

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРООБІГРІВНОЇ ПІДЛОГИ

Романченко М. А, к.т.н., Тіщенко Л.М. д.т.н., Хвесик А.Є.
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенка)

Приведено результати теоретичних досліджень щодо оптимізації режимів керування енергопотоками живлення нагрівників багатоярусної електротеплоаккумуляційної системи опалення гріючою підлогою виробничих тваринницьких споруд.

Постановка проблеми. Побудова електротехнологічних комплексів які б забезпечували стандарти теплового режиму мікроклімату виробничих споруд пов'язано з проблемою створення і підтримування оптимально стимулюючого впливу теплового режиму мікроклімату на біооб'єкти протягом виробничого циклу в технологічно активних зонах (ЗТА) з урахуванням внутрішніх факторів, виду і типу тварин або птахів та зовнішніх метеорологічних умов.

Ефективне вирішення означеної проблеми може бути за рахунок використання запропонованої багаторівневої електротеплоаккумуляційної системи опалення (БЕТСО). Застосування такої системи надає можливість не тільки помітно поліпшити ефективність використання електроенергії в режимі автономного опалення, але і дозволяє ефективно функціонувати в режимі комбінованого використання наявного потенціалу потужностей традиційних і нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ). БЕТСО не тільки забезпечує нормативні теплові режими обігрівної підлоги і повітря в ЗТА виробничої споруди АПК, але й забезпечує регульоване акумулювання «надлишку» енергії того чи іншого джерела, працюючи як «споживач-регулятор».

Вивченню питань застосування автоматизованих електротеплоаккумуляційних систем для забезпечення стандартів теплових параметрів мікроклімату виробничих споруд присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних вчених, серед них В. Н. Богословський, А. І. Шкловер, А. А. Долинський, П. Г. Круковський, А. В. Ликов, Ю. А. Табунщиков, Б. Х. Драганов, Д. І. Розинський, А. Г. Гіндоян [7 - 9]. Розроблені ними методи розрахунку теплофізичних і енергетичних характеристик, а також конструктивні різновиди однорівневих систем електроопалення дозволяють більш ефективно використовувати енергетичні, трудові, інвестиційні і інші ресурси. При цьому слід зазначити, що методологія керування перерозподілом потужностей вхідних енергопотоків традиційних джерел енергії і НВДЕ, як між активними ярусами БЕТСО так і між окремими нагрівальними елементами кожного активного ярусу в науково-технічній літературі не розглядалася [10 - 16].

Мета статті. Підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва за рахунок зниження питомих енерговитрат, більш широкого використання енергії традиційних та НВД, створення для тварин, які утримуються в цих виробничих приміщеннях умов, гомеостазу протягом виробничого циклу, зниження негативного впливу відходів виробництва продукції тваринництва на довкілля.

Основні матеріали дослідження. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування спеціального електротехнологічного комплексу на базі багаторівневої електротеплоакумуляційної системи опалення гріючою підлогою, до складу якого входить низка систем, що відпрацьовують обчислювально логічні алгоритми і програми, щодо визначення структурно функціональної суперпозиції отриманих імпиричних формул, які моделюють функціональні зв'язки між стандартами на нагрів визначених ділянок обігрівної підлоги та енергокомпонентами, що забезпечують мінімально припустимі відхилення термостабілізації від заданих рівнів[17, 18].

Прогнозування теплового стану, контроль та регульований обігрів приміщень об'єктів АПК з БЕТСО має бути ефективно реалізований при одночасному використанні традиційних джерел енергії і НВДЕ. Конструкція БЕТСО, яка уявляє собою прямокутну N-шарову обмежену по ширині область з пасивними й активними (з підводом енергії) шарами представлена на рис. 1. Виходячи з певних фізичних обґрунтувань щодо характеру теплообміну на граничних поверхнях, розроблена математична модель теплових процесів в такій структурі з дискретним підводом енергопотоків.

