

## **ФОРМУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО МІКРОКЛІМАТУ В СВИНАРСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ**

Одним із можливих шляхів збереження теплової енергії у виробничих сільськогосподарських приміщеннях є створення систем локального мікроклімату. При локальному мікрокліматі за рахунок утримання на необхідному рівні параметрів тільки в робочій зоні, а не в цілому по приміщенні вдається досягти зменшення витрат теплової енергії.

У сільськогосподарських будівлях, зокрема в свинарських приміщеннях, при аналізі процесів формування мікроклімату не завжди враховувався циклічний характер поведінки тварини, який полягає в зміні періоду відпочинку (лежачи на підлозі в станку) на період, коли вона стоїть або рухається по станку. Внаслідок цього змінюється і частина поверхні тіла, яка бере участь у променево-конвективному теплообміні з навколишнім середовищем.

У період відпочинку теплообмін між твариною та навколишнім середовищем здебільшого відбувається за рахунок теплопровідності при контакті тіла з підлогою. В цьому випадку спостерігається чітко виражений нестационарний процес. Слід відзначити, що у контакті з підлогою, тобто в положенні лежачи на підлозі, проходить близько 70% усього життя тварини, тому цей вид теплообміну має домінуюче значення.

У разі, коли кількість теплової енергії, яку виробляє тварина в результаті життєдіяльності, більша або менша від загальних тепловтрат у навколишнє середовище, вступає в дію внутрішній механізм терморегулювання. Межі цього терморегулювання обмежені, внаслідок чого у тварин можуть виникати стреси.

Як показали спостереження [1,2], головним фактором, який впливає на самопочуття тварини, є втрати теплоти за рахунок теплопровідності у період, коли тварина відпочиває. Слід також відзначити, що для оцінки впливу на самопочуття тварини необхідно враховувати не відокремлений фактор середовища, а сукупне співвідношення факторів і теплових потоків.

Для аналізу і комплексної оцінки роботи системи терморегуляції тварини розроблена математична модель теплового та повітряного режиму свинарського приміщення.

При складанні системи рівнянь прийнято припущення, що температура повітря в приміщенні, а також температура на внутрішній поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій підтримується на певному рівні за допомогою системи опалення та вентиляції, яка забезпечує необхідні параметри мікроклімату в загальному об'ємі приміщення.

З врахуванням цього припущення система балансних рівнянь, котра описує процес формування локального мікроклімату в станку, буде складатися з рівнянь (1)-(5):

- тобто з рівняння теплового балансу тварини (1);
- рівняння теплового балансу повітря в станку (2);
- рівняння теплового балансу вертикальних огорожувальних конструкцій станка (3);
- рівняння теплового балансу конструкції підлоги станка (4);
- рівняння балансу кількості повітря, що надходить та виходить із станка (5)

