

## ОСНОВИ РЕСУРСОЩАДНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИНИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Романченко М. А., Кунденко М. П., Кунденко О. М., Шинкаренко І. М.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Досліджено вплив конструктивних параметрів теплогенеруючих модулів електрообігрівної підлоги, як основної системи опалення на процеси формування заданих параметрів мікроклімату виробничих тваринницьких споруд.*

**Постановка проблеми.** Пріоритетний напрямок подальшого розвитку енергетики нашої країни, як зазначено в Енергетичній стратегії України до 2030 року, пов'язаний з енергозбереженням, оскільки його номінальний невикористаний потенціал сягає 40-45 % від об'єму сучасного електроспоживання [1]. При цьому особлива увага приділяється розробці і впровадженню ресурсозберігаючих електротехнологій та ефективних режимів роботи діючих об'єктів щодо виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції. Це обумовлено тим, що специфіка отримання продукції, як тваринництва так і рослинництва відбувається за участю не тільки автоматизованих робото технічних комплексів, але і біооб'єктів з характерними для них ритмами і режимами життєдіяльності. Відхилення від цих режимів протягом доби або року призводить до значних негативних наслідків зокрема до зниження якісних і кількісних показників виробництва сільськогосподарської продукції. Тобто суттєве підвищення ефективності виробництва в сучасних економічних умовах в тому числі і продукції тваринництва не можливе без зниження технологічних енерговитрат та оплати за спожиту електроенергію по пільговим тарифам.

Таким чином, раціональне використання енергоресурсів в виробництві продукції АПК може бути використання електротеплоакумуляційних технологій та узгоджених режимів роботи устаткування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз зарубіжної і вітчизняної науково-технічної літератури [2, 4, 5], 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 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 до-

цільно 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 кількісний показник збереження молодняку, збільшуються прирости ваги тварин, знижується на 10-12 % потреба в кормах. На 30-40 % знижується споживання енергоносіїв, зменшуються 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.

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).

Для електрообігрівних підлог сільськогосподарських тваринницьких (чи птахівницьких) приміщень, як показав досвід експлуатації, доцільніше застосовувати провід марки 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  $S_1 = 1 \dots 1,4 \text{ м}^2$  й  $S_2 = 2 \dots 2,8 \text{ м}^2$  – 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 пара-

метрів електротеплоакумуляційної системи опалення з одним ярусом спеціальних електронагрівників трубчастого типу (СЕТ) проведемо її технічний розрахунок.

Таблиця 1 – Рекомендовані температурні параметри поверхні гріючої підлоги

№ п/п	Види тварин і птахів	Температура поверхні підлоги, $\theta_{\Pi}$ , °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 (гріючому) ярусі підлоги представлена на рис. 1.

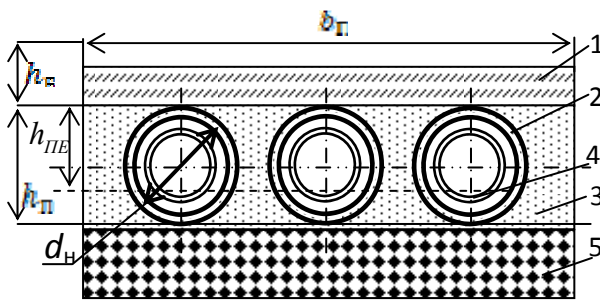


Рисунок 1 – Переріз обігрівної підлоги

- 1 – бетонне покриття електрообігрівної підлоги;
- 2 – електроізоляційна труба; 3 – теплоакумуляційний наповнювач; 4 – електронагрівальний елемент;
- 5 – теплоізоляційний наповнювач

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

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

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

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

$$P_{сеп.} = \frac{P_{\Pi}}{3} \quad (2)$$

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.

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

де  $\rho_0 = S_0(1 + \alpha\Delta\theta)$  – питомий опір проводу спіралі при робочій температурі  $\theta_{доп.}$ , °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:

$$\omega_{\phi} = \frac{\sqrt{l_{\phi}^2 - l_{сн}^2}}{\pi D_{СЕТ}} \quad (8)$$

де  $l_{сн}$  – довжина спіралі. Зазвичай  $l_{сн}$  приймається рівній довжині підлоги  $l_n$ .

Крок навивки спіралі нагрівального елемента:

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

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  $h_{б}$ , 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  $\lambda_{\delta cp} = 0,468 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot^{\circ}\text{C}$ . Пісок укладається висотою  $h_n = 10..15 \text{ см}$ , його теплопровідність менше ніж у бетону й становить величину  $\lambda_n = 0,25 \text{ кДж/м}\cdot\text{год}\cdot^{\circ}\text{C}$ . 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  $\theta_{\Pi}$ .

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

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

Визначимо час запізнювання, який обумовлений наявністю шару піску, висотою  $h_{\Pi}$

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

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

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

де  $h_{\Pi E}$  – еквівалентне значення товщини шару піску трохи менше, ніж величина  $h_n$ , обумовлена відповідно до рисунку 2 через наявність в ньому системи СЕТ, які фактично зменшують теплопровідність шару, в якому знаходяться;

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

$\Delta\theta = \theta_{nn} - \theta_{ns}$  – 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  $\theta_{\Pi B} = \theta_{BH}$ .

