

Романченко М. А.,
Слесаренко А. П.,
Сорока О. С.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І ЧИСЛОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРООБІГРІВНИХ ПІДЛОГ

Запропоновані алгоритми і програмні рішення, які дають змогу забезпечувати оптимальні режими підводу енергії до нагрівачів багатошарової структурованої підлоги в приміщеннях з урахуванням конструктивних, теплофізичних параметрів електрообігрівної підлоги, а також опосередковано зовнішніх метеорологічних факторів. Застосування результатів дослідження в виробничу практику спеціалізованих комплексів дозволить значно підвищити ефективність використання енергоресурсів традиційних, нетрадиційних та відновлюваних джерел.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, енергопоток, багатошарова структура, мікроклімат, алгоритм.

1. Вступ

Системний аналіз науково-технічної літератури [1–3] показує, що новий етап розвитку систем мікроклімату виробничих споруд АПК [4] характеризується підвищеними вимогами щодо їх ефективності, екологічності, економічності. Мова йде про розвиток таких систем мікроклімату, які б працювали за технологічною схемою «знизу-вверх» і відповідали б функціональній доцільності використання того або іншого теплогенеруючого вузла [5–7], що є визначальною ознакою у виборі опалювально-вентиляційної системи в цілому. Приймаючи до уваги перелічені фактори можна зробити висновок про досить значну різноманітність шляхів удосконалення засобів і методів опалення виробничих споруд АПК в порівнянні з цивільними і промисловими будівлями. Прийнята концепція створення мікроклімату у виробничих спорудах АПК, принаймні, в тваринницьких приміщеннях за рахунок розвитку систем опалення убудованих у підлогу, є актуальною і такою, яка найбільш повно може задовольняти зоотехнічні вимоги щодо створення теплового комфортного режиму різних за функціональним призначенням виробничих споруд, де утримуються різні за віком групи тварин (свинарники-маточники).

Дослідження в цій області, які проведені авторським колективом, показують, що в агресивних умовах виробничих приміщень тваринництва, птахівництва та закритого ґрунту найбільш прийнятними є обігрівні підлоги, виконані у вигляді багатоярусних електротеплоаккумуляційних нагрівальних систем опалення (БЕТСО) на основі стандартних нагрівальних елементів з проводів типу ПС, ПСО, та ін. [8].

2. Постановка проблеми

Застосування БЕТСО надає можливість суттєво поліпшити ефективність використання електроенергії в режимі автономного опалення виробничих тваринницьких споруд і дозволяє ефективно функціонувати в режимі комбінованого використання наявного потенціалу по-

тужностей традиційних і нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.

При експлуатації розглянутої системи обігрівних підлог необхідно знати особливості розподілу тепла в її структурі, що потребує застосування досить складних засобів контролю і вимірювання. Зазвичай, це є неефективним по економічним показникам. Якщо, наприклад, змінюються зовнішні умови повинна бути передбачена «настройка» системи на зміну умов так, щоб температура робочої поверхні в технологічно активних зонах виробничих споруд зберігалась в заданих межах в відповідності з заданим режимом опалення цих споруд. Для цієї мети пропонується використання обмеженої кількості вимірювальних елементів (наприклад датчики температури) методами розв'язання зворотних задач теплопровідності визначати необхідні енергопототи в системі. В контексті математичного моделювання мова йде про пошук такого рішення задачі теплопровідності електрообігрівної структури, яке б дозволяло з високою точністю і швидкодією знаходити необхідні значення енергопотоків. Найбільш доцільним є побудова аналітичного рівняння задачі теплопровідності цієї багатошарової енергоактивної системи.

3. Літературний огляд

У сучасних роботах [5, 9–12] розвинені теоретичні й експериментальні методи дослідження електрокабельних теплоаккумуляційних систем опалення, які в певній частині можуть слугувати лише орієнтиром для подальшого дослідження та проектування БЕТСО.

