

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 631.2:631.171:65.011.56

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ЖИВЛЕННЯ НАГРІВАЧІВ БАГАТОРІВНЕВОЇ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛОВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ СПОРУД АПК, ЩО ПРАЦЮЄ В РЕЖИМІ "СПОЖИВАЧ-РЕГУЛЯТОР"

Романченко М. А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновані нові підходи щодо ідентифікації енергопотоків у нагрівальній системі (НС), що працює в режимі "споживач-регулятор" при структурно-функціональному керуванні нагріванням поверхні підлоги в технологічно активних зонах (ЗТА) виробничого приміщення АПК. Побудовані енергограми для керування нагрівальними елементами багаторівневої електротеплоакумуляційної системи опалювання (БЕТСО), при гібридній схемі живлення її нагрівників.

Постановка проблеми. Виробництво продукції тваринництва потребує значну кількість енергоносіїв для забезпечення заданих параметрів мікроклімату в виробничих спорудах [1]. Теплогенеруючі установки систем мікроклімату тваринницьких споруд, що створюють теплові режими за схемою "зверху-вниз", характеризуються низькою ефективністю енерговитрат, що врешті-решт негативно впливає на собівартість одиниці продукції.

Відомі системи забезпечення мікроклімату в спорудах і приміщеннях АПК характеризуються низькою технологічною надійністю та недовговічністю в експлуатації.

Тому наукові дослідження, спрямовані на пошук більш енергоефективних технологій та засобів їх реалізації щодо створення енергоефективних регульованих систем електроопалення є актуальними і такими, що мають велике народногосподарське значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз науково-дослідницьких розробок вітчизняних і зарубіжних авторів [1, 5], присвячених даній проблемі, підтверджують доцільність і актуальність розробок електротехнологічних комплексів, які б забезпечували задані стандарти теплового режиму мікроклімату з застосуванням електротеплоакумуляційних установок, які працюють за схемою обігріву "знизу-вверх".

Цей проект окрім можливості помітно поліпшити ефективність використання електроенергії в режимі автономного опалення дозволяє також ефективно функціонувати в режимі комбінованого використання наявного потенціалу потужностей традиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). При цьому слід зазначити, що мова йде не тільки про вдосконалення силових теплогенеруючих пристроїв, але й створення відповідних систем керування, які б забезпечували не тільки чітке дотримання заданих стандартів теплового режиму обігрівної підлоги і повітря ЗТА виробничих споруд АПК, але і оптимального регульованого акумулювання "надлишку" енергії того чи іншого джерела живлення. До того ж ці системи повинні надавати можливість більш ефективно використовувати нетрадиційні джерела, знижувати негативний вплив відходів виробничих процесів на довкілля й працювати в

режимі "споживач-регулятор".

Мета роботи - аналіз якісних показників термо-стабілізації обігрівної підлоги тваринницьких споруд з 3-ярусною системою БЕТСО з використанням гібридної схеми живлення її електронагрівників, що працюють в режимі "споживач-регулятор".

Основні матеріали досліджень. Обчислювальний експеримент проводився для БЕТСО з 9-шаровою прямокутною структурою. Кількість активних шарів, що містять спеціальні електронагрівачі трубчастого типу (СЕТ) можна задавати в інтерфейсній частині комп'ютерної моделі. Прийняті характеристики шарів, починаючи від дна траншеї до поверхні обігрівних смуг ЗТА, у відповідності з конструктивною схемою нагрівальної системи (НС) представлені в [1]. Ефективний коефіцієнт теплопровідності активних шарів l_i^{ef} залежить від кількості СЕТ, що обчислюється при комп'ютерному моделюванні. На границях активних шарів задані умови неідеального теплового контакту, у яких контактні термічні опори приймалися рівними $r_i^* = 0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{Wms}$.