$$Q_{\text{янн}} = Q_{\text{тв}}^{\text{к}} + Q_{\text{тв}}^{\text{в}} + Q_{\text{тв}}^{\text{т}}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & c_{\text{пов}} \cdot G_{\text{вх}} \cdot t_{\text{пов}}^{\text{нр}} + \alpha_{\text{підл. в. з.}}^{\text{к}} \cdot F_{\text{підл. в. з.}} \cdot (t_{\text{підл. в. з.}} - t_{\text{пов}}^{\text{ст}}) + \\ & + \alpha_{\text{тв}}^{\text{к}} \cdot F_{\text{тв}}^{\text{к}} \cdot (t_{\text{тв}} - t_{\text{пов}}^{\text{ст}}) + \alpha_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{к}} \cdot F_{\text{ог. ст. вн.}} \cdot (t_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{вн}} - t_{\text{пов}}^{\text{нр}}) - \\ & - c_{\text{пов}} \cdot G_{\text{вих}} \cdot t_{\text{пов}}^{\text{ст}} = c_{\text{пов}} \cdot M_{\text{пов}} \cdot \frac{dt_{\text{пов}}^{\text{ст}}}{d\tau}, \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \alpha_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{в}} \cdot F_{\text{ог. ст. вн.}} \cdot (t_{\text{тв}} - t_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{вн}}) - \alpha_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{к}} \cdot F_{\text{ог. ст. вн.}} \cdot (t_{\text{ог. ст. вн.}}^{\text{вн}} - t_{\text{пов}}^{\text{нр}}) - \\ & - \alpha_{\text{ог. ст. зовн.}}^{\text{к}} \cdot F_{\text{ог. ст. зовн.}} \cdot (t_{\text{зовн.}}^{\text{зовн.}} - t_{\text{пов}}^{\text{нр}}) - \\ & - \alpha_{\text{ог. ст. зовн.}}^{\text{в}} \cdot F_{\text{ог. ст. зовн.}} \cdot (t_{\text{зовн.}}^{\text{зовн.}} - t_{\text{ог. прим.}}^{\text{вн}}) = c_{\text{ог}} \cdot M_{\text{ог}} \cdot \frac{dt_{\text{ог}}^{\text{ст}}}{d\tau}, \quad (3) \end{aligned}$$

$$Q_{\text{т}}^{\text{т}} = Q_{\text{підл. в. з.}}^{\text{к}} + Q_{\text{підл. в. з.}}^{\text{в}} + Q_{\text{ак}} + Q_{\text{підл. н. з.}}^{\text{к}} + Q_{\text{підл. н. з.}}^{\text{в}}, \quad (4)$$

$$G_{\text{вх}} = G_{\text{вих}}. \quad (5)$$

Основна складність при рішенні даної системи рівнянь полягає в розрахунку кількості теплоти  $Q_{ак}$ , яку акумулює чи віддає підлога в залежності від того, стоїть тварина чи спочиває. Попередні дослідники [3] для оцінки теплового режиму підлоги в тваринницькому приміщенні розглядали двохмірну задачу нестационарної теплопровідності. Натурний експеримент, який був проведений до складання математичної моделі, засвідчив про нерівномірність розподілу ізотерм на поверхні підлоги, тому в свинарських приміщеннях необхідно розглядати трьохмірну задачу. Таким чином, кількість теплоти  $Q_{ак}$  можна визначати в результаті рішення рівняння нестационарної теплопровідності у вигляді:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

при відповідних граничних та часових умовах.

У рівняннях (1÷6):  $Q_{явн}$  — явні тепловтрати тварини в навколишнє середовище, Вт;  $Q_{тв}^k$ ,  $Q_{тв}^p$ ,  $Q_{тв}^r$  — тепловтрати тварини за рахунок конвекції, випромінювання та теплопровідності, Вт;  $c_{пов}$ ,  $c_{ог}$  — питомі теплоємності повітря та огороження станка, Дж/(кг · °C);  $G_{вх}$ ,  $G_{вих}$  — масові витрати повітря, що надходить в станок та виходить із нього, кг/сек;  $t_{пов}^{пр}$ ,  $t_{пов}^{ст}$  — температура повітря в приміщенні свинарника та у станку, °C;  $t_{ог. ст}^{вн}$ ,  $t_{ог. ст}^{зовн}$  — температура на внутрішній та зовнішній поверхні огороження станка, °C;  $t_{ог. пр}^{вн}$  — температура на внутрішній поверхні зовнішнього огороження приміщення, °C;  $t_{тв}$  — середня температура поверхні тіла тварини, °C;  $t_{підл. в. з}$  — середня температура верхньої поверхні конструкції підлоги, °C;  $M_{пов}$ ,  $M_{ог}$  — відповідно маса повітря та огорожувальних конструкцій станка, кг;  $F_{ог. ст}$ ,  $F_{підл}$ ,  $F_{тв}^k$  — площа поверхні відповідно огороження станка, підлоги станка та тіла тварини, які беруть участь у променево-конвективному теплообміні, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{тв}^k$  — коефіцієнт конвективного теплообміну біля поверхні тіла тварини, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  $\alpha_{ог. ст. вн}^k$ ,  $\alpha_{ог. ст. зовн}^k$  — коефіцієнти конвективного теплообміну на внутрішній та зовнішній поверхнях огороження станка, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  $\alpha_{ог. ст. вн}^p$ ,  $\alpha_{ог. ст. зовн}^p$  — коефіцієнти променевого теплообміну на внутрішній та зовнішній поверхнях огороження станка, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  $\alpha_{підл. в. з}^k$  — коефіцієнт конвективного теплообміну біля верхньої поверхні підлоги станка, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  $Q_{підл. в. з}^k$ ,  $Q_{підл. в. з}^p$  — теплові потоки за рахунок конвекції та випромінювання від верхньої поверхні підлоги станка, Вт;  $Q_{підл. н. з}^k$ ,  $Q_{підл. н. з}^p$  — теплові потоки за рахунок конвекції та випромінювання від нижньої поверхні підлоги станка, Вт;  $Q_{ак}$  — кількість теплоти, що акумулює підлога під час відпочинку