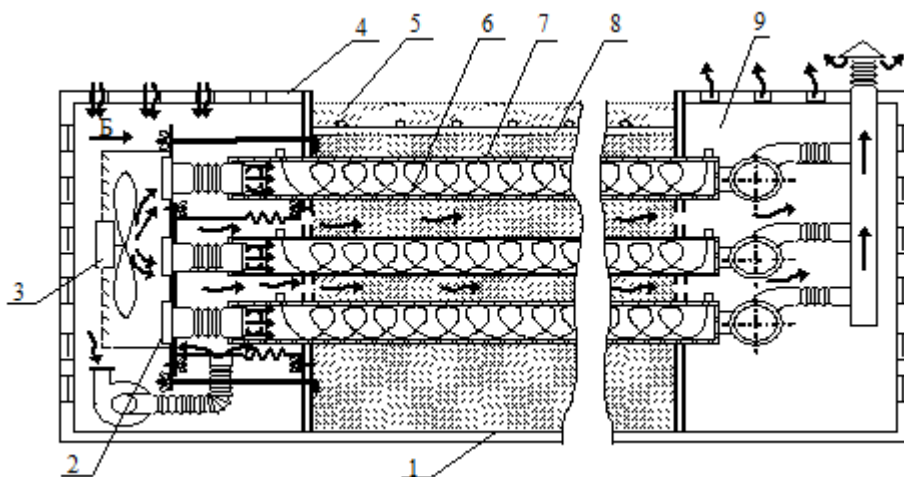


Рисунок 1 - Схематичний вигляд конструкції комбінованого уніфікованого трьохярусного пристрою для обігріву підлоги: 1. Теплоізоляційна подушка. 2. Спеціальні трубочасті електронагрівники. 3. Вентилятор низького тиску. 4. Вхідний монтажний колодезь. 5. Поверхня підлоги. 6. Нагрівальний елемент. 7. Трубочастий електронагрівник 8. Екранна сітка. 9. Вихідний монтажний колодезь.

Дослідження режимів перерозподілу енергопотоків розглянемо на моделі БЕТСО (рис. 1) з трьома ярусами спеціальних трубочастих електронагрівників (СЕТ), розміщених по глибині траншеї в багатошаровій структурі теплоакумуля-

лювального наповнювача, при живленні їх від традиційного джерела – електромережі (P_M) і від будь-якого НВДЕ (P_H). Аналіз такої нагрівальної системи досить детально представлений в [17], де встановлені математично точні лінійні співвідношення між температурними характеристиками системи й потужнісними параметрами енергопотоків в нагрівальній системі (НС). За рахунок цього одержані точні обернені співвідношення, які дозволяють встановити для заданої шаруватої активної структури залежності потрібного розподілу потужностей від певного набору температурних параметрів.

Це дозволяє визначити такі перерозподіли живлення по ярусах НС, які забезпечують нормативно задані температурні режими поверхні підлоги в ЗТА виробничої споруди. Відповідно до рішення задачі про теплопередачу в багатшаровій одновимірній структурі БЕТСО з розподіленими джерелами енергії, температура нагріву поверхні підлоги t_n є лінійною функцією потужностей, розподілених по ярусах, і для 3-ярусної моделі БЕТСО визначається формулою:

$$t_n = t^* + \sum_{j=1}^3 k_j P_j, \quad (1)$$

де P_j – значення потужностей енергопотоків на входи нагрівальних елементів 1-го, 2-го й 3-го ярусів БЕТСО, так що сумарна їх потужність дорівнює потужності всіх наявних джерел $P = P_M + P_H$, $\sum_{j=1}^3 P_j = P$;

$t^* = a_0 t_0 + a_c t_c$ – приведенне значення температури зовнішнього середовища – в даній моделі визначається температурою повітря приміщення t_c в безпосередній близькості від поверхні підлоги і температурою ґрунту t_0 на глибині дна траншеї БЕТСО; треба зазначити, що температура t_c визначається багатьма параметрами приміщення (залежить від огорожувальних конструкцій, вентиляції, заповнення тваринами, працюючим обладнанням, тощо), але в задачі, що розглядається, є вільним параметром задачі;

a_0, a_c, k_j – параметри, які визначаються геометричними розмірами обігрівальних секцій БЕТСО, а саме товщиною шарів структури й їх теплофізичними характеристиками.

Рівняння (1) відображає принцип суперпозиції щодо внутрішніх джерел енергії й зовнішнього оточення БЕТСО як наслідок лінійності прийнятої моделі. Наявність у системі 2-го й 3-го ярусів електронагрівників (по глибині траншеї) дозволяє за рахунок перерозподілу підведеної енергії не тільки реалізувати забезпечення заданого теплового режиму поверхні підлоги протягом виробничого циклу, але й здійснювати економію енергоресурсів за рахунок регульованого акумулювання частини енергії у внутрішніх шарах НС.

В процесі дослідження було розглянуто декілька варіантів розподілу вхідних енергопотоків в БЕТСО, але вибір, з позиції найбільш ефективного режиму енергозбереження, припав на варіант, коли ближній до поверхні підлоги ярус блоку електронагрівників НС повинен першим одержувати технологічно необхідний рівень споживаної енергії, а після цього наявний надлишок пере-

розподіляється на наступний нижній ярус. В такий спосіб, залежно від функціонального призначення виробничої споруди, відповідно для кожного технологічно заданого (нормативного) значення температури на поверхні його підлоги $t_n = t_n^H$ та з урахуванням зовнішніх умов (t_0, t_c, α) і величини наявного енергоресурсу P , оптимальний розподіл енергії по трьох ярусах нагрівників P_1, P_2, P_3 може бути виконано запропонованим методом. Слід також зауважити, що в разі зростання величини енергії, яка буде надходити від НВДЕ, споживання енергії від основного джерела (електромережі) передбачається зменшувати. При зміні величини P система структурно-функціонального керування передбачає такий перерозподіл енергопотоків по ярусах, щоб не порушити термостабілізацію теплового режиму t_n (у певних межах) на поверхні підлоги.

Така задача уявляє собою обернену задачу теплопровідності, рішення якої полягає у визначенні кожного енергокомпонента з загального енергоресурсу $P = \{P_1, P_2, P_3\}$, що підводиться до блоків нагрівальних елементів НС. Сукупність рішень цієї задачі для різних значень зовнішніх параметрів (t_0, t_c, α) й технологічно обумовленого ряду нормативних значень температур поверхні підлоги t_n^H будемо називати базою даних для побудови алгоритму структурно-функціонального керування вхідними енергопотокami БЕТСО. При цьому відомо, що залежно від пори року температура ґрунту на рівні дна траншеї БЕТСО (0,8..1,5 м) може знаходитися в інтервалі $4^0 C \leq t_0 \leq 10^0 C$. Температура повітряного середовища над поверхнею підлоги t_c може прогнозуватись або визначатися в відповідності з методикою, яка була запропонована при розв'язанні відповідної задачі[1]. В цій роботі проведений теоретико-експериментальний аналіз руху потоків конвективного теплообміну в приміщенні для утримання тварин і з урахуванням відомого досвіду експлуатації таких споруд науково обґрунтовано вибір інтервалів температурних перепадів між повітряним середовищем у ЗТА й поверхнею підлоги БЕТСО. Верхня межа припустимого інтервалу відхилень температури є такою $t_c = t_n - 6^0 C .. t_n - 3^0 C$. Нижня межа припустимого інтервалу відхилень температури $t_c = t_n - 4^0 C .. t_n - 1^0 C$. При цьому нормативні значення температури підлоги t_n^H , що відповідають зооветеринарним вимогам при утриманні різних видів і вікових груп тварин, знаходиться в інтервалі значень $14^0 C \leq t_n \leq 32^0 C$.

Очевидно, що при заданому наборі зовнішніх умов t_0, t_c, α і величині наявного енергоресурсу P кожному нормативному значенню температури поверхні підлоги t_n^H повинен відповідати конкретний розподіл потужностей енергокомпонент $P = \{P_1, P_2, P_3\}$. Нехай P_{10} – потужність джерел енергії (питома потужність, $Вт/м^2$), що підводиться до нагрівальних елементів 1-го ярусу і забезпечує на поверхні підлоги задану нормативну температуру $t_n = t_n^H$. Потужності джерел енергії, що підводяться до елементів 2-го й 3-го ярусів і забезпечують на поверхні підлоги таку ж задану температуру t_n^H , позначимо відповідно P_{20} ($Вт/м^2$) і P_{30} ($Вт/м^2$). Маючи на увазі, що 2-й ярус нагрівників розташований

нижче першого, а третій нижче другого, тобто є більш віддаленим від поверхні підлоги, технологічно дозволені рівні їх споживаних потужностей задовольняють співвідношенню $P_{10} < P_{20} < P_{30}$. Останнє свідчить про те, що нагрівання підлоги до заданої температури з нижніх ярусів вимагає більших витрат потужності енергопотоків, при цьому більш значна частина енергії буде акумулюватись в масиві БЕТСО, а також розсіюватись в ґрунті через недосконалість теплоізоляції траншеї. Для даної нагрівальної структури при нормативно заданому значенні комфортної температури t_n^H величина P_{10} є мінімальним рівнем потужності, необхідним для забезпечення заданого технологічного режиму, а величина P_{30} - максимальним рівнем потужності, перевищення якого приведе до перегріву поверхні підлоги.

З (1) витікає, що величини P_{j0} ($j=1, 2, 3$) однозначно визначаються параметрами БЕТСО (для заданих зовнішніх умов): $P_{j0} = k_j^{-1}(t_n - t^*)$.

При зростанні загального енергопотоків, що надходить у БЕТСО, наприклад за рахунок НВДЕ, і перевищенні його потужності P над мінімальним рівнем P_{10} ($P > P_{10}$), для збереження режиму обігріву підлоги $t_n = t_n^H$ енергопотік повинен бути перерозподілений між нагрівальними елементами 1-го й 2-го ярусів. Тобто частину потужності можна направити в нижній ярус для акумулювання енергії в масиві структури БЕТСО. Якщо потужність P на вході системи перевищує рівень P_{20} ($P > P_{20}$), перерозподіл частини енергії буде здійснено на блок нагрівальних елементів 3-го ярусу.

Нехай $\Delta P_1 = P_{20} - P_{10}$, $\Delta P_2 = P_{30} - P_{20}$ тоді, якщо надлишок потужності джерел $\Delta P = P - P_{10}$ не перевищує величини ΔP_1 , потік енергії у НС необхідно перерозподілити між нагрівальними блоками 1-го й 2-го ярусів. Відповідні потужності P_{11}, P_{12} визначаються з рівняння (2) при $P_3 = 0$ й умови, що весь енергопотік потужністю P , розподіляється між блоками нагрівальних елементів БЕТСО без втрат:

$$k_1 P_{11} + k_2 P_{12} = t_n - t^*; P_{11} + P_{12} = P. \quad (2)$$

Рішення системи лінійних неоднорідних рівнянь має вигляд:

$$P_{11} = (k_1 - k_2)^{-1}(t_n - t^* - k_2 P), P_{12} = -(k_1 - k_2)^{-1}(t_n - t^* - k_1 P). \quad (3)$$

Якщо потужність джерел P перевищує величину P_{20} , але її запас $\Delta P = P - P_{20}$ не перевищує величини ΔP_2 , енергетичний потік необхідно перерозподіляти між нагрівальними блоками 2-го й 3-го ярусів. Відповідні рівні потужностей P_{22}, P_{23} визначаються з рівняння (1) при $P_1 = 0$ й умови, що весь енергопотік потужністю P , що надходить у НС, розподіляється по блоках ярусів НС без втрат:

$$k_2 P_{22} + k_3 P_{23} = t_n - t^*; P_{22} + P_{23} = P. \quad (4)$$

Із системи лінійних неоднорідних рівнянь (4) визначаємо:

$$P_{22} = (k_2 - k_3)^{-1}(t_n - t^* - k_3 P), \quad P_{23} = -(k_2 - k_3)^{-1}(t_n - t^* - k_2 P). \quad (5)$$

Якщо вхідна потужність енергопотоків перевищує 3-й граничний рівень $P > P_{30}$, то подачу енергії в БЕТСО необхідно обмежити на рівні $P_3 = P_{30}$, а надлишки потужності $\Delta P = P - P_{30}$ використати як додатковий резерв енергії, що може бути ефективно використаний поза системою опалення для інших технологічних потреб даного господарства.

Завершуючи аналіз теоретичних досліджень розподілу енергопотоків в БЕТСО слід зазначити, що ступінь лінійності цієї обігрівної системи й відповідність її лінійній моделі може бути встановлена експериментально. Нелінійність же реальної системи в певній мірі буде зумовлена залежністю коефіцієнта тепловіддачі α від температури середовища, а також електричного опору нагрівальних елементів трубчастих нагрівників від температури їхнього нагрівання. Зважаючи на зроблені припущення стосовно того, що реальна система в заданому діапазоні температур близька до лінійної, і експериментально визначити величини граничних рівнів потужностей P_{j0} ($j=1, 2, 3$), то можна запропонувати алгоритм перерозподілу потужностей в реальній БЕТСО, еквівалентний розглянутому. Дійсно, необхідні для підтримки потрібної нормативної температури підлоги t_n^H компоненти вхідних енергопотоків в процесі перерозподілу можуть бути виражені лише через параметри P_{j0} :

$$P_{11} = [(1 - t^*/t_n)P_{20} - P] \cdot (P_{10}/\Delta P_1), \quad P_{12} = -[(1 - t^*/t_n)P_{10} - P] \cdot (P_{20}/\Delta P_1);$$

$$P_{22} = [(1 - t^*/t_n)P_{30} - P] \cdot (P_{20}/\Delta P_2), \quad P_{23} = -[(1 - t^*/t_n)P_{20} - P] \cdot (P_{30}/\Delta P_2).$$

У табл. 1 представлений перелік режимів структурно-функціонального керування й енергетичні співвідношення для відповідних режимів нагрівання БЕТСО.

Рівняння руху повітряної маси в області між поверхнею підлоги й стельовим перекриттям має такий вид:

$$v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

де $\vec{v} = \{v_x, v_y, v_z\}$ – швидкість повітря, $T = T(x, y, z)$ – температура повітря;

вісь декартової системи координат ОХ орієнтована по висоті приміщення з початком на поверхні підлоги, вісь ОУ – у напрямку поперек стійлової смуги, вісь ОZ – уздовж стійлової смуги.

Таблиця 1- Режими структурно-функціонального керування вхідними енергопотоків БЕТСО

№ режиму	Співвідношення потужностей енергоресурсу й граничних потужностей БЕТУ ОС	Розподіл енергопотоків по ярусах БЕТУ ОС

I	$P = P_{10}$	$P = \{P_{10}, 0, 0\}$
II	$P_{10} < P < P_{20}$	$P = \{k_1 P_{11}, k_2 P_{12}, 0\}$
III	$P = P_{20}$	$P = \{0, P_{20}, 0\}$
IV	$P_{20} < P < P_{30}$	$P = \{0, k_2 P_{22}, k_3 P_{23}\}$
V	$P = P_{30}$	$P = \{0, 0, P_{30}\}$
VI	$P > P_{30}$	$P = \{0, 0, P_{30}\}$

Відшукування рішення такого рівняння з урахуванням реальних граничних умов являє собою досить складну задачу. Можна її спростити, якщо розбити всю поверхню гріючої підлоги на ряд обмежених регіонів і припустити, що над кожним з таких регіонів має місце переважно теплопередача в напрямку осі OX і деяке збурювання в поперечних напрямках. При цьому представляється припустимим розташувати датчики уздовж смуги станків в один ряд. Таким чином, при аналізі теплового стану можна обмежитися лише однією поперечною координатою уздовж осі OZ, що дозволяє штучно понизити ступінь рівняння.

Заміна двовимірної задачі низкою одномірних для ряду перетинів $z=z_i$ з відповідними невизначеними функціями $F_i(x)$ – аналогами фіктивних джерел. Над кожною зоною z_i , i – номер, наприклад, станку із тваринами, представимо рівняння в усіченому виді [6, 18]

$$v_x \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + F_i(x), \quad (7)$$

де $F_i(x)$ – функція деяких фіктивних джерел, які можна було б теоретично визначити, вирішивши двовимірну граничну задачу для рівняння із відповідними v_x й v_z і граничними умовами, і з рішення цього завдання визначити функції

$$F_i(x) = a \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial T_i}{\partial z}.$$

Рішенням рівняння (2.8) є функції

$$T_i(x) = T_{0,i}(x) + T_{1,i}(x),$$

де $T_{0,i}(x)$ – рішення рівняння (7) з нульовою правою частиною і реальними граничними умовами на поверхні підлоги й стелі, тобто граничної задачі

$$v_x \frac{\partial T_{0,i}}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T_{0,i}}{\partial x^2}, \quad (8)$$

$T_{0,i}|_{x=0} = T_{i,n}$ – на поверхні підлоги, $T_{0,i}|_{x=H} = T_{i,mn}$ – на стельовому перекритті.

$T_{1,i}(x)$ – часткове рішення рівняння (2.8) з однорідними граничними умовами на поверхні підлоги й поверхні стельового перекриття:

$$T_{1,i}|_{x=0} = 0, \quad T_{1,i}|_{x=H} = 0.$$

Ці рішення можна знайти з використанням експериментальних даних контрольно-вимірювальної системи (КВС) із системою датчиків, підвішених до стелі рис. 2.

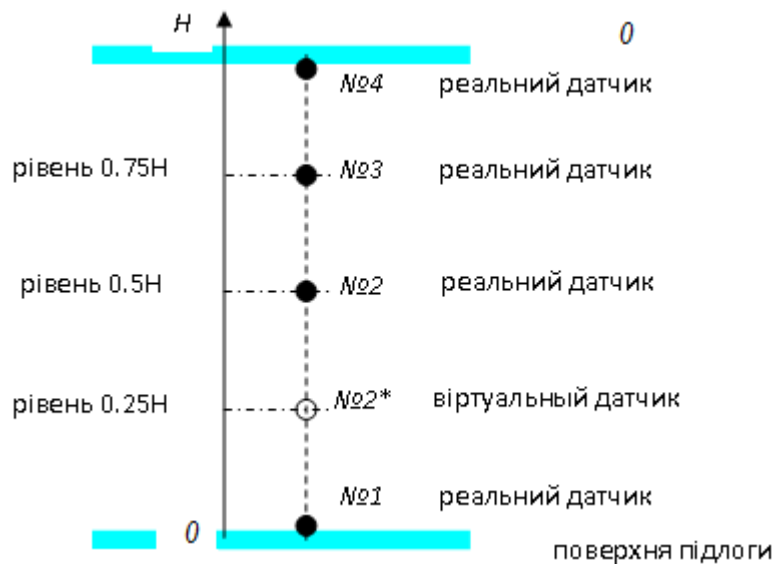


Рисунок 2 - Номенклатура датчиків в повітряному проміжку над ЗТА

Виходячи з аналізу конвективно-радіаційних процесів в опалюваних приміщеннях і даних попереднього аналізу приймається припущення, що в інтервалі $0.25 < x < 0.75$ між поверхнею підлоги й стелею приміщення температура змінюється за лінійним законом. При цьому кут нахилу цієї лінійної функції визначається показаннями датчиків №2 й №3. Тоді, на основі цієї гіпотези, має місце таке значення температури в області розташування датчика №2*: $T_{2*} = 2T_2 - T_3$. Така схема розташування датчиків і введення віртуального датчика важливі тим, що повітряна область над поверхнею підлоги на висоті $H/2$ (для конкретних випадків величина нижче 1.5 м) буде вільна від яких би те не було елементів КВС, не зменшуючи точності діагностики й прогнозування теплових режимів над регіонами підлоги, що обігріває.

За допомогою КВС ми можемо одержати експериментальні дані на датчиках №1, №2, №3, №4 для певної кількості регіонів і тим самим у кожен момент часу враховувати будь-які зовнішні впливи (зміни погодних умов поза приміщенням, переміщення тварин, включення або вимикання установок місцевого обігріву, включення або відключення вентиляції й т. п.). Цей масив даних слід постійно (із заданою періодичністю) вносити в математичну модель теплового режиму повітряного шару приміщення.

Отриману інформацію можна використати при числовому аналізі температурного розподілу в приміщенні на основі рішення загальної тривимірної математичної моделі, однак одержувані таким шляхом обсяги чисельної дискретної інформації дуже великі, так само як і вимоги до обчислювальних характеристик комп'ютерів. Довелося б стикнутися із принциповими труднощами обчислювального характеру при переробці й використанні інформації для розв'язання серії задач керування тепловими режимами приміщення. У цьому випадку найбільш прийнятний підхід полягає в розпаралелюванні дискретної вихідної інформації від датчиків КВС по диференційованих регіонах, що приводить до розпаралелювання рішення загальної тривимірної математичної моделі на рішення груп однотипних одномірних задач відповідно до кількості ре-

гіонів без порушення адекватності одержуваною такою заміною моделі теплового процесу реального тривимірного об'єкта.

Висновки. Результати проведеного аналізу показують, що підтримку технологічно заданої температури поверхні підлоги в ЗТА при наявності змінних в часі енергоресурсів можна здійснювати за допомогою структурно-функціонального керування перерозподілом споживаної потужності на вході системи трубчастих електронагрівників. При цьому певна частина наявної енергії буде розігрівати нижні шари БЕТСО, підсилюючи її теплоакумулявальні функції в регульованому діапазоні потужностей.

Запропонований теоретико-експериментальний підхід дозволить оперативно в будь-який момент часу при відтворенні просторової температурної картини в ЗТА вносити в хід обчислень регіональну поточну інформацію про реальний стан теплового процесу при зміні неконтрольованих зовнішніх умов. Наближені аналітичні рішення відповідних задач для кожного з регіонів дають можливість у компактній формі представити поточну інформацію про стан теплового режиму в межах кожного з регіонів, що відкриває можливість реалізувати систему керування тепловими процесами приміщення на мікропроцесорній базі з використанням універсальних засобів.

Список літератури

1. Баженов И. Г., Слоновский Н. В., Овчаренко В. А. Электрообогреваемые полы в свинарниках-маточниках / Сб. научн. тр. МИИСП «Электрооборудов. сельскохоз. комплексов». – М.: Мин. с/х СССР, 1979. – С. 16 - 21.
2. Мотес, Э. Микроклимат животноводческих помещений [Текст] / Мотес Э. – М.: Колос, 1976. – 190 с.
3. Круковский, П.Г. Тепловые режимы полов различных конструкций с электрокабельными системами обогрева [Текст] / П.Г., Тимченко Н.П., Судак О.Ю., Розинский Д.И. // Промышл. теплотехн, 2002. – Т. 24, №1. – С. 10-16.
4. Лозинський, Д.Й. Електрична кабельна система опалення в теплоаккумуляційному режимі (ЕКСО-ТА) житлових сільськогосподарських будинків [Текст] / Лозинський Д.Й. // Будівництво України, 2002, №5. – С. 32-35.
5. Драганов Б. Х., Есин В. В., Зуев В. П. Применение теплоты в сельском хозяйстве / Киев: Вища школа 1983. – С. 236.
6. Романченко Н. А., Слесаренко А. П., Сорока А. С. Математическая модель стационарного режима многослойного обогреваемого пола // Вісн. ХДТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпеч. та енергозбереж. в АПК України». – Вип. 27. – Т. 1. – Харків, 2004. – С. 245-250
7. Пат. 63667А UA, МКІ А 01 К 1/015. Установка для забезпечення теплового режиму виробничих приміщень і споруд / Романченко М.А., Слесаренко А.П., Сорока О.С., Румянцев О.О. (UA). – №2003054650; Заявл. 22.05.2003; Опубл. 15.01.2004; Бюл. №1. – 2
8. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания: мировой и отечественный опыт [Текст] / Табунщиков Ю.А. // Энергия. – 2004, №10. – С. 20-28; № 11. – С. 26-29;

9. Dincer, I., Rosen, M.A. (2002). Thermal energy storage. Systems and Applications. *Chichester (England): John Wiley & Sons.*
10. Hasnain, S.M. (1998). Review on sustainable thermal energy storage technologies, part I: Heat storage materials and techniques. *Energy Conversion and Management, Vol. 39*, 1127-1138.
11. Kuznik, F., Virgone, J. (2009). Experimental assessment of a phase change material for wall building use. *Applied Energy, vol. 86*, 2038-2046.
12. Anderson B.R. (1991). Calculation of the Steady-State Heat Transfer through a Slab-on-Ground Floor. *Building and Environment, Vol. 26, No. 4*, 405-415.
13. Hasnain, S.M. (1998). Review on sustainable thermal energy storage technologies, part II: Cool Thermal Storage. *Energy Conversion and Management, Vol. 39*, 1139-1153.
14. Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13*, 318-345.
15. Weitzmann P., Kragh J. & Jensen C.F. (2002). Numerical Investigation of Floor Heating Systems in Low Energy Houses. *Proc. of the Sixth Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, 905-912.
16. Weitzmann P., Kragh J., Roots P., Svendsen S. (2005). Modelling Floor Heating Systems Using a Validated Two-Dimensional Ground Coupled Numerical Model. *Buildings and Environment, Vol. 40/2*, 153-163.
17. Романченко, М.А. Энергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами [Текст] / Романченко М.А., Мазоренко Д.І., Слесаренко А.П., Сорока О.С. // Електрифік. та автоматиз. сільського господарства. – 2006, №2. – С. 82-92.
18. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики [Текст] / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1977. – 456 с.

Аннотация

Пути повышения надежности и безопасности систем управления энергопотоками питания электрообогреваемых полов

Романченко Н.А., Тищенко Л.Н., Хвесик А.Е.

Приведены результаты теоретических исследований оптимизации режимов управления энергопотоками питания нагревателей многоярусной электротеплоаккумуляющей системы отопления электрообогревающим полом производственных животноводческих сооружений.

Abstract

Ways of increase of reliability and safety of systems of keru-vannya by the energystreams of feed of floor of electroheating

M. Romanchenko, O. Tischenko, A. Khvesik

The results of theoretical researches of optimization of the modes of management the energystreams of feed of heaters of the mnooyarusnoy elektroteploakkumulyuyushey system of heating are resulted electro-heating the for-crow-bar of production stockraising buildings.