

Романченко М.А.

Войтов В.А.

Кунденко М.П.

Харківський національний технічний університет сільсько-
го господарства імені Петра Василенка

E-mail: n.p.kundenko@inbox.ru

НОВІ ПІДХОДИ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ
ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ В ТВАРИННИЦТВІ

УДК 697:725/728:658

Ключові слова: енергозбереження, енергопотік, мікроклімат, температура, надійність, електротеплоакумуляційні.

Постановка проблеми. Системний аналіз характеристик «класичних» обігрівних установок, які входять до складу систем мікроклімату тваринницьких споруд, свідчить про те, що ці установки мають низку суттєвих недоліків і потребують удосконалення [1-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз зарубіжної і вітчизняної науково-технічної літератури [1-3, 6-12], свідчить про те, що в більшості наукових розробок, щодо електротеплоакумуляційних опалювальних систем виробничих споруд дослідники йшли шляхом розв'язання прямих задач теплопровідності. Такий шлях досліджень ускладнює або принципово унеможливорює розв'язання задач чіткого дотримання стандартів на обігрів поверхні підлоги за умови раціонального і ефективного використання енергоресурсів. Це пояснюється тим, що в алгоритм, а відповідно і в програму розв'язання прямих задач теплопровідності неможливо внести дискретну інформацію, яка відображає задані нормативи стандартів на обігрів поверхні підлоги [3, 4]. Перспективним методом моделювання аналогічних теплових процесів є застосування зворотних задач теплопровідності [4].

Мета статті - підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва та зниження негативного впливу відходів виробництва продукції тваринництва на довкілля.

Основні матеріали дослідження. Найбільш доцільно застосовувати електрообігрівні підлоги в приміщеннях, де разом з маточним поголів'ям утримується молодняк тварин. Молодняк найбільш чутливий до простудних захворювань та більш вимогливий щодо дотримання параметрів мікроклімату. Як показують попередні розрахунки й практика експлуатації науково-дослідницьких зразків електротеплоакумуляційних установок, які працюють за схемою «знизу-вверх» поліпшуються загальні умови розвитку тварин. Підвищується збереження молодняку, збільшуються прирости ваги тварин, знижується на 10-12 % потреба в кормах. На 30-40 % знижується споживання енергоносіїв, знижуються капітальні та експлуатаційні витрати. Крім того, зменшується техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Існують конструктивні різновиди електрообігрівної підлоги, засновані на використанні нагрівальних елементів – звичайний металевий дріт, провід (ПС, ПСО), спеціальні проводи, кабелі, тощо). Найбільш перспективні конструкції електрообігрівної підлоги, у яких нагрівальні елементи, виконані із звичайного неізольованого сталюого оцинкованого або неоцинкованого дроту, розміщеного в електроізоляційних трубах або в порожнинах панелей, використовуваних для настилу підлоги. Переріз такої підлоги з електроізоляційними трубами, у яких розміщені спеціальні електронагрівальні елементи представлена на рис. 1.

Нагрівальні елементи (НЕ) в запропонованих конструкціях призначені для перетворення електричного струму в тепло. Вони виконуються в виді спіралей, і можуть виготовлятися із дроту типу ПСО (провід сталюий оцинкований).

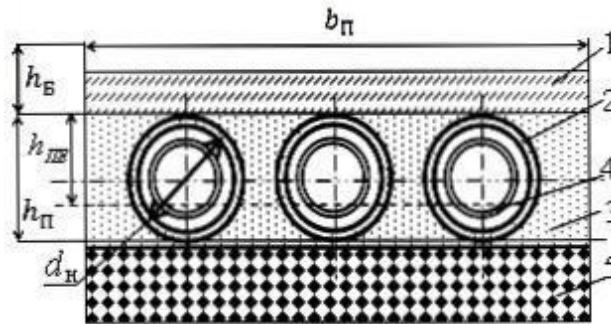


Рисунок 1 – Переріз обігрівної підлоги: 1 – бетонне покриття електрообігрівної підлоги; 2 – електроізоляційна труба; 3 – теплоакуюлюючий наповнювач; 4 – електронагрівальний елемент; 5 – теплоізолюючий наповнювач

