура на виході теплиці дорівнює температурі повітря на вході в акумулятор, а на виході акумулятора температури повітря на вході в теплицю. Шляхом перетворень та спрощень отримано спрощені аналітичні залежності для визначення добової зміни температури повітря в повітряному об'ємі споруди.

Ключові слова: математична модель, тепловий режим, надлишкова теплота, вентиляція, акумулятор теплоти

Актуальність. Одним із ефективних методів зменшення енерговитрат в системах забезпечення технологічного мікроклімату виробничих приміщень з біологічними об'єктами (тваринницькі, птахівницькі будівлі і культивовані споруди) в перехідний і холодні пори року є застосування

утилізації надлишкової і відпрацьованої теплоти вентиляційних викидів [1]. Викидне повітря тваринницьких приміщень містить значну кількість теплової енергії, в культивацийні споруди (теплиці) в сонячні дні поступає значна кількість теплової енергії за рахунок сонячної радіації, що викликає перегрівання повітря і рослин та зумовлює необхідність «провітрювання» шатра теплиці шляхом видалення надлишкової теплоти через вентиляційні прийоми зовні [2,3].

Перспективним напрямом утилізації (повторного використання теплових повітряних викидів) є регенерація теплоти в акумуляторах з дисперсною насадкою [4], розташованих, наприклад, в ґрунті під спорудою. Являє науковий і практичний інтерес розглянута динаміка радіаційно-теплового режиму споруди (на прикладі теплиці як найбільш енергоємного об'єкту), оснащеної системою примусової вентиляції і акумулятором теплової енергії, у вигляді проточної ємності заповненою дисперсною насадкою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В сонячні дні в культивацийні споруди (теплиці парники) надходить значна кількість теплової енергії за рахунок сонячної радіації. Час перегрівів повітря в теплицях складає 25–40 % загального часу експлуатації теплиць в залежності від кліматичної зони держави. Для нормального розвитку рослин необхідно підтримувати температуру повітря в оптимальних межах. Регулювання параметрів внутрішнього повітря в теплицях (ліквідація перегріву), зазвичай, здійснюється двома способами: відкриттям вентиляційних прорізів, що забезпечує видалення перегрітого повітря з об'єму теплиці і подачу холодного зовнішнього повітря, нормалізуючи температуру в зоні рослин; зниженням температури теплоносія в трубних реєстрах системи обігріву; екрануванням частини світлопрозорого покриття.

Однак ці способи не вирішують проблему раціонального використання теплової енергії, хоча і забезпечують регламентований температурний режим. Велика протяжність і відповідно інерційність трубного обігріву розтягує в часі (1.5–2 години) реагування системи подачі теплоносія і відбувається викид перегрітого повітря через вентиляційну систему назовні, тобто виникають непродуктивні витрати теплоти.

Перспективним є будівництво теплиці (або її реконструкція) із спорудженням акумуляторів теплоти. В періоди інтенсивного сонячного випромінювання для провітрювання теплиці вмикають вентилятори і надлишкову теплоту перегрітим повітрям спрямовують в тепловий акумулятор. Це дозволяє в нічні години доби обігрівати шатер теплиці повітрям, нагрітим за рахунок акумульованої сонячної енергії. Таким чином, необхідність акумулювання теплоти зумовлена нерівномірністю надходження сонячної радіації протягом доби [1].

В якості акумуляторів короткочасового зберігання теплової енергії використовують теплоізольовані ємності, заповнені камінням (подрібненим), галькою, сосудами з парафіном, а трубопроводи повітря занурені в ґрунт під теплицею [2]. Оскільки для акумуляції теплоти

шляхом теплопередачі найголовнішим параметром є величина теплопередаючої поверхні, то найбільш простими і ефективними є теплові акумулятори у вигляді трубопроводу [3] (довільного перетину), заповнені дисперсною насадкою (галька, щебінка, гранули з речовиною, яка має фазові переходи, наприклад, плавлення). При цьому являє практичний і науковий інтерес розглянути динаміку радіаційно-теплого режиму теплиці з акумулятором теплоти, так як в роботах [2, 4] розглядаються системи акумулювання викидної теплоти виробничих споруд в стаціонарному режимі.

Мета досліджень – розробка математичної моделі динамічних теплових режимів культиважної споруди, оснащеною системою вентиляції з акумулятором теплоти.

Матеріали і методи дослідження. Використано аналітичний метод досліджень шляхом складання рівнянь теплового балансу і їх спрощеного розв'язку наближеним методом для отримання аналітичних залежностей зміни параметрів циркулюючого в системі повітря в часі, при зміні зовнішніх теплових надходжень.