Для моделювання процесів теплопередачі в НС обрана спрощена математична модель СЕТ у вигляді труб з прямокутним перетином $d \times d$. СЕТ розглядається лише як джерело енергії без врахування їх внутрішньої структури. Для заданого непарного числа нагрівачів СЕТ розподіл щільності потужності джерел в активних шарах задано у вигляді:

$$P_i(y) = e^{(m_i-1)/2} p_{i,j}, j \cdot f(y - y_{i,j}^c), \quad (1)$$

де $p_{i,j}$ - щільність потужності розподілених джерел у трубі СЕТ, $\text{Wm} / \text{m}^3 \text{s}$;

$f(y - y_{i,j}^c)$ - функція розподілу теплової потужності в області локалізації труби з координатою центра $y_{i,j}^c$, для моделювання прийнятий трапецієвидний розподіл потужності в області перетину СЕТ.

Моделювання теплових процесів в НС зведено до

рішення стаціонарної задачі теплопровідності:

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} = -\frac{1}{\lambda_i} p_i(y), \quad i=1,2,\dots,N; \quad (2)$$

$$0 \leq x \leq A, \quad 0 \leq y \leq B.$$

$$u_1(x, y) \Big|_{x=0} = t_0; \quad (3)$$

$$-\lambda_N \frac{\partial u_N}{\partial x} \Big|_{x=x_N} = \alpha \cdot (u_N - t_c) \Big|_{x=x_N} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0;$$

$$u_i + h \frac{\partial u_i}{\partial y} \Big|_{y=B} = T_{p,i}, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad (i=1,\dots,N); \quad (5)$$

$$\lambda_i \frac{\partial u_i}{\partial x} \Big|_{x=x_i} = \lambda_{i+1} \frac{\partial u_{i+1}}{\partial x} \Big|_{x=x_i};$$

$$u_i \Big|_{x=x_i} = \left(u_{i+1} - r_i^* \cdot \lambda_{i+1} \frac{\partial u_{i+1}}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_i},$$

де i – номер шару (відлік ведеться знизу нагору до поверхні підлоги);

$x_{i-1} \leq x \leq x_i$ – область локалізації i -го шару по глибині НС;

$d_i = x_i - x_{i-1}$ – товщина i -го шару;

$u_i = u_i(x, y), i=1,2,\dots,N$ – розподіл температури по частковій області – i -му шару;

$p_i = p_i(y)$ – задана функція щільності джерел тепла, розподілених по i -му шару, $Вт/м^3$;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару;

t_c – температура повітряного середовища на деякому видаленні від поверхні підлоги;

$T_{p,i}$ – температура ґрунту поза НС по її товщі (висоті), приймається постійною в межах кожного шару;

r_i^* – термічні контактні опори між шарами;

α – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні підлоги у повітряне середовище, приймається постійною величиною;

$h = \lambda^* \setminus \alpha_s$ – параметр теплопередачі із блоку НС у ґрунт через бічну стінку, приймається постійною величиною по всій глибині, при цьому λ^* – деяке усереднене значення коефіцієнта теплопровідності НС по її товщі, α_s – коефіцієнт тепловіддачі в умовах 3-го роду (5).

У реальних умовах опалюваного приміщення конвекційний теплообмін з поверхні підлоги має нелінійний характер, обумовлений рухливістю повітря (наприклад, через вентиляцію) і іншими факторами. Однак, для одержання аналітичних рішень сформульованої математичної моделі будемо вважати коефіцієнт тепловіддачі α постійною величиною, що у рамках теоретико-експериментального підходу може бути зкореговано при діагностиці теплового режиму НС у реальному масштабі часу.

Рішення задачі представимо у вигляді функціональної суперпозиції, що враховує всі види джерел теплоти – повітряного середовища над ЗТА, глибинного ґрунту й ґрунту за боковою стінкою НС, а також кожного окремого нагрівального елемента НС. Складовою частиною цього рішення повинно бути визначення температури поверхні підлоги $t_n = u(x_N - y)$ у вигляді функціонального ряду, що встановлює зв'язок між стандартами на нагрівання поверхні підлоги й потужністю енергопотоків у БЕТСО. Такий підхід дозволяє реалізувати структурно-функціональне керування енергопотоками й при цьому забезпечити високу оперативність і точність дотримування стандартів нагрівання підлоги в ЗТА.