Для електрообігрівних підлог сільськогосподарських тваринницьких (чи птахівницьких) приміщень, як показав досвід експлуатації, доцільніше застосовувати провід типу ПСО, діаметром 2 .. 3 мм, який витримує робочу температуру нагріву $\theta_{max} = 300^\circ\text{C}$ при номінальній потужності $P_{max} = 20 \dots 30 \text{ Вт/м}$.

Для створення рівномірного навантаження на джерело електроенергії всі нагрівальні елементи з'єднуються за трифазною схемою "Y" і підключаються до мережі з напругою 380/220 В. Для підтримування заданої температури підлоги застосовуються або ручне, або автоматичне керування. Площа обігрівної підлоги для поросят одного помету здебільшого становить 1 м^2 – для однієї свиноматки.

Для визначення основних конструктивних параметрів електротеплоакуюлювальної системи опалення з одним ярусом спеціальних електронагрівників трубчастого типу (СЕТ) проведемо її технічний розрахунок.

Схема розташування СЕТ в активному (гріючому) ярусі підлоги представлена на рис. 1.

Виходячи із заданого рівня нагріву поверхні підлоги $\theta_{П}$, $^\circ\text{C}$ згідно з рекомендованими значеннями з табл. 1 задаємося належним рівнем потужності НЕ.

Знаходимо повну потужність $P_{П}$, необхідну для забезпечення нагрівання підлоги до заданої температури $\theta_{П}$, $^\circ\text{C}$ при обраній питомій потужності $P_{num} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$:

$$P_{П} = S_{П} \cdot P_{num} \quad (1)$$

Визначаємо потужність $P_{сер}$ на одну фазу, тобто на одну спіраль:

$$P_{сер} = \frac{P_{П}}{3} \quad (2)$$

Знаходимо струм фази:

$$I_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{U_{\phi}} \quad (3)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, прикладена до спіралей.

Опір проводів спіралі для однієї фази:

$$R_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{I_{\phi}^2} \quad (4)$$

Довжина проводу спіралі для однієї фази:

$$l_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{P_{1M}}, \quad (5)$$

де P_{1M} – найбільша припустима потужність, що виділяється в 1 м проводу нагрівального елемента.

Діаметр проводу нагрівальної спіралі:

$$d_{np} = 2\sqrt{\frac{S_{np}}{\pi}}, \quad (6)$$

де $S_{np} = \frac{\rho_{\theta} \cdot l_{\phi}}{R_{\phi}}$ – площа поперечного перерізу проводу спіралі,

$$R_{\phi} = R_0[1 + \alpha_0(\theta - \theta_{20})], \quad (7)$$

$\rho_0 = S_0(1 + \alpha V\theta)$ – питомий опір проводу спіралі при робочій температурі $\theta_{дон}, ^\circ C$, $Om \cdot m^2 / m$; $V\theta = \theta - 20^\circ C$, перевищення температури нагрівання проводу над $\theta_n = 20^\circ C$; $\alpha = 0,0062 \frac{1}{^\circ C}$ – температурний коефіцієнт опору для сталі СТ-3.

Число витків однієї фази:

$$\omega_{\phi} = \frac{\sqrt{l_{\phi}^2 - l_{cn}^2}}{\pi D_{cct}}, \quad (8)$$

де l_{cn} – довжина спіралі.

Зазвичай l_{cn} приймається рівною довжині підлоги l_n .

Крок навивки спіралі нагрівального елемента:

$$\Delta = \frac{l_{cn} \cdot 10^3}{\omega_{\phi}}. \quad (9)$$

Якщо є підлоги з іншими значеннями заданої температури нагрівання, то для кожного з них проводяться розрахунки за розглянутою методикою.