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:

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

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

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

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

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

$S_n$  – площа поверхні підлоги,  $\text{м}^2$ ;

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

$\Delta\theta_{\delta} = \theta_{BH} - \theta_{\delta s}$  – температура нагрівання нижньої

частини бетону відносно його верхньої частини,  $^{\circ}\text{C}$ ;

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

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

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

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

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

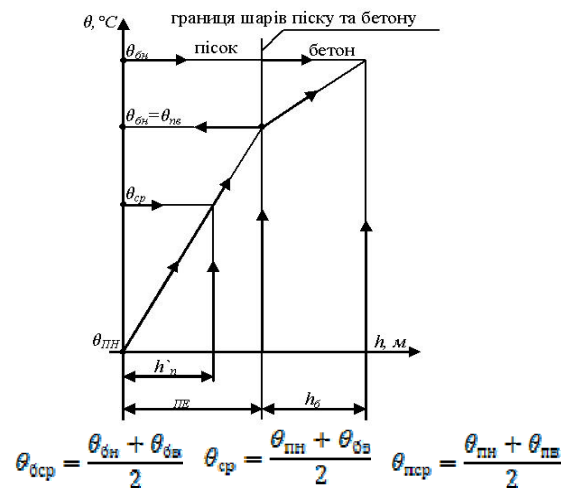


Рисунок 2 – Розподіл температури по висоті електрообігрівної підлоги

Використовуючи отримані розрахункові формули, знайдемо, для прикладу, числові значення запіз-

нювання  $\tau$  й постійної часу нагрівання  $T_H$  для електрообігрівної підлоги, яка має наступні характеристики:

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

За результатами побудови графіка розподілу температури по товщині підлоги визначаємо:

$$\begin{aligned}\theta_{\text{ср}} &= 165 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\text{н}\delta} = \theta_{\text{вн}} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\delta\delta} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \theta_{\delta\text{ср}} &= 75 \text{ }^{\circ}\text{C}; \theta_{\text{нср}} = 210 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ \Delta\theta_{\delta} &= 90 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta\theta_n = 135 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta\theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ P_{\text{н.т.б.}} &= 100 \text{ Вт/м}^2.\end{aligned}$$

В результаті маємо числові значення:

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

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

Таким чином, пропонується розробка науково-технічних основ ресурсощадних електротеплоаккумуляційних електротехнологій, що базуються на регіонально-аналітичних методах математичного моделювання та ідентифікації електротеплових процесів формування оптимальних енергетичних характеристик автоматизованих електротехнічних комплексів, а також геометричних параметрів та режимів роботи тваринних блоків спеціальних трубчастих електронагрівачів (СТН), теплогенеруючих модулів грійочої підлоги в виробничих тваринницьких спорудах (ВС), забезпечених багаторівневими електротеплоаккумуляційними системами опалення (БЕТСО), що працюють за схемою "знизу-вверх", при живленні їх від традиційних та відновлювальних джерел енергії. Крім того, пропонується дослідження фізичної моделі автоматизованої БЕТСО [5] щодо енергоефективності ресурсощадних електротехнологій для формування заданих стандартів теплового режиму мікроклімату в технологічно-активних зонах (ЗТА) в порівнянні з діючими системами мікроклімату, які працюють за схемою "зверху-вниз" з урахуванням виду і віку тварин та гідрометеорологічних умов.

Пропонується обґрунтування технічних параметрів щодо створення автоматизованих засобів формування мікроклімату в ВС АПК на основі програмного забезпечення структурно-функціонального керування енергопотоків живлення СТН БЕТСО в режимі "споживач-регулятор".

**Висновки.** Запропоновані енергоощадні технології та конструкції електротеплоаккумуляційних модулів мають ряд функціональних і експлуатаційних переваг по відношенню до існуючих.

В якості електронагрівників рекомендуються застосовувати спеціальні електронагрівники трубчастого типу (СЕТ) у вигляді спіралей з сталевого дроту, розміщених в негерметизованих ізоляційних трубах в теплоаккумуляційному наповнювачеві.

Робоча температура нагрівання спіралей СЕТ ре-

комендована в межах (250..300 $^{\circ}$ C). Рівень їх нагрівання можна заздалегідь задавати на етапі проектування, формуючи 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 (однорусна конструкція) можуть слугувати основою для подальшого моделювання і вдосконалення конструкції.

#### Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.

2. Мотес Э. Микроклимат животноводческих помещений / Э. Мотес // М.: Колос, 1976. – 190 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, О. С. Сорока // 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.

#### Аннотация

### ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Романченко Н. А., Кунденко Н. П., Кунденко А. Н., Шинкаренко І. Н.

*Исследовано влияние конструктивных параметров теплогенерирующих модулей электрообогревательного пола, как основной системы отопления на процессы формирования заданных параметров микроклимата производственных животноводческих сооружений.*

#### Abstract

### BASES OF RESOURCE ELECTROTECHNOLOGIES IN SYSTEMS OF MICROCLIMATE OF STOCK-RAISING APARTMENTS

N. Romanchenko, N. Kundenko, A. Kundenko, I. Shinkarenko

*The influence of the design parameters of the electric heating of heat-generating units, a strong sex, as the main heating system on the formation of micro-set parameters roklimata industrial livestock facilities.*