Певний теоретичний аналіз досить великої кількості конструктивних схем обігрівних підлог з об'ємними джерелами для тваринницьких приміщень представлений в монографії [5, 13]. Однак, розроблені автором підходи й прийоми виконання теплотехнічних розрахунків реальних конструкцій обігрівних підлог багато в чому мають штучний характер, та не можуть бути безпосередньо використані для теоретичного рішення проблем, орієнтованих на проектування регульованих багаторівневих електротеплоаккумуляційних систем опа-

лення, у яких передбачається застосування великої кількості трубчастих джерел тепла, розподілених в об'ємній багатоярусній теплоакуюлюючій структурі. У цьому випадку для аналізу (а потім і синтезу) таких систем більш доцільним представляється підхід, заснований на строгому рішенні задачі теплопровідності для багатоярусної структури з довільно розміщеною в ній системою спеціальних електронагрівачів трубчастого типу. Треба зауважити, що аналізу шаруватих структур теплопередачі приділяється багато уваги й іноземними дослідниками з акцентом на отримання і використання аналітичних рішень таких задач [14–16].

4. Мета роботи

Побудова строгої математичної моделі теплопередачі багатоярусної структури в усталеному режимі, виходячи із фізичної моделі, наближеної до реальних шаруватих енергоактивних структур.

5. Основні матеріали дослідження

Конструктивні й технологічні міркування дозволяють запропонувати різні варіанти виконання нагрівальної системи (НС). Тому теплофізичну модель більш практично побудувати в самому загальному вигляді з урахуванням припущень, що спрощують розв'язання задачі. Отже, одними із важливих аспектів дослідження НС — є вивчення особливостей стаціонарного режиму, що включає оцінку ефективності (співвідношення корисної частки підведеного тепла, що йде на нагрівання приміщення й розсіювання тепла в ґрунті), вивчення розподілу температури в товщі НС й умов можливого перегріву, визначення параметрів акумуляції енергії в масиві НС і можливості, у зв'язку із цим, стабілізації теплового режиму технологічно активної зони й реалізації переривчастого режиму опалення (перехід до динаміки).

Спрощена фізична модель НС обігрівної підлоги представляється у вигляді пласкої багатоярусної структури, розташованої нижче рівня підлоги приміщення, що складається з N однорідних шарів, серед яких є активні (з підведенням енергії) шари. У поперечних напрямках (у площині шарів) система передбачається однорідною, потоки тепла й градієнти температур мають місце тільки в напрямку нормалі до розглянутої системи — уздовж осі OX . Детально така НС розглядалася в [8], де побудова математичної моделі представлена в деталях. Зауважимо, що на поверхні підлоги задано граничну умову Ньютона-Ріхмана — питомий потік тепла з поверхні пропорційний температурному напору (різниці температур поверхні підлоги й повітряного середовища)

$$q = \alpha \cdot (t_n - t_c). \quad (1)$$

Величина коефіцієнту теплообміну α у реальних умовах виробничих приміщень для утримання тварин при наявності вентиляції може приймати значення в досить широкому інтервалі $5 \dots 15 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2} \times \text{К}^{-1}$ [3].

Міжшарові контактні термічні опори вважаються кінцевими і такими, що їх треба враховувати в граничних умовах спряження.

Нижня поверхня НС (відповідає нижній поверхні конструкції), що знаходиться в площині $x = 0$ (на

глибині A), термостатована глибинним теплом землі при фіксованій температурі $t_0 = \text{const}$. Величина цієї температури залежно від сезону й глибини траншеї лежить у межах $5 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Математична модель теплопередачі багатоярусної структури побудована, виходячи із прийнятої фізичної моделі — граничної задачі теплопровідності і зведена до системи $2 \times N$ лінійних неоднорідних рівнянь. Її рішення (температура) являє собою кусочно-безперервну функцію координати x , товщин шарів d_b , їх теплопровідностей і потужності джерел тепла. У межах кожного шару рішення рівняння теплопровідності знаходиться у аналітичному вигляді — профіль температури, який описується або лінійною, або квадратичною функцією координати.

Для аналізу процесів теплопередачі, оптимізації теплових режимів нагрівання приміщення за допомогою розглянутої НС розроблена комп'ютерна модель обігрівної підлоги, що реалізована в середовищі математичного прикладного пакету символьних обчислень (Maple-V). Комп'ютерна модель розглянутої теплофізичної системи виконана у вигляді ряду процедур, які дозволяють проводити числовий аналіз температурних розподілів, теплових потоків, інших характеристик, а також визначати оптимальне підведення енергії для одержання заданих теплових режимів на поверхні системи. Комп'ютерна версія моделі дозволяє виконувати аналітичні перетворення, у тому числі одержувати необхідні при дослідженні й проектуванні системи аналітичні функціональні залежності для прямих і зворотних співвідношень параметрів задачі.