Результати дослідження та їх обговорення. Розрахункова модель теплиці являє собою повітряний об'єм, обмежений світлопрозорим огородженням – шатром і поверхнею ґрунтового масиву (рис.1). В шатрі теплиці розміщені прилади трубно-водяного опалення (технологічне обладнання), біологічне наповнення рослини та вентилятори. В середині ґрунтового масиву під шаром субстрату розміщений тепловий акумулятор у вигляді ізольованого каналу, заповненого насадкою (твердий кусковий матеріал), який має повітряне сполучення із шатром теплиці.

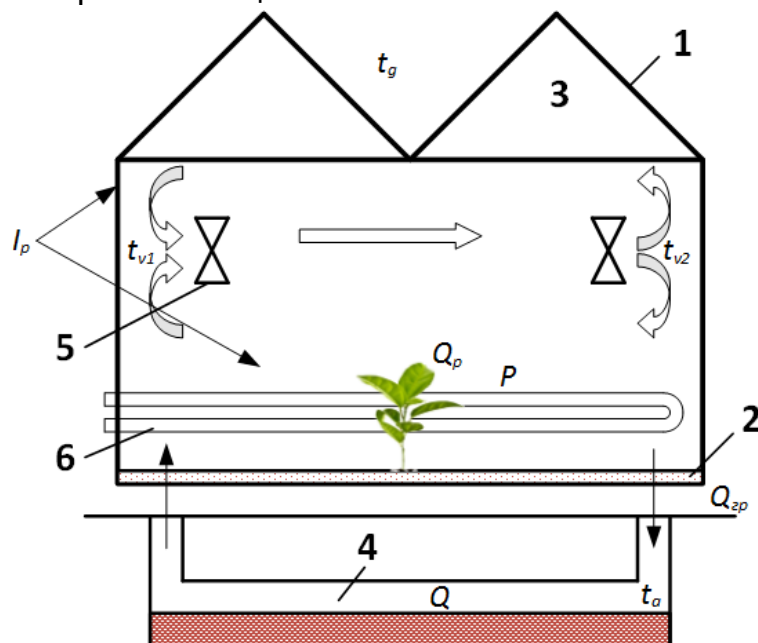


Рис. 1. Технологічна схема опалюваної теплиці з підґрунтовым акумулятором (з гравійною насадкою): 1 – осклене огороження; 2 – ґрунт; (субстрат); 3 – повітряний об'єм теплиці-шатра; 4 – канал акумулятора, заповнений насадкою; 5 – вентилятор; 6 – трубне опалення

За складання математичної моделі динаміки теплових процесів приймаються наступні спрощення: об'єм теплиці розглядається як обмежений простір, заповнений однорідною речовиною з ефективною теплоємністю; теплоємність рослинності можна віднести до повітряного об'єму, а сама рослинність розглядається як напівпрозорий екран; вологовиділення рослин враховується коефіцієнтами теплообміну; складові радіаційного теплообміну враховується коефіцієнтами теплообміну; нагрівання насадки безградієнтне (нерівномірність теплового поля елементів насадки враховується коефіцієнтом теплопередачі); розподіл температури повітря в акумуляторі в напрямку руху повітря рівномірний; система – «шатер–акумулятор» розглядається як модель ідеального змішування.

Виходячи із фізичного уявлення теплових процесів і прийнятих припущень запишемо рівняння теплового балансу теплиці за стаціонарного теплового процесу:

– для світлопрозорого огороження:

$$IF_c G_c + \alpha_k F_c + \alpha_k F_c (\bar{t}_v - q - Q_c) + \alpha_c F_c (Q_p - Q_c) = \alpha_g F (Q_c - Q_g). \quad (1)$$

В рівнянні (1) ліва частина – це сума кількості теплоти, яку отримує огороження теплиці від поглиненої сонячної радіації, внутрішнього повітря (конвективною тепловіддачею), і від нагрітої поверхні рослин (вимірюванням), а права частина – кількість теплоти яку віддає поверхня огороження в зовнішнє середовище;

– для рослинного покриву:

$$I_a \tau_p (F_p)^A = \alpha_k \cdot F_p (Q_p - \bar{t}_v) + \alpha_l F_p (Q_p - Q_c) + r \cdot \beta \cdot F_p \cdot Q_p. \quad (2)$$