Побудову аналітичного рішення граничної задачі теплопровідності (2) – (5), проведемо методом кінцевих інтегральних перетворень (КІП) [2]. Лінійність вихідної задачі дозволяє при побудові рішення застосувати принцип функціональної суперпозиції. Рішення означеної задачі для кожного шару представимо у вигляді суперпозиції двох функцій:

$$u_i(x, y) = v_{0,i}(x, y) + v_i(x, y) \equiv \equiv \left[T_{p,i} + v_{00,i}(x, y) \right] + v_i(x, y) \quad (6)$$

де $v_{0,i}(x, y)$ – рішення однорідного рівняння (2) із заданими ГУ (3) – (5);

$v_{00,i}(x, y)$ – рішення однорідного рівняння (2) зі змішаними граничними умовами (однорідними ГУ 3-го роду на бічній стінці й неоднорідними ГУ 1-го й 3-го роду відповідно на нижній і верхній поверхнях НС;

$v_i(x, y)$ – часткове рішення неоднорідного рівняння з однорідними граничними умовами.

Функція $v_{0,i}(x, y)$, визначає внесок зовнішніх впливів у температурне поле i -го шару, а $v_i(x, y)$ – внесок у температурне поле i -го шару тільки лише від набору зосереджених джерел у вигляді системи нагрівальних елементів при однорідних граничних умовах на частинах поверхні НС. Функції $v_{0,i}(x, y)$ й $v_i(x, y)$ для відповідних шарів крім граничних умов повинні бути підлеглі умовам сполучення на внутрішніх міжшарових границях, що відповідають вимогам узгодження температур і теплових потоків через них з урахуванням кінцевого термічного контактного опору між шарами. Явище погіршення термічного контакту

зовнішніх поверхонь нагрітих елементів (труб) із грунтом добре відомо в практиці, наприклад, нафтопроводів [3], і його необхідно враховувати.

Рішення задач теплопровідності в області зображень КПП для шуканих функцій $v_{0,i}(x, y)$ і $v_i(x, y)$ та $p_i(x, y) = p_i(y)$ у рівнянні (2) має вигляд:

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{00,i}(x, \mu) &= \frac{1}{B} \int_0^B K(y, \mu) \cdot v_{00,i}(x, y) dy; \\ \tilde{v}_i(x, \mu) &= \frac{1}{B} \int_0^B K(y, \mu) \cdot v_i(x, y) dy, \end{aligned} \quad (7)$$

де $K(y, \mu)$ - ядро КПП, загальне для всіх шарів, що є рішенням задачі Штурма - Ліувілля для області $0 \leq y \leq B$;

$$\begin{aligned} \frac{d^2 K}{d y^2} + \mu^2 K &= 0; \\ \left. \frac{\partial K}{\partial y} \right|_{y=0} &= 0; \quad \left(K + h \frac{\partial K}{\partial y} \right) \Big|_{y=B} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Рішенням (8) є функція $\cos(\mu \cdot y)$, де параметр μ є коренем рівняння:

$$\operatorname{ctg}(\mu_q B) = h \cdot \mu_q, \quad q = 1, 2, \dots$$

Таким чином, ядро перетворення має вигляд:

$$K(\mu_q y) = \cos(\mu_q y), \quad q = 1, 2, \dots \quad (9)$$

Рішення задачі (2) – (5) окремо для кожного шару представимо у вигляді $u_i(x, y) = v_{0,i}(x, y) + v_i(x, y)$,

де:

$$v_{0,i}(x, y) = T_{sp,i} + \sum_{q=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_q y)}{N_q} \cdot \tilde{v}_{00,i}(x, \mu_q); \quad (10)$$

$$N_q = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{(h/B)}{1 + (\mu_q h)^2} \right] \quad (11)$$