Далі, для визначеності, розглядається прототип реальної конструкції НС, що складається з 11-и шарів, з яких в 3 шари (активні яруси) передбачене підведення енергії. Реальна конструкція нагрівальної системи відповідає певним технологічним вимогам, які розглядалися в [8, 17–19].

Наведемо координатну залежність розподілу температури в НС (профіль температури) для заданих потужностей живлення нагрівальних шарів по ярусах $P_3 = 15 \text{ Вт/м}^2$, $P_2 = 35 \text{ Вт/м}^2$, $P_1 = 40 \text{ Вт/м}^2$ (загальна потужність 90 Вт/м^2), що обчислюється за допомогою убудованої процедури T_PROFILE (рис. 1).

| | |
|--|--|
| $6.0000 + 219.7772x$ | $-x \leq 0 \text{ and } x - 0.0100 \leq 0$ |
| $7.5536 + 64.4175x$ | $0.0100 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.0600 \leq 0$ |
| $5.9510 + 91.1271x$ | $0.0600 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.2100 \leq 0$ |
| $11.5600 + 64.4175x$ | $0.2100 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.2600 \leq 0$ |
| $-333.3333x^2 + 422.4142x - 58.9858$ | $0.2600 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.4100 \leq 0$ |
| $42.3630 + 38.5554x$ | $0.4100 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.4600 \leq 0$ |
| $-777.7778x^2 + 864.6364x - 173.0565$ | $0.4600 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.6100 \leq 0$ |
| $78.2522 - 21.7894x$ | $0.6100 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.6600 \leq 0$ |
| $-888.8889x^2 + 1089.0808x - 267.7222$ | $0.6600 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.8100 \leq 0$ |
| $104.7448 - 90.7550x$ | $0.8100 - x \leq 0 \text{ and } x - 0.8500 \leq 0$ |
| $79.0309 - 60.5033x$ | $0.8500 - x \leq 0 \text{ and } x - 1.0000 \leq 0$ |

Рис. 1. Координатна залежність температури в НС

В якості аргументів процедури задані параметри, перераховані в її заголовку: $t_0 = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ — глибинна температура ґрунту дна траншеї, $t_c = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ — температура повітря в приміщенні, $\alpha = 5 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2}\text{К}^{-1}$ — коефіцієнт тепловіддачі, $p = [0, 0, 0, 0, 15, 0, 35, 0, 40, 0, 0]$, (Вт/м²) — вектор значень потужності, підведених до шарів 11-и

шарової системи ($i = 1, 2, \dots, 11$); x – нормована координата уздовж перетину. Звернемо увагу на те, що дана конфігурація підведення потужності по ярусах при заданих зовнішніх умовах дозволяє одержати на поверхні підлоги ($x = 1$) температуру 18,53 °С.

Достовірність математичної моделі її комп'ютерної версії підтверджена шляхом перевірки закону збереження енергії: енергія, що витрачається на нагрівання НС, створює теплові потоки в ґрунт ($x < 0$) і повітряне середовище ($x > A$). При цьому, рівність:

$$P = Q_1 + Q_{11}, \quad (2)$$

де P – потужність джерел у НС (Вт/м²); Q_1, Q_{11} – відповідно потоки потужності в ґрунт із 1-го шару й у повітряне середовище з 11-го шару, виконується з високою точністю. На рис. 2 показано залежність потужностей P_2 і потоків з НС Q_1, Q_{11} від рівня нагріву поверхні підлоги.

З рис. 3 видно, як збільшується максимальна температура усередині НС для великих значень t_n , причому наявність контактних термічних опорів усередині НС приводить до помітно завищеного перегріву внутрішніх областей НС.