В рівнянні (2) ліва частина – це кількість теплоти, отриманої поглинанням сонячної радіації, яка проникає крізь світлопрозоре огороження, а права – це сума кількості теплоти, переданої конвективно від рослини повітрю і випромінюванням від рослин до поверхні огороження. При цьому теплота, яка витрачається на випаровування води може бути врахована збільшенням коефіцієнтів теплообміну $\alpha_k = \alpha_k + \Delta \alpha_w$;

– для повітря в об'ємі теплиці:

$$P_{TP} + G_v C_v t_{v1} \alpha_k F_p (Q_p - \bar{t}_v) = \alpha_k F_c (t_v - Q_c) + G_v C_v \cdot t_{v2}. \quad (3)$$

В рівнянні (3) ліва частина визначає сумарну кількість, що надходить до повітряного об'єму теплиці від приладів нагріву, акумулятора і рослин, а права – сума кількості теплоти, що передається огороженню і відводиться в теплоакумулятор.

Рівняння теплового балансу акумулятора теплоти у стаціонарному режимі:

– для повітря в об'ємі насадки:

$$G_v C_v t_{a1} = \alpha_k^a F_a (\bar{t}_a - Q) + G_v C_v t_{a1}, \quad (4)$$

ліва частина рівняння визначає кількість теплоти, що надходить в акумулятор з об'єму теплиці, а права сумарну кількість теплоти переданої до насадки і виведеної з повітрям з акумулятора в об'єм теплиці;

– для насадки акумулятора

$$\alpha_k F_a (t_a - Q) = K_{zp} F (Q - Q_{zp}). \quad (5)$$

Теплота, отримана насадкою в сталому режимі передається через зовнішню поверхню акумулятора (каналу) в ґрунт.

В рівняннях (1) – (5) використано наступні позначення:

$t_v = 0.5$, $t_{v1} = 0.5t_{v2}$ – середня температура повітря в шатрі теплиці, °С;

$t_a = 0.5t_{a1} + 0.5t_{a2}$ – середня температура в об'ємі акумулятора, °С;

t_{v1} , t_{a1} – температура повітря на вході в теплицю і в акумулятор, °С;

t_{v2} , t_{a2} – температура повітря на виході теплиці і акумулятора, °С;

Q_p – температура рослин, °С;

I, I_a – інтенсивність падаючої та проникаючої (крізь скло) сонячної радіації, Вт/м²;

P_{mp} – потужність (теплова) трубного обігріву, Вт;

G_v – витрати повітря, кг/с;

α_k, α_l – коефіцієнти теплообміну конвекцією і випромінюванням, Вт/(м²·°С);

θ – температура насадки акумулятора, °С;

F_c, F_p, F_a – поверхня огороження, рослин, насадки акумулятора, м²;

F_{pa} – поверхня опромінення рослин м²;

F_k – зовнішня поверхня акумулятора;

K_{zp} – коефіцієнт теплопередачі від повітря в акумуляторі до ґрунту, Вт/(м²·°С).

Враховуючи замкненість повітряного тракту системи теплиця-акумулятор-теплиця, запишемо умови спряження двох ланок: температура на виході теплиці дорівнює температурі повітря на вході в акумулятор, а на виході акумулятора – температурі повітря на вході в теплицю, тобто:

$$t_{v2} = t_{a1}, \quad t_{a2} = t_{v1}. \quad (6)$$

За порушення теплової рівноваги, наприклад, у разі зміни потужності нагріву ΔP , об'єкт перейде до нестационарного режиму, зміни температури елементів об'єкту в часі. Рівняння теплового балансу для нестационарного процесу теплообміну з урахуванням (6) будуть мати вигляд:

$$M_c C_c \frac{dQ_c}{d\tau} = I G_c F_c + \alpha_k F_c (t_v - Q_c) + \alpha_l F_c (Q_p - Q_c) - a_c F_c (Q_c - t_g), \quad (7)$$

$$M_c C_c \frac{dQ_3}{d\tau} = I_l G_c F_c + \alpha_k F_p (Q_p - t_v) - \alpha_l F_p (Q_p - Q_c), \quad (8)$$

$$M_v C_v \frac{dt_{v2}}{d\tau} = P_{mp} + C_{tv} C_v (t_{v1} - t_{v2}) + \alpha_k F_a (t_a - Q), \quad (9)$$

$$M_{va}C_v \frac{dt_{a2}}{d\tau} = +C_{tv}C_v [t_{a1} - t_{a2}] - \alpha_k^a F_a [t_a - Q], \quad (10)$$

$$M_a C_a \frac{dQ}{d\tau} = \alpha_k^a F_a (Q_a - Q) - K_{cp} F_{ak} (Q - Q_{cp}), \quad (11)$$

де $M_c, M_p, M_v, M_{va}, M_a$ – маса осклена, рослин, повітря в об'ємі теплиці і в акумуляторі та маса насадки, кг;

C_c , C_p , C_v , C_a – питома теплоємність огороження, рослин, повітря, насадки, Дж/(кг·°С).

