

## РОЗРОБКА, ДОСЛІДЖЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛОВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТВАРИННИЦТВІ

Романченко М. А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проведено дослідження впливу конструктивних і енергетичних параметрів на експлуатаційні характеристики електротеплоакумуляційних модулів електрообігрівних підлог тваринницьких споруд.

**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 унеможливує 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 природи 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 неізоляованого 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).

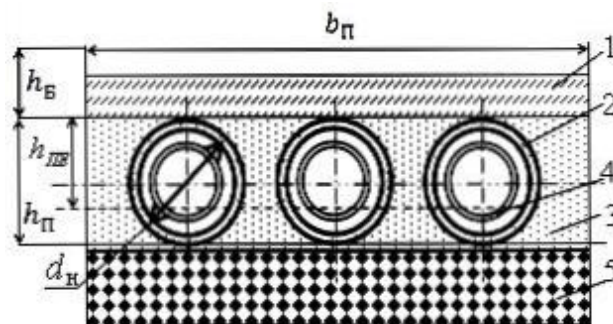


Рисунок 1 – Переріз обігрівної підлоги:

1 – бетонне покриття електрообігрівної підлоги; 2 – електроізоляційна труба; 3 – теплоакумуляційний 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 підтримання заданої температури підлоги застосовуються або ручне, або автоматичне керування. Площа обігрівної підлоги для поросят одного помету здебільшого становить й – для однієї свиноматки. Рекомендовані питомі потужності  $P_{num}$  нагрівальних елементів і температура верхньої поверхні підлоги  $\theta_n$  залежно від виду тварин (або птахів) наведені в табл. 1.

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

Таблиця 1 –Рекомендовані параметри роботи грійоної підлоги

№ п/п	Види тварин і птахів	Температура поверхні підлоги, $\theta_{II}, ^\circ C$	Питома потужність підлоги, $Вт/м^2$
1	Поросята сосуни	30...32	250...280
2	Поросята відйомиші	24...26	150...200
3	Свиноматки	18...20	80...100
4	Свині на відгодівлі	18...20	80...100
5	Курчата добові	35...40	280...300
6	Курчата у віці більше 30 днів	30...35	250...280

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

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

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

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

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

$$P_{сep} = \frac{P_n}{3}. \quad (2)$$

Знаходимо струм фази:

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

де  $U_\phi$  – 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,

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

$\rho_0 = S_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$  – питомий опір проводу спіралі при робочій температурі  $\theta_{доп}, ^\circ C$ ,  $Ом \cdot мм^2 / м$ ;  $\Delta\theta = \theta - 20^\circ C$ , 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:

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

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  $h_\delta$ , шару піску висотою  $h_n$ , електронагрівальних спіралей і теплового екрана, що знижує проходження тепла в ґрунт.

Бетонне покриття ЕТСО має товщину  $h_\delta$ , близько 10..15 см, коефіцієнт теплопровідності має досить невелику величину  $\lambda_{сep} = 0,468 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot^\circ C$ . 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  $\theta_n$ .

Час запізнювання нагрівання підлоги може бути визначений як сума запізнювань, обумовлених наявністю шару піску ( $\tau_{II}$ ) і шару бетону ( $\tau_\delta$ ),

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

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

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

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

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

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

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

$\Delta \theta = \theta_{nn} - \theta_{nv}$  – 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  $\theta_{ПВ} = \theta_{БН}$ .

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:

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

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

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

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

Знайшовши значення температури  $\theta_{\delta n}$ , знаходимо час запізнювання нагріву в шарі бетону:

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

де  $Q_{\delta} = P_{num} \cdot S_{\Pi} 3600 \cdot 10^{-3} = P_{num} \cdot S_n \cdot 3,6$  кДж – кількість тепла, переданого бетонному шару від шару піску;

$S_n$  – площа поверхні підлоги,  $m^2$ ,

$h_{\delta}$  – товщина шару бетону, м;

$\Delta \theta_{\delta} = \theta_{\delta n} - \theta_{\delta v}$  – температура нагрівання нижньої частини бетону відносно його верхньої частини,  $^\circ C$ ;

$P_{num}$  – питома потужність нагрівання бетонного шару від піщаного. Ця величина визначається зі співвідношення:

$$\frac{P_{num.n}}{P_{num.\delta}} = \frac{\theta_{nn}}{\theta_{\delta n}}, \quad (16)$$

$$P_{num.\delta} = \frac{P_{num.n} \cdot \theta_{\delta n}}{\theta_{nn}}. \quad (17)$$