Електрообігрівна підлога являє собою систему досить масивних елементів, тобто бетонного покриття висотою h_{δ} , шару піску висотою h_n , електронагрівальних спіралей і теплового екрана, що знижує проходження тепла в ґрунт.

Бетонне покриття ЕТСО має товщину h_{δ} , близько 10..15 см, коефіцієнт теплопровідності має досить невелику величину $\lambda_{\delta cp} = 0,468 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot^\circ C$. Пісок укладається висотою $h_n=10...15$ см, його теплопровідність менше ніж у бетону й становить величину $\lambda_n = 0,25 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot^\circ C$. Таким чином, між поверхнею бетонної підлоги і нагрівальними елементами НЕ розташовано шар бетону й піску, що створює певне запізнювання між моментом включення нагрівальних елементів і моментом підходу тепла до поверхні підлоги, що забезпечує нагрівання підлоги до заданої температури θ_n .

Час запізнювання нагрівання підлоги може бути визначений як сума запізнювань, обумовлених наявністю шару піску (τ_{II}) і шару бетону (τ_{δ}),

$$\tau = \tau_{II} + \tau_{\delta}, \quad (10)$$

Визначимо час запізнювання, який обумовлений наявністю шару піску, висотою h

$$\tau_{II} = \frac{Q_{II} h_{II}}{\Delta\theta_{II} S_{II} \lambda_{II}} = \frac{3,6 P_{num} S_{II} h_{II}}{\Delta\theta_{II} S_{II} \lambda_{II}} = \frac{3,6 P_{num} h_{II}}{\Delta\theta_{II} \lambda_{II}}, \quad (11)$$

де $Q_{II} = P_{num} \cdot S_{II} 3600 \cdot 10^{-3} = P_{num} \cdot S_{II} \cdot 3,6$ кДж – кількість тепла, що виділяється електронагрівальними елементами за 1 год. роботи для нагрівання піску;

$$h_{II} = \frac{h_n b_n - \frac{3\pi d_H^2}{4}}{b_n}, \quad (12)$$

де h_{II} – еквівалентне значення товщини шару піску трохи менше, ніж величина h_i , обумовлена відповідно до рис. 1 через наявність в ньому системи СЕТ, які фактично зменшують теплопровідність шару, в якому знаходяться;

θ_{nn} , °С – температура нагрівання спіралі, яка визначається маркою застосованого проводу; Для проводу типу ПСО максимальна температура нагрівання становить $\theta_{max} = \theta_{nn} = 300^\circ\text{C}$;

$\Delta\theta = \theta_{nn} - \theta_{ng}$ – температура нагрівання нижньої частини шару піску (температура спіралі) відносно верхньої частини цього шару.

У цьому виразі невідомою величиною є значення температури граничного шару піску й бетону, тобто температура $\theta_{II} = \theta_{BH}$.

Для її визначення [5] скористаємося еквівалентною (розрахунковою) схемою підлоги і співвідношенням (12), які дають зв'язок між товщинами шарів піску й бетону і їхніх коефіцієнтів теплопровідності:

$$\frac{h_{\sigma}}{h_n} = \frac{\lambda_{\sigma}}{\lambda_n}. \quad (13)$$

Із (13) знаходимо $h_n = h_{\sigma} \lambda_n / \lambda_{\sigma}$ – товщина шару піску, на якій встановиться середнє значення температури:

$$\theta_{сер} = \frac{\theta_{nn} + \theta_{\sigma p}}{2}. \quad (14)$$

Методика побудови графіка розподілу температур усередині шарів піску й бетону підлоги показана на рис. 2. За результатами побудови графіка на цьому рисунку знаходимо температуру $\theta_{ng} = \theta_{\sigma n}$.