Для отримання аналітичних залежностей зміни температури повітря теплиці з акумулятором тепла в часі, зробимо додаткові спрощення понижуючи порядок рівнянь.

Температуру світлопрозорого огороження можна визначити як середню між температурами зовнішнього і внутрішнього повітря

$$Q_c = 0.5(t_v + t_a), \quad (12)$$

де $t_v = (t_{v2} + t_{a2})0.5$ – середня температура повітря в об'ємі теплиці, °С.

Теплову ємність рослин можна віднести до теплоємності повітря, визначивши останню як еквівалентну теплоємність $M_v C_v = (M_v C_v + M_p C_p)$.

Теплову ємність насадки акумулятора також можна віднести до теплоємності повітря в акумуляторі $M_{ak}C_{ak} = (M_{va}C_v + M_aC_a)$.

Тоді рівняння (8) і (11) замінимо рівнянням (2) і (5) для стаціонарного процесу теплообміну.

З рівняння (2) з урахуванням (12) визначимо температуру рослин:

$$Q_p = a_0 \cdot I + a_1 \overline{t_v} + a_2 Q_c, \quad (13)$$

$$\text{де } a_0 = \frac{\tau \cdot 0.5}{\alpha_k \alpha_n}; a_1 = \frac{\alpha'_k}{\alpha'_k \alpha_n}; a_2 = \frac{\alpha_n}{\alpha_k \alpha_n}.$$

Підставляючи значення Q_p (13) в рівняння (9) після відповідних перетворень матимемо:

$$M_v C_v \frac{dt_{v2}}{d\tau} = P_{mp} M_1 t_{a2} M_1 t_{v2} + 0.5 a_2 t_g + a_0 \alpha_k F_k \cdot I; \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{де } M_1 &= G_v C_v - \alpha F & ; & & n_1 &= G_v C_v - \alpha F 0.5 & ; \\ \alpha F &= \alpha'_K F_p \alpha_k F_c (\alpha_1 + 0.5 a_2). \end{aligned}$$

З рівняння (5) визначимо температуру насадки акумулятора

$$Q = B_1 t_{a2} + B_2 t_{v2} + B_3 Q_{mn}, \quad (15)$$

$$\text{де } B_1 = \frac{0.5\alpha_k^a F_a}{\alpha_k^a F_a + K_{zp} F_{zp}}; B_2 = \frac{\alpha_k^a F_a}{\alpha_k^a F_a + K_{zp} F_{zp}}; B_3 = \frac{K_{zp} F_a}{\alpha_k^a F_a + K_{zp} F_{zp}}.$$

Підставляючи значення Q (15) в рівняння (10) після перетворень матимемо:

$$M'_{va}C'_p \frac{dt_{a2}}{d\tau} = M_2 t_{v2} - n_2 t_{a2} + \alpha_k^a F Q_{cp}, \quad (16)$$

де $M_2 = G_v C_v - 0.5 \alpha_k^a F_a + \alpha_k^a F_a B_2$; $n_2 = G_v C_v - 0.5 \alpha_k^a F_a - \alpha_k^a F_a B_1$.

Таким чином в спрощеному варіанті математичної моделі теплові процеси в теплиці і акумуляторі описано системою двох диференціальних рівнянь (14) і (16).

Введемо такі позначення:

$$T_1 = \frac{M_v C_v}{M_1}; \quad a_1 = \frac{n_1}{M_1}; \quad B_1 = \frac{P_{cp}}{M_1} + \frac{0.5 a_2 t_3}{M_1} + \frac{a_0 \alpha_k F_k}{M_1} \cdot 1; \quad T_2 = \frac{M_v C_v}{M_2};$$

$$a_1 = \frac{n_2}{M_2}; \quad B_2 = \frac{P_{cp}}{M_2} + \frac{\alpha_k^a a_2 t_3}{M_2} + \frac{a_0 \alpha_k F_k}{M_2} \cdot 1.$$