Визначення функцій $\tilde{v}_i(x, \mu_q)$ і $\tilde{v}_{00,i}(x, \mu_q)$ в області зображень зводиться до інтегрування звичайних диференціальних рівнянь для кожного шару ($i = 1, 2, \dots, N$):

$$\frac{d^2 \tilde{v}_i}{d x^2} + \mu_q^2 \tilde{v}_i = -\frac{\cos(\mu_q B)}{h \cdot B} \cdot T_{sp,i},$$

$$\frac{d^2 \tilde{v}_{00,i}}{d x^2} + \mu_q^2 \tilde{v}_{00,i} = 0. \quad (12)$$

Рішення відповідних задач для кожного шару в області зображень одержимо у вигляді комбінацій гіперболічних функцій:

$$\tilde{v}_i(x, \mu_q) = \frac{W_{i,q}}{\mu_q^2} + a_{i,q} \cdot \operatorname{ch}[\mu_q(x-x_i)] + b_{i,q} \cdot \operatorname{sh}[\mu_q(x-x_i)]; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{00,i}(x, \mu_q) &= c_{i,q} \cdot \operatorname{ch}[\mu_q(x-x_i)] + \\ &+ d_{i,q} \cdot \operatorname{sh}[\mu_q(x-x_i)]; \end{aligned} \quad (14)$$

$$W_{i,q} = -\frac{1}{\lambda_i B} \int_0^B K(y, \mu_q) \cdot p_i(y) dy \quad (15)$$

– інтегральне перетворення функції розподілу джерел у смузі. Зауважимо, що такий підхід дозволяє задавати в шарах довільний розподіл джерел як безперервний, так і дискретний, потрібно лише, щоб інтеграл (15) існував.

Числові значення $2N$ коефіцієнтів $a_{i,q}, b_{i,q}$ ($i = 1, 2, \dots, N$) для кожного значення індексу q визначаються з рішення системи лінійних неоднорідних рівнянь порядку $2N$ такого виду:

$$a_{1,q} \operatorname{ch}(\mu_q h_1) - b_{1,q} \operatorname{sh}(\mu_q h_1) = -\frac{W_{1,q}}{\mu_q^2}; \quad (16)$$

$$a_{N,q} + b_{1,q} \frac{\lambda_N}{\alpha} = -\frac{W_{N,q}}{\mu_q^2};$$

$$a_{i,q} = \frac{W_{i+1,q} - W_{i,q}}{\mu_q^2} + a_{i+1,q} [\operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1}) +$$

$$+ \mu_q r_i^* \lambda_{i+1} \operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1})] -$$

$$- b_{i+1,q} [\operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1}) + \mu_q r_i^* \lambda_{i+1} \operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1})];$$

$$b_{i,q} = \frac{\lambda_{i+1}}{\lambda_i} [-a_{i+1,q} \operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1}) +$$

$$+ b_{i+1,q} \operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1})], \quad i = 1, 2, \dots, N-1$$

яка формується при виконанні умов сполучення на міжшарових границях з урахуванням термічних контактних опорів r_i^* (5) і ГУ на граничних поверхнях $x = 0, x = x_N$. В розглянутій задачі вирішувались системи з 22 -х лінійних неоднорідних рівнянь.

Числові значення $2N$ коефіцієнтів $c_{i,q}, d_{i,q}$ ($i = 1, 2, \dots, N$) для кожного значення індексу

q визначаються з рішення системи лінійних неоднорідних рівнянь порядку $2N$ аналогічного виду, де замість спектральних коефіцієнтів $W_{i,q} | \mu_q^2$ у рівняння входять спектральні коефіцієнти зовнішніх температур $t_0, t_c, T_{ep,i}$.

Визначені в такий спосіб набори функцій $\tilde{v}_i(x, \mu_q)$ і $\tilde{v}_{00,i}(x, \mu_q)$ дозволяють за допомогою перетворень (10), (11) одержати рішення поставленої задачі. Кількість членів в рядах (10) і (11) установлюється шляхом обчислювального експерименту по збіжності результату (для розглянутої конфігурації кількість членів відповідних рядів дорівнює 50..80).