Знайшовши значення температури θ_{ai} , знаходимо час запізнювання нагріву в шарі бетону:

$$\tau_{\sigma} = \frac{Q_{\sigma} \cdot h_{\sigma}}{\Delta\theta_{\sigma} \cdot S_n \cdot \lambda_{\sigma}} = \frac{3,6 \cdot P_{num} \cdot S_n \cdot h_{\sigma}}{\Delta\theta_{\sigma} \cdot S_n \cdot \lambda_{\sigma}} = \frac{3,6 \cdot P_{num} \cdot h_{\sigma}}{\Delta\theta_{\sigma} \cdot \lambda_{\sigma}}, \quad (15)$$

де $Q_{\sigma} = E_{i\sigma} \cdot S_i 3600 \cdot 10^{-3} = E_{i\sigma} \cdot S_i \cdot 3,6$ кДж – кількість тепла, переданого бетонному шару від шару піску;

S_n – площа поверхні підлоги, м²,

h_{σ} – товщина шару бетону, м;

$\nabla\theta_{\delta} = \theta_{\delta n} - \theta_{\delta б}$ – температура нагрівання нижньої частини бетону відносно його верхньої частини, °C;

$D_{i\delta\delta}$ – питома потужність нагрівання бетонного шару від піщаного. Ця величина визначається зі співвідношення:

$$\frac{P_{\text{пит.п}}}{P_{\text{пит.б}}} = \frac{\theta_{\text{пн}}}{\theta_{\delta n}}, \quad (16)$$

$$P_{\text{пит.б}} = \frac{P_{\text{пит.п}} \cdot \theta_{\delta n}}{\theta_{\text{пн}}}. \quad (17)$$

Остаточно знаходимо повний час запізнювання електрообігрівної підлоги, який обумовлений наявністю шарів піску й бетону:

$$\tau = \tau_n + \tau_{\delta} = \frac{3,6 \cdot P_{\text{пит.п}} \cdot h_{\text{пз}}}{\Delta\theta_n \cdot \lambda_n} = \frac{3,6 \cdot P_{\text{пит.б}} \cdot h_{\delta}}{\Delta\theta_{\delta} \cdot \lambda_{\delta}}, \quad (18)$$

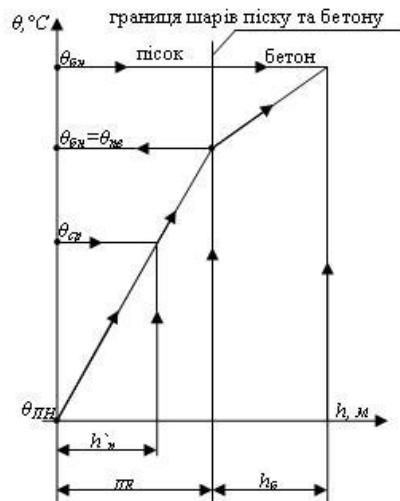


Рисунок 2 – Розподіл температури по висоті електрообігрівної підлоги:

$$\theta_{\delta, \text{ср}} = \frac{\theta_{\delta n} + \theta_{\delta б}}{2} \dots \theta_{\text{ср}} = \frac{\theta_{\text{пн}} + \theta_{\delta б}}{2} \dots \theta_{\text{п.ср}} = \frac{\theta_{\text{пн}} + \theta_{\text{пв}}}{2}$$

Використовуючи отримані розрахункові формули, знайдемо, для прикладу, числові значення запізнювання τ й постійної часу нагрівання T_H для електрообігрівної підлоги, яка має наступні характеристики:

- $h_{\delta} = 0,15 \text{ м}; h_{\text{п}} = 0,13 \text{ м};$
- $\theta_{\text{макс}} = \theta_{\text{пн}} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\text{мин}} = \theta_{\delta б} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C};$
- $\lambda_{\delta} = 0,468 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}; \lambda_n = 0,25 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C};$
- $C_{\text{пит.б}} = 0,0492 \text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C};$
- $C_{\text{пит.п}} = 0,0374 \text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C};$
- $\rho_{\delta} = 1500 \text{ кг/м}^3; \rho_n = 1400 \text{ кг/м}^3;$
- $v_n = 1,5 \text{ м}; D_n = 12 \text{ см}; P_{\text{пит.п}} = 250 \text{ Вт/м}^2;$
- $h_{\text{п}} = 0,08 \text{ м}; h_{\text{пв}} = 0,106 \text{ м};$
- $a_{\text{пит.б}} = 5,4 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}.$