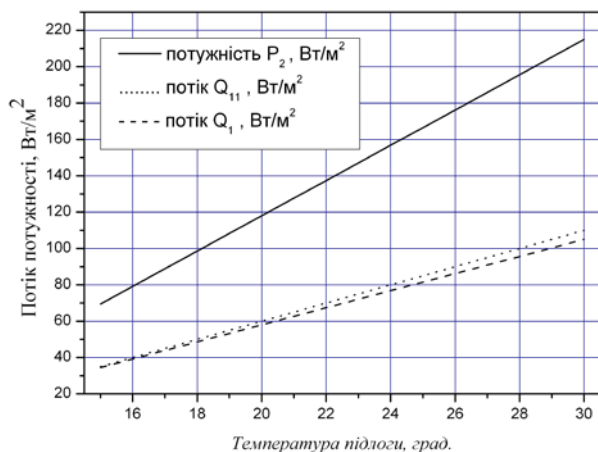


Рис. 2. Залежність підведеної до НС потужності P_2 у другий ярус і потужності потоків з НС Q_1, Q_{11} від рівня нагріву поверхні підлоги

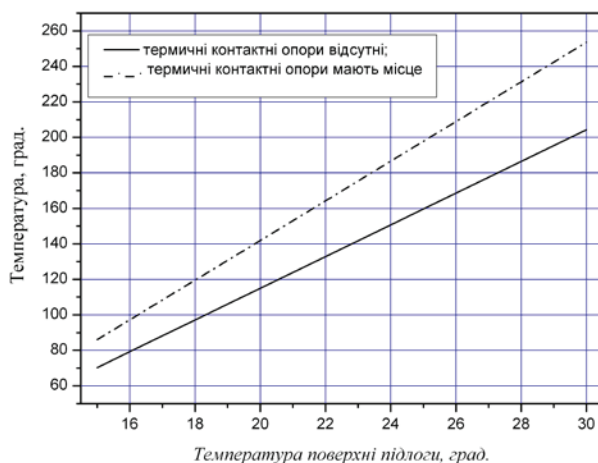


Рис. 3. Залежність максимальної локальної температури, яка досягається в масиві НС, від температури на поверхні підлоги у випадках відсутності й наявності міжшарових контактних термічних опорів

Температурні профілі в масиві обігрівної підлоги при різних рівнях підведеної потужності в 1-й, 2-й й 3-й ярусах (для рівнів нагрівання t_n підлоги 22 та

30 °С представлені на рис. 4, рис. 5 при зовнішніх умовах $\alpha = 5$ Вт/(м × К), $t_0 = 6$ °С, $t_c = 8$ °С. Видно, що максимальна температура в масиві НС помітно різниться, а при підводі енергії в нижній ярус сягає понад 100 °С.

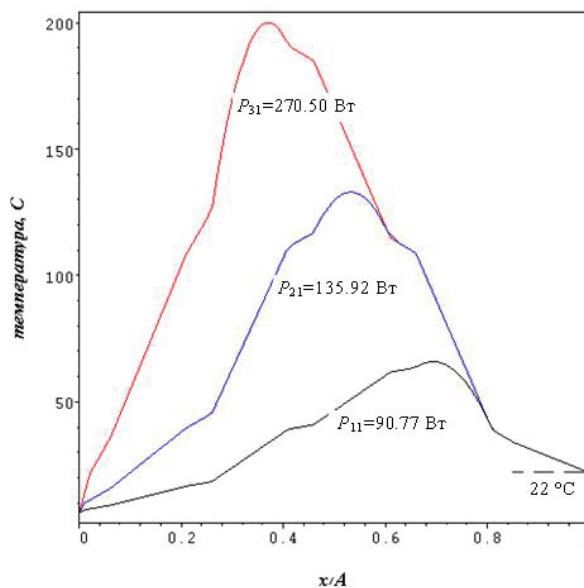


Рис. 4. Профілі температури в НС при підведенні енергії або в 1-й (верхній ярус), або 2-й, або 3-й ярус при потужності, що забезпечує на поверхні підлоги температуру 22 °С

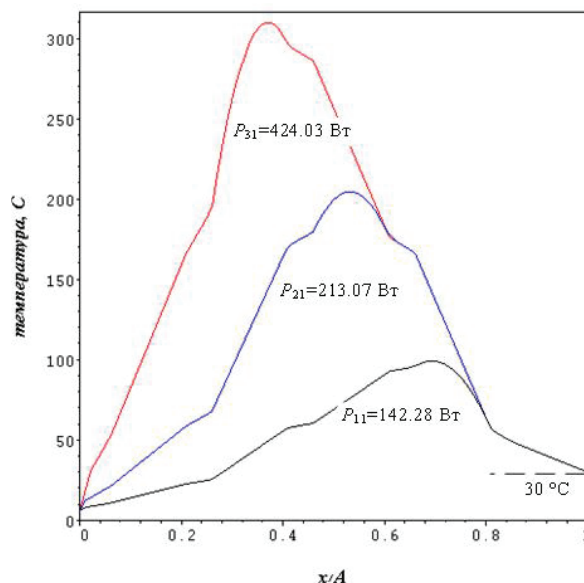


Рис. 5. Профілі температури в НС при підведенні енергії або в 1-й (верхній ярус), або 2-й, або 3-й ярус при потужності, що забезпечує на поверхні підлоги температуру 30 °С