Перепишемо рівняння (14) і (16) у вигляді

$$\begin{cases} T_1 \frac{dt_{v2}}{d\tau} + a_1 t_{v2} - b_1 = t_{a2} \\ T_2 \frac{dt_{a2}}{d\tau} + a_2 t_{a2} - b_2 = t_{v2} \end{cases}. \quad (17)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (17) відносно t_{v2} і t_{a2} (далі t_v і t_a) будемо мати два незалежних рівняння:

$$A \frac{d^2 t_v}{d\tau^2} + B \frac{dt_v}{d\tau} + C t_v = D_1, \quad (18)$$

$$A \frac{d^2 t_a}{d\tau^2} + B \frac{dt_a}{d\tau} + C t_a = D_2. \quad (19)$$

Розв'язок неоднорідних рівнянь (18) і (19) за початкових умов: $\tau = 0$; $t_v = t_{v0}$; $t_a = t_{a0}$; $\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{dt_a}{d\tau}$; $I = const$; $t_g = const$, отримаємо у вигляді:

$$t_v(\tau) = \frac{t_{v0} C - D_1}{C r_1 - r_2} \cdot e^{r_1 \tau} r_2 e^{r_2 \tau} + \frac{D_1}{C}, \quad (20)$$

$$t_a(\tau) = \frac{t_{a0} C - D_2}{C r_1 - r_2} \cdot e^{r_1 \tau} r_2 e^{r_2 \tau} + \frac{D_2}{C}. \quad (21)$$

Розглянемо перехідні процеси теплиці і теплового акумулятора за нестационарних збурень: $I = I \cdot \cos \omega \tau$; $t_g = t_g \cdot \cos \omega \tau$. Прийнемо, в першому наближенні, що температура зовнішнього повітря і інтенсивність сонячної радіації змінюються в часі (добові зміни) за гармонічним законом:

$$t_g(\tau) = t_0 + t_a \cos \omega \tau, \quad I(\tau) = I_a \cos \omega \tau, \quad (22)$$

за $6 \leq \tau \leq 18$ та $I(\tau) = 0$ за $18 \leq \tau \leq 6$,

де t_0 – середньодобові значення зовнішньої температури, °C;

t_a – амплітуда коливань температури, °C;

I_a – максимальна сонячна радіація, Вт/м²;

$\omega - \pi/12$, частота коливань (добових) 1/год.

Перепишемо рівняння (19) у вигляді:

$$A \frac{d^2 t_v}{d\tau^2} + B \frac{dt_v}{d\tau} + Ct_v = K + P \cos \omega \tau, \quad (23)$$

$$\text{де} \quad K = B_2 - a_2(P_{sp} + K_g t_0) ; \quad P = a_2(K_g t \Delta - K_j) ; \quad P = \frac{P_{mp}}{M_1} ;$$

$$K_3 = \frac{0.5a_2}{M} ; \quad K_j = a_0 \alpha_k F_p.$$

Початкові умови: $\tau = 0$; $t_v = t_{v0}$; $\frac{dt_v}{d\tau} = 0$.

Розв'язок неоднорідного рівняння (23) отримаємо у вигляді

$$t_v = C_1 e^{r_1 \tau} + C_2 e^{r_2 \tau} + \frac{K}{C_1} + \frac{r}{a^2 + b^2} [\sin \omega \tau - a \cos \omega \tau], \quad (24)$$

де $a = A\omega^2 - c$; $b = B\omega$.

Сталі інтегрування C_1 і C_2 визначені з початкових умов представимо:

$$C_1 = \frac{r_2}{r_2 - r_1} \left(t_{v0} - \frac{k}{c} + \frac{p}{a^2 + b^2} \left(a - \frac{b\omega}{r_2} \right) \right),$$

$$C_2 = \frac{r_1}{r_1 - r_2} \left(t_{v0} - \frac{k}{c} + \frac{p}{a^2 + b^2} \left(a - \frac{b\omega}{r_1} \right) \right).$$

Висновки і перспективи. Запропоновано розгорнуту математичну модель динаміки радіаційно-теплого режиму культивационної споруди з акумулятором надлишкової теплоти.

Отримано спрощені аналітичні залежності для визначення добової зміни температури повітря в повітряному об'ємі споруди.

Список використаних джерел

1. Ильяхин, М. С. Теплоснабжение отраслей АПК / М. С. Ильяхин. – М. : Агропромиздат, 1990. – 175 с.
2. Корчемний, М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань: підручник. – Тернопіль: Підручники & посібники, 2001. – 974 с.
3. Теплицы и тепличные хозяйства : справочник / под ред. Г. Г. Шишко. – Киев : Урожай, 1993. – 421 с.
4. Вардияшвили, А. Б. Гидравлический и теплотехнический расчет подпочвенной аккумулирующей системы гелиотеплиц // Гелиотехника, – 1980. – № 6. С. 48–53.