тварини, Вт;  $t$  — температура в будь-якій точці підлоги ( $t = f(x, y, z, \tau)$ ), °С;  $\tau$  — час, сек;  $x, y, z$  — осі координат;  $a$  — коефіцієнт температуро-провідності матеріалу, м<sup>2</sup>/сек.

Для визначення кількості повітря, що надходить та відводиться зі станка, наведену систему рівнянь необхідно доповнити рівнянням:

$$G_{\text{вих}} = 0,182 \cdot \rho_{\text{вих}} \cdot H \cdot \sqrt[3]{\frac{g \cdot Q_{\text{тв}}^{\text{к}} \cdot H^2}{c_{\text{пов}} \cdot \rho_{\text{вих}} \cdot (t_{\text{пов}} + 273)}}, \quad (7)$$

де  $t_{\text{пов}}$  — температура повітря, що виходить зі станка, °С;  $\rho_{\text{вих}}$  — густина повітря, що виходить із станка, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  — відстань від джерела теплоти (тварини) до перетину, в якому визначається витрата повітря, м;  $g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $Q_{\text{тв}}^{\text{к}}$  — тепловтрати тварини за рахунок конвекції, кВт;  $c_{\text{пов}}$  — питома теплоємність повітря, кДж/(кг · °К).

Математична модель (1) ÷ (6) записана для випадку, коли між конструкцією підлоги приміщення і конструкцією підлоги станка існує повітряний прошарок.

У свинарських виробничих приміщеннях підлога може влаштовуватися безпосередньо на ґрунті або її зводять над ґрунтом таким чином, що між нижньою поверхнею та ґрунтом приміщення створюється повітряний прошарок.

У випадку, коли підлога влаштовується безпосередньо на ґрунті, теплообмін між свинею і конструкцією підлоги в період відпочинку в першому наближенні можна розглядати як процес нагрівання напівобмеженого масиву джерелом теплоти постійної температури, тому при розгляді системи балансних рівнянь замість рівняння (4) необхідно використовувати рівняння теплового балансу конструкції підлоги на ґрунті у вигляді:

$$Q_{\text{ж}}^{\text{т}} = Q_{\text{підл. в. з}}^{\text{к}} + Q_{\text{підл. в. з}}^{\text{в}} + Q_{\text{ак}} \quad (8)$$

У випадку, коли підлога станка піднята над поверхнею ґрунту, теплообмін між свинею та конструкцією підлоги за рахунок теплопровідності можна розглядати як нагрівання джерелом теплоти постійної температури плоскої пластини, при граничних умовах першого та третього роду.

Якщо тварина стоїть, то явні втрати теплоти здебільшого відбуваються за рахунок конвекції та випромінювання. Втрати теплоти за рахунок теплопровідності в цьому випадку незначні і їх можна не враховувати.