З рис. 6 видно, що підведення енергії в нижній ярус створює у внутрішніх зонах системи значний перегрів. Припустимою температурою нагрівання вважається $t_{\max} = 220$ °С. На рисунку цей рівень позначений пунктирною лінією. Максимальна температура, яка досягається в середині нижнього обігрівного ярусу (переріз $x = 0,371$), визначається для розглянутої системи й заданих вище температурних зовнішніх умов наступним рівнянням $t_{\max} = 0,7149 \cdot P_3 + 6,6348$, де P_3 – питома потужність джерел нижнього ярусу, Вт/м². Звідси визначається

величина припустимої потужності, яку можна подати в нижній ярус без перегріву: $P_{\text{доп.}} = 298,44 \text{ Вт/м}^2$.

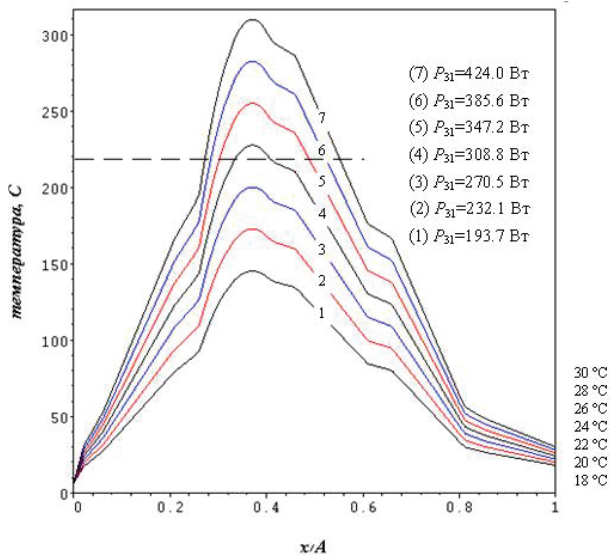


Рис. 6. Профілі температури в масиві НС при підведенні енергії в 3-й (нижній) ярус при потужності, що забезпечує на поверхні підлоги температуру від 18 °С до 30 °С

Для одержання на поверхні підлоги температури, рівної й вищої $t_n = 26 \text{ °C}$ має місце значний перегрів внутрішніх зон системи. Для досягнення рівня $t_n = 24 \text{ °C}$ перегрівається лише частина обігрівного шару: при необхідній величині погонної потужності $P_{31} = 308,8 \text{ Вт/м}^2$ (що трохи перевищує припустимий рівень $P_{\text{доп.}}$). Максимальна температура в цьому шарі досягає прийнятного рівня: $t_{\text{max}} = 227,40 \text{ °C}$.

Для нагріву поверхні підлоги до температур $t_n = 26 \text{ °C}$, $t_n = 28 \text{ °C}$, $t_n = 30 \text{ °C}$ без перегріву внутрішніх зон необхідно частину потужності з нижнього ярусу перевести в середній ярус. На рис. 7 показані профілі температур у цих випадках. Режими нагрівання *a*, *b*, *c* характеризуються певними розподілами потужностей, підведених до 2-го й 3-го ярусів.

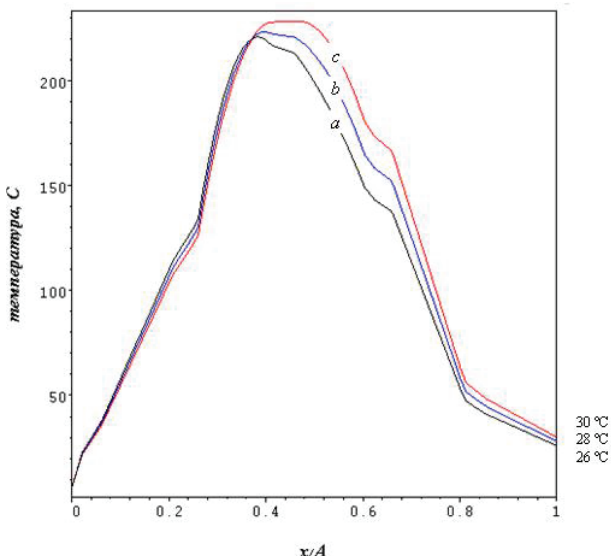


Рис. 7. Профілі температури в масиві НС при підведенні енергії в 3-й й 2-й яруси при потужностях, що забезпечують на поверхні підлоги температуру 26 °С, 28 °С и 30 °С (режими відповідно *a*, *b*, *c*)