Висновки. Розв'язання задачі теплопровідності дає можливість отримати функціональну залежність температури поверхні підлоги $t_n = u(x_N, y)$ (як однієї з складових частин рішення) від наявних теплоти повітряного середовища над ЗТА, глибинного ґрунту й ґрунту за бічною стінкою БЕТСО, а також потужності кожного окремого нагрівального елемента.

Встановлено зв'язок між стандартами на нагрівання поверхні підлоги й потужністю енергопотоків у БЕТСО, що дозволяє реалізувати їх структурно-функціональне керування. Це дозволить забезпечити високу оперативність і точність стандартів нагрівання підлоги в ЗТА, нагрівачі якої працюють в режимі "споживачів-регуляторів", забезпечуючи рівномірність нагріву підлоги $\pm 0,5^\circ$.

Список використаних джерел

1. Романченко М. А. Энергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами / М. А. Романченко, Д. І. Мазоренко, А. П. Слесаренко., О. А. Сорока // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – №2. – С. 82–92.
2. Слесаренко А. П. Моделирование стационарной теплопередачи в тривимірній багатощаровій структурі з трубчастими нагрівачами для системи оптимального керування тепловим режимом приміщення / А. П. Слесаренко, М. А. Романченко, О. С. Сорока // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. – 2009. – Вып. 149. – С. 137-146.
3. Тугунов П. Выбор коэффициентов теплопроводности грунтов при тепловом расчете "горячих" трубопроводов / П. Тугунов // Нефть. хоз-во. – 1969. – №11. – С. 6–11.
4. Романченко М. А. Математическая модель стационарного режима многослойного обогреваемого пола / Н. А. Романченко, А. П. Слесаренко, А. С. Сорока // Вісник ХДТУСГ ім. Петра Василенка "Проблеми енергозабезпеч. та енергозбереж. в АПК України". – 2004. – Вып. 27. – Т. 1 – С. 245–250.
5. Романченко М. А. Структурно-функціональне керування вхідними енергопотоків багаторівневої

електротеплоаккумуляційної системи обігріву підлог і повітря в спорудах АПК / М. А. Романченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – №1. – С. 31–41.

6. Слесаренко А. П. Оптимальне керування тепловими режимами мікроклімату в технологічно активних зонах виробничих споруд / А. П. Слесаренко, М. А. Романченко, О. С. Сорока // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. – 2009. – Вып. 147. – С. 113-120.

Аннотация

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТОКАМИ ПИТАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЕЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ АПК, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ "ПОТРЕБИТЕЛЬ-РЕГУЛЯТОР"

Романченко Н. А.

Предложены новые методы идентификации энергопотоков в нагревательной системе НС, работающей в режиме "потребитель-регулятор" при структурно-функциональном управлении нагревателями поверхности пола в технологически активных зонах (ЗТА) производственных помещений АПК. Построенные энергограммы для управления нагревательными элементами многоуровневой электротеплоаккумуляционной системы обогрева, при гибридной схеме питания её нагревательных элементов.

Abstract

IDENTIFICATION OF DATABASES FOR STRUCTURALLY FUNCTIONAL CONTROL OF THE MULTILEVEL ELECTRICALLY HEATING AND ACCUMULATING SYSTEM OF TECHNOLOGICALLY ACTIVE ZONES

N. Romanchenko

The new opportunities for structurally functional control of energy flow in heating system are realized on the basis of the analytical solving of a heating task for multilevel 2-dimension structure with the located tubular sources by a method of finite integral transformation and principle of a functional superposition of heating sources.

New methods of identification of energy flow in the heating system of the National Assembly, pa-boat in the "consumer control" in the structural-functional management of on-grevatelyami the floor in technologically active areas (sin a) of the premises, industrial agriculture. Built energogrammy for management of Pobudovani energogrammi control heated successive elements layered electric thermal storage heating system, with flexible power supply scheme Ridny its heating elements.