Як уже відзначалось, під час відпочинку тварина значну частину теплоти втрачає за рахунок теплопровідності внаслідок контакту тіла з поверхнею підлоги. Кількість цієї теплоти залежить від теплотехнічних характеристик матеріалу підлоги, її конструкції, товщини, а також часу, протягом якого відбувається контакт тварини з підлогою.

Аналітичне розв'язання системи рівнянь (1) ÷ (6) має певні проблеми. Для розв'язання цієї математическої моделі, було використано скінченно-різницеий метод. Алгоритм рішення поставленої задачі включає розв'язання рівняння нестационарної теплопровідності при граничних та часових умовах. Часові умови для моменту часу  $\tau = 0$  можуть бути представлені функцією:  $t(x, y, z, \tau) = t_{\text{пов}}^{\text{CT}}$ , де  $t_{\text{пов}}^{\text{CT}}$  — температура повітря в станку. В момент часу  $\tau = \infty$  часові умови набувають вигляду:  $t(x, y, z, \tau) = f(x, y, z)$ .

Просторові умови належать до геометричної форми конструкції підлоги в станку (напівобмежений масив чи пластина), а також залежать від розташування тварини на поверхні підлоги. У зоні контакту тварини з конструкцією підлоги спостерігаються граничні умови I роду ( $t_{\text{підл. в. з}} = \text{const}$ ). На поверхні підлоги, що не зайнята спочиваючою твариною, — граничні умови III роду. Процес теплообміну на верхній поверхні конструкції підлоги, де спостерігаються граничні умови III роду, може бути представлений таким рівнянням:

$$-\lambda \cdot \frac{dt}{dn}(x, 0, z) = \alpha^{\text{к}}_{\text{підл. в. з}} \cdot [(t_{\text{підл. в. з}}(x, 0, z, \tau) - t_{\text{пов}}^{\text{CT}}(\tau))] + \alpha^{\text{в}}_{\text{підл. в. з}} \cdot [(t_{\text{підл. в. з}}(x, 0, z, \tau) - t_{\text{ог. ст}}^{\text{III}}(\tau)), \quad (9)$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт теплопровідності матеріалу підлоги, Вт/(м · °С);

$\frac{dt}{dn}$  — температурний градієнт, °С/м.

Для розв'язання рівняння нестационарної теплопровідності була розроблена програма "АКУМ", яка дає можливість визначити кількість акумульованої масивом підлоги теплоти для будь-якого інтервалу часу з урахуванням циклічної зміни періоду відпочинку на період, коли тварина стоїть.

Після розв'язування рівняння нестационарної теплопровідності для кожного інтервалу часу визначається температура повітря в станку і температура вертикальних огороджувальних конструкцій станка. Потім

розраховуються складові променево-конвективного теплообміну тварини і підсумкове значення кількості теплової енергії, що втрачається твариною в навколишнє середовище за даний проміжок часу. Таким чином, розв'язується повна математична модель визначеної задачі, завдяки чому можна виконати аналіз формування локального мікроклімату у станку.

За допомогою розробленої математичної моделі та програми розрахунків були проведені дослідження теплового режиму підлог із різних матеріалів, що застосовуються в станках свинарників. При розрахунках змінювались: вид матеріалу підлоги, його теплопровідність та щільність, товщина конструкції підлоги  $\delta$ . При цьому розрахунки були проведені для підлог, що розташовані безпосередньо на ґрунті приміщення, та для підлог, зведених над рівнем ґрунту приміщення.

На основі розрахунків для кожного варіанта підлоги були побудовані графіки середнього значення кількості теплової енергії  $Q_{ак}$  (рис. 1), котру закумулювала (заштрихована площа зі знаком "+") чи віддала (заштрихована площа зі знаком "-") підлога за відповідний період відпочинку або період, коли тварина стоїть.