6. Висновки

Побудована строга математична модель теплопередачі багат шарової структури в усталеному режимі, виходячи із фізичної моделі, наближеної до реальних шаруватих активних структур — граничної задачі теплопровідності. У межах кожного шару рішення рівняння теплопровідності знаходиться у аналітичному вигляді — профіль температури, який описується квадратичною функцією координати. Рішення системи рівнянь — розподіл температури уявляє кусочно-безперервну функцію координати x , товщин шарів, їх теплофізичних характеристик і потужностей джерел тепла.

Виконано розробку комп'ютерної моделі теплопередачі в багат шаровій структурі, яка складається з довільної кількості плоских шарів з довільними теплофізичними характеристиками. Проведено розрахунок і аналіз серій розподілів температури для напружених режимів нагрівання.

Література

1. Романченко, Н. А. Электрообогреваемые полы и микроклимат [Текст] / Н. А. Романченко, А. А. Румянцев. — Киев, 1993. — Рус. — Деп. в УкрИНТЭИ 02.03.93. — № 322-Ук93.
2. Романченко, Н. А. Электрообогреваемые полы в животноводческих помещениях [Текст] / Н. А. Романченко, В. И. Мельник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1993 — № 5–6. — С. 12–14.
3. Мотес, Э. Микроклимат животноводческих помещений [Текст] / Э. Мотес. — М.: Колос, 1976. — 190 с.
4. Пырков, В. В. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление [Текст] / В. В. Пырков. — ООО «Медиа-Макс», 2004. — 88 с.
5. Гиндоян, А. Г. Тепловой режим конструкций полов [Текст] / А. Г. Гиндоян. — М.: Стройиздат, 1984. — 221 с.
6. Davies, E. J. Conduction and Induction Heating [Text] / E. J. Davies // IEE Power Engineering Series II. — Peter Peregrinus Ltd., London, 1990.
7. Building automation — impact on energy efficiency [Text] / Application per EN 15232:2012 eu.bac product certification. — Siemens Switzerland Ltd, 2012. — 132 p.
8. Романченко, М. А. Энергоберегающие электротехнологии обеспечения стандартов теплового режима производственных споруд АПК с электрообогревными полами [Текст] / М. А. Романченко, Д. И. Мазоренко, А. П. Слесаренко, О. С. Сорока // Электрификация та автоматизация сельского хозяйства. — 2006. — № 2. — С. 82–92.
9. Розинский, Д. И. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом [Текст] : сб. научн. ст. / под ред. Д. И. Розинского. — Киев, 2001. — 156 с.
10. Лозинський, Д. Й. Електрична кабельна система опалення в тепло-аккумуляційному режимі (ЕКСО-ТА) житлових сільськогосподарських будинків [Текст] / Д. Й. Лозинський // Будівництво України. — 2002. — № 5. — С. 32–35.
11. Шевельов, В. Б. Експериментальні дослідження натурної моделі житлового приміщення обладнаного ЕКСО [Текст] / В. Б. Шевельов, Д. Й. Лозинський, Л. Ф. Черних, П. П. Полевой // Будівництво України. — 2002. № 3. — С. 16–20.
12. Черних, Л. Ф. Фізико-математична модель теплового режиму приміщення з електротеплоаккумуляційною системою опалення підлогою, що гріє [Текст] / Л. Ф. Черних // Будівництво України. — 2002. — № 5. — С. 36–39.
13. Бабаханов, Ю. М. Снижение энергопотребления систем микроклимата в животноводческих помещениях [Текст] / Ю. М. Бабаханов, Н. А. Степанова, А. П. Шаталов // Тр. ВИЭСХ. — Т. 70. — М.: Изд.-во ВИЭСХ, 1988. — С. 98–107.
14. Ясенецкий, В. А. Зниження енерговитрат у тваринництві і кормоприготуванні [Текст] / В. А. Ясенецкий. — Київ: Урожай, 1989. — 136 с.
15. Aliawdin, P. Theoretical and Experimental Analysis of the Heat Transfer in the Layers of Road Pavement [Text] / P. Aliawdin, J. Marciniowski, P. Wilk // Civil and environmental eng. reports. — 2005. — No. 1. — P. 7–18.