За результатами побудови графіка розподілу температури по товщині підлоги визначаємо:

$$\theta_{cp} = 165^{\circ}\text{C}; \theta_{нб} = \theta_{en} = 120^{\circ}\text{C}; \theta_{бб} = 30^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{бср} = 75^{\circ}\text{C}; \theta_{нср} = 210^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta\theta_{б} = 90^{\circ}\text{C}; \Delta\theta_{н} = 135^{\circ}\text{C}; \Delta\theta = 20^{\circ}\text{C};$$

$$P_{ннт.б.} = 100 \text{ Вт/м}^2$$

В результаті маємо числові значення:

$$\tau_n = 3,2 \text{ год.}; \tau_b = 1,32 \text{ год.};$$

$$\tau = \tau_b + \tau_n = 4,52 \text{ год.};$$

$T_n = 5,12 \text{ год}$, що відповідають реальним часовим характеристикам типових конструкцій ЕТСО для свинарників-маточників.

Висновки. Відомі конструкції електрообігрівних підлог, які можна було б застосувати в тваринницьких приміщеннях безпосередньо, не задовольняють зоотехнічним вимогам і являються не ефективними при їх експлуатації.

Запропоновані енергоощадні перспективні конструкції електротеплоаккумуляційних модулів з рядом функціональних і експлуатаційних переваг по відношенню до відомих.

В якості електронагрівників рекомендуються СЕТ у вигляді спіралей з сталевого дроту, розміщених в негерметизованих азбоцементних трубах в теплоізоляційному наповнювачеві або в спеціальних порожнинах у стандартних бетонних панелях.

Робоча температура нагрівання спіралей таких СЕТ рекомендована в межах (250..300°C). Принаймні, рівень їх нагрівання можна заздалегідь задавати на етапі проектування, закладаючи в конструкції певний крок спіралі, густину їх розміщування в активному шарі, тощо, при цьому безвідмовна робота ЕТСО гарантується терміном 10..15 років.

Одержані результати аналізу можливої конструкції ЕТСО (одноярусна конструкція) можуть слугувати основою для подальшого моделювання і вдосконалення конструкції та розвитку функціональності запропонованих систем опалення.

Література

1. Мотес Э. Микроклимат животноводческих помещений / Э. Мотес. - М.: Колос, 1976. – 190 с.
2. Пыркoв В. В. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление / В. В. Пыркoв // ООО "Медиа-Макс", – 2004. – 88 с.
3. Бабаханов Ю. М. Снижение энергопотребления систем микроклимата в животноводческих помещениях / Ю. М. Бабаханов, Н. А. Степанова, А. П. Шаталов // Тр. ВИЭСХ. – Т. 70. – М.: ВИЭСХ, 1988. – С. 98-107.
4. Романченко М. А. Энергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами / М. А. Романченко, Д. І. Мазоренко, А. П. Слесаренко [та ін.] // Електрифік. та автоматиз. сільськ. госп.. – 2006. - № 2. – С. 82-92.
5. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом // Сб. научн. статей под ред. Д. И. Розинского. – Київ, 2001. – 156 с.
6. Dryden, I. G. C. The Efficient Use of Energy / I. G. C. Dryden // 2-nd Ed. Butterworth Scientific, Oxford. – 1982.
7. Davies, E. J. Conduction and Induction Heating / E. J. Davies // IEE Power Engineering Series II, Peter Peregrinus Ltd., London. – 1990.
8. Saving Energy with Electric Resistance Heating / DOE/GO-10097-381, FS 230, October. – 1997.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

9. Domestic Heating Compliance Guide / Domestic Heating Compliance Guide 2-nd edition. – 2008. – 72 p.
10. Building automation – impact on energy efficiency. Application per EN 15232:2012 eu.bac product certification / Siemens.
11. Switzerland Ltd. – 2012. – 132 p.
12. Engineering manual of automatic control for commercial buildings / Honeywell Inc. – 1997. – 502 p.