References

1. Il'yukhin, M. S. (1990). Teplosnabzhenie otraslei APK [Heating agribusiness sectors]. Agropromizdat, 175.

2. Korchemnyi, M., Fedoreiko, V., Shcherban, V. (2001) Enerhozberezhennia v ahropromyslovomu kompleksi [Energy conservation in agriculture]. Ternopil: Pidruchnyky & posibnyky, 974.

3. Shishko, G. G. ed (1993). Teplitsy i teplichnye khozyaïstva [Greenhouses and greenhouse farming]. – Kiev: Urozhaï, 421.

4. Vardiyashvili, A. B. (1980). Gidravlicheskiï i teplotekhnicheskii raschet podpochvennoiï akkumuliruyushcheï sistemy gelioteplits [Hydraulic and Thermal calculation subsoil accumulating solar greenhouses Systems]. Geliotekhnika, 6, 48–53.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНОЙ И ОТРАБОТАННОЙ ТЕПЛОТЫ С ГРУНТОВЫМ АККУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Б. И. Котов, В. А. Грищенко

Аннотация. В статье обоснована целесообразность использования аккумуляторов тепла в сельскохозяйственных производственных сооружениях с целью уменьшения затрат энергии на обеспечение микроклимата за счет нагревания аккумулирующей насадки во время максимального поступления внешней теплоты и нагрева приточного воздуха при отсутствии внешних теплопоступлений. На примере теплицы с трубно-водяным отоплением, биологическими объектами и вентиляторами разработана математическая модель тепловых режимов с системой утилизации избыточной теплоты. Тепловой аккумулятор реализован в виде изолированного канала, заполненного насадкой, размещенной в середине грунтового массива под слоем субстрата, который имеет воздушное сообщение с шатром теплицы. Предложена развернутая математическая модель динамики радиационно-теплогового режима культивационного сооружения с аккумулятором избыточной теплоты, состоящая из уравнений теплового баланса при стационарном тепловом процессе для: прозрачного ограждения; растительного покрова; воздуха в объеме теплицы; воздуха в объеме насадки; насадки аккумулятора.

Учитывая замкнутость воздушного тракта системы теплица-аккумулятор-теплица, использованы условия сопряжения двух звеньев: температура на выходе теплицы равна температуре воздуха на входе в аккумулятор, а на выходе аккумулятора – температуре воздуха на входе в теплицу. Путем преобразований и упрощений полученных уравнений получены упрощенные аналитические зависимости для определения суточного изменения температуры воздуха в воздушном объеме сооружения.

Ключевые слова: математическая модель, тепловой режим, избыточная теплота, вентиляция, аккумулятор теплоты

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC MODES OF THE SYSTEM OF UTILIZATION OF EXCESS AND WASTE HEAT WITH GROUND ACCUMULATOR FOR AGRICULTURAL PRODUCTION FACILITIES

B. I. Kotov, V. O. Hryshchenko

Annotation. *The article substantiates the expediency of using heat accumulators in agricultural production facilities in order to reduce energy costs for providing a microclimate by heating the accumulating headpiece during the maximum intake of external heat and heating up the supply air in the absence of external heat input. On the example of a greenhouse with pipe-water heating, biological objects and fans, a mathematical model of thermal regimes with a system for utilizing excess heat has been developed. The thermal battery is realized in the form of an isolated channel filled with a nozzle placed in the middle of a soil massif under a layer of substrate that has air communication with a greenhouse tent. The proposed mathematical model is proposed for the dynamics of the radiation-thermal regime of cultivation structures with an excess heat accumulator consisting of the heat balance equations for a stationary thermal process for: transparent fencing; Vegetation cover; Air in the volume of the greenhouse; Air in the volume of the nozzle; Battery attachments. Taking into account the closedness of the air path of the greenhouse-battery-greenhouse system, the conjugation conditions of the two links are used: the temperature at the output of the greenhouse is equal to the air temperature at the entrance to the accumulator, and at the exit of the battery the air temperature at the entrance to the greenhouse. By means of transformations and simplifications of the equations obtained, simplified analytical dependencies were obtained to determine the diurnal change in air temperature in the air volume of the structure.*

Keywords: *mathematical model, thermal regime, excess heat, ventilation, accumulator of heat*