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

$$\tau = \tau_n + \tau_{\delta} = \frac{3,6 \cdot P_{num.n} \cdot h_{n2}}{\Delta \theta_n \cdot \lambda_n} = \frac{3,6 \cdot P_{num.\delta} \cdot h_{\delta}}{\Delta \theta_{\delta} \cdot \lambda_{\delta}}, \quad (18)$$

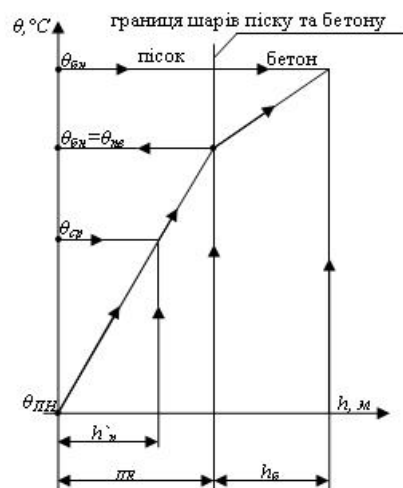


Рисунок 2 – Розподіл температури по висоті електрообігрівної підлоги:

$$\theta_{\delta,сер} = \frac{\theta_{\delta n} + \theta_{\delta v}}{2} \dots \theta_{сер} = \frac{\theta_{nn} + \theta_{\delta v}}{2} \dots \theta_{n,сер} = \frac{\theta_{nn} + \theta_{nv}}{2}$$

Використовуючи отримані розрахункові формули, знайдемо, для прикладу, числові значення запізнення  $\tau$  й постійної часу нагрівання  $T_H$  для електрообігрівної підлоги, яка має наступні характеристики:

$$\begin{aligned}h_{\sigma} &= 0,15 \text{ м}; h_{II} = 0,13 \text{ м}; \\ \theta_{\max} &= \theta_{III} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\min} = \theta_{\sigma\sigma} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \lambda_{\sigma} &= 0,468 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}; \lambda_n = 0,25 \\ &\text{кДж/м}\cdot\text{год}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}; \\ C_{\text{нум.}\sigma} &= 0,0492 \text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}; \\ C_{\text{нум.}n} &= 0,0374 \text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \rho_{\sigma} &= 1500 \text{ кг/м}^3; \rho_n = 1400 \text{ кг/м}^3; \\ v_n &= 1,5 \text{ м}; D_n = 12 \text{ см}; P_{\text{нум.}n} = 250 \text{ Вт/м}^2; \\ h_{II} &= 0,08 \text{ м}; h_{II\text{E}} = 0,106 \text{ м}; \\ \alpha_{\text{нум.}} &= 5,4 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}.\end{aligned}$$

За результатами побудови графіка розподілу температури по товщині підлоги визначаємо:

$$\begin{aligned}\theta_{cp} &= 165 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{н\sigma} = \theta_{вн} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\sigma\sigma} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \theta_{\sigma cp} &= 75 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{ncp} = 210 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \Delta\theta_{\sigma} &= 90 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta\theta_n = 135 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta\theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ P_{\text{нум.}\sigma} &= 100 \text{ Вт/м}^2\end{aligned}$$

В результаті маємо числові значення:

$$\begin{aligned}\tau_n &= 3,2 \text{ год.}; \tau_{\sigma} = 1,32 \text{ год.}; \\ \tau &= \tau_{\sigma} + \tau_n = 4,52 \text{ год.};\end{aligned}$$

$T_n = 5,12 \text{ год}$ , 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 $^{\circ}$ 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 (однорядна конструкція) можуть слугувати основою для подальшого моделювання і вдосконалення конструкції та розвитку функціональності запропонованих систем опалення.

## Список використаних джерел

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.

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.

## Аннотация

### РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОАККУМУЛЯЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Романченко Н. А.

*Проведены исследования влияния конструктивных и энергетических параметров на эксплуатационные характеристики электротеплоаккумуляционных модулей электрообогреваемых полов животноводческих помещений.*

## Abstract

### THE DEVELOPMENT, RESEARCH AND APPLICATION OF ELECTRICALLY HEATED ACCUMULATING TECHNOLOGIES IN LIVESTOCK

N. Romanchenko

*The investigated the effect of structural and energy parameters on the operational characteristics electrically heated accumulating electrowarmed floors of livestock buildings.*