Romanchenko N., Voytov V., Kundenko N. New approaches in development and applications of elektro-teploakumulyval'nikh of technologies are in stock raising

The known constructions of floors of electro-heatings, which can it would be be applied in stock-raising apartments directly, dissatisfy zootechnic requirements and appear not effective during their exploitation. The energooschadni perspective constructions of the elektroteploakumulya-ciynikh modules are offered with the row of functional and operating advantages in relation to known. In quality elektronagrivnikiv recommended SET as spirals from a steel wire, placed in the unpressurized asbestos-cement pipes in heat-insulation napovnyuvachevi or in the special cavities in standard concrete panels.

A working temperature of heating of spirals of such is SET recommended scope (250..300°C). At least, the level of their heating can be preliminary set on the stage of proektuvannya, mortgaging the certain step of spiral in a construction, closeness of their placing in an active layer, and others like that, here faultless work of ETSO is guaranteed a term 10..15 years. The got results of analysis of possible construction of ETSO (odnoyarusna konstru-kciya) can serve as basis for a subsequent design and perfection of kons-trukcii and development of functionality of the offered systems of heating

Keywords: energy efficiency, enerhopotik, climate, temperature, reliability, power teploakumulyvalni.

References

1. Motes Je. Mikroklimat zhyvotnovodcheskih pomeshhenij / Je. Motes. - M.: Kolos, 1976. – 190 s.
2. Pyrkov V. V. Jelektricheskie kabel'nye sistemy otoplenija. Jenergeticheskoe sopostavlenie / V. V. Pyrkov // ООО "Media-Maks", – 2004. – 88 s.
3. Babahanov Ju. M. Snizhenie jenerGOPotreblenija sistem mikroklimata v zhyvotnovodcheskih pomeshhenijah / Ju. M. Babahanov, N. A. Stepanova, A. P. Shatalov // Tr. VIJeSH. – T. 70. – M.: VIJeSH, 1988. – S. 98-107.
4. Romanchenko M. A. Energozberigajuchi elektrotehnologii zabezpechennja standartiv teplovogo rezhimu virobnichih sporud APK z elektroobigrivnimi pidlogami / M. A. Romanchenko, D. I. Mazorenko, A. P. Slesarenko [ta in.] // Elektrifik. ta avtomatiz. sil's'k. gosp.. – 2006. - № 2. – S. 82-92.
5. Jelektroteploakkumuljacionnoe otoplenie grejushhim polom // Sb. nauchn. statej pod red. D. I. Rozinskogo. – Kiiv, 2001. – 156 s.
6. Dryden, I. G. C. The Efficient Use of Energy / I. G. C. Dryden // 2-nd Ed. Butterworth Scientific, Oxford. – 1982.
7. Davies, E. J. Conduction and Induction Heating / E. J. Davies // IEE Power Engineering Series II, Peter Peregrinus Ltd., London. – 1990.
8. Saving Energy with Electric Resistance Heating / DOE/GO-10097-381, FS 230, October. – 1997.
9. Domestic Heating Compliance Guide / Domestic Heating Compliance Guide 2-nd edition. – 2008. – 72 p.
10. Building automation – impact on energy efficiency. Application per EN 15232:2012 eu.bac product certification / Siemens.
11. Switzerland Ltd. – 2012. – 132 p.
12. Engineering manual of automatic control for commercial buildings / Honeywell Inc. – 1997. – 502 p.