16. Chien-Ching, Ma. Analytical exact solutions of heat conduction problems for anisotropic multi-layered media [Текст] / Chien-Ching Ma, Shin-Wen Chang // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. — 2004. — Vol. 47. — P. 1643–1655.
17. Ozisik, M. N. Heat Conduction Wiley [Текст] / M. N. Ozisik // New York, 1993.
18. Bejan, A. Heat Transfer [Текст] / A. Bejan. — John Wiley & Sons, New York, 1993.
19. Dryden, I. G. C. The Efficient Use of Energy [Текст] / I. G. C. Dryden. — Ed. 2. — Butterworth Scientific, Oxford, 1982.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБОГРЕВАЕМОГО ПОЛА

Предложены алгоритмы и программные решения, которые дают возможность обеспечивать оптимальные режимы подвода энергии к нагревателям многослойного структурированного пола в помещениях с учетом структурных и теплофизических параметров конструкции пола, а также опосредованно внешних климатических факторов. Применение результатов исследования в производственной практике специализированных комплексов позволит значительно повысить эффективность использования энергоресурсов традиционных, нетрадиционных и возобновляемых источников.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, энергопоток, многослойная структура, микроклимат, алгоритм.

Романченко Микола Анастасійович, кандидат технічних наук, професор, кафедра інтегрованої електротехнології та процесів,

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Україна.

Слесаренко Анатолій Павлович, доктор фізико-математичних наук, професор, ведучий науковий співробітник, Лауреат Державної премії України, Інститут проблем машинобудування ім. А. Н. Підгорного НАН України, Україна.

Сорока Олександр Степанович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра мікроелектроніки, електронних приладів і пристроїв, Харківський Національний університет радіоелектроніки, Україна.

Романченко Николай Анастасиевич, кандидат технических наук, профессор, кафедра интегрированных электротехнологий и процессов, Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Украина.

Слесаренко Анатолий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Лауреат Государственной премии Украины, Ведущий научный сотрудник, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Украина.

Сорока Александр Степанович, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра микроэлектроники, электронных приборов и устройств, Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, Украина.

Romanchenko Nickolay, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine.

Slesarenko Anatoliy, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine, Ukraine.

Soroka Alexander, Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine

УДК 621.74

**Пономаренко О. И.,
Тренёв Н. С.**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КАК РЕЗЕРВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОРШНЕЙ ДВС

В статье предложено использование процедуры распознавания образов для описания локализации дефектов в литых деталях «поршень» для ДВС. Приведены результаты компьютерного моделирования процесса заполнения кокиля и кристаллизации сплава для усовершенствованной технологии литья, предполагающей применение термоизолирующих покрытий кокиля. Результаты компьютерного моделирования могут быть использованы для формализации процесса описания локализации дефектов в поршнях.

Ключевые слова: литая деталь, кокиль, компьютерное моделирование, термоизолирующее покрытие.

1. Введение

Высокая конкурентная борьба между производителями запчастей и комплектующих для двигателей внутреннего сгорания выводит на первый план необходимость решения вопросов, связанных с повышением качества деталей. В первую очередь, речь идет о заготовительном производстве — ведь от того, насколько качественно выполнена заготовка, зависит формирование свойств и готовых деталей. Под заготовкой в данном случае понимается отливка или литая деталь. Так как литые поршни изготавливаются в кокилях, очень важно

отрабатывать технологические процессы литья и совершенствовать сами конструкции кокилей с целью предупреждения внутренних литых дефектов. Задача в такой постановке должна рассматриваться как составная часть разработки общих мероприятий по техническому перевооружению литейных производств [1].

Сегодня в практике проектирования литых деталей применяется ряд специализированных программных пакетов трехмерного проектирования, а для решения задач по моделированию процессов кристаллизации используется российская программа LVM Flow. Учитывая, что выбор исходных параметров для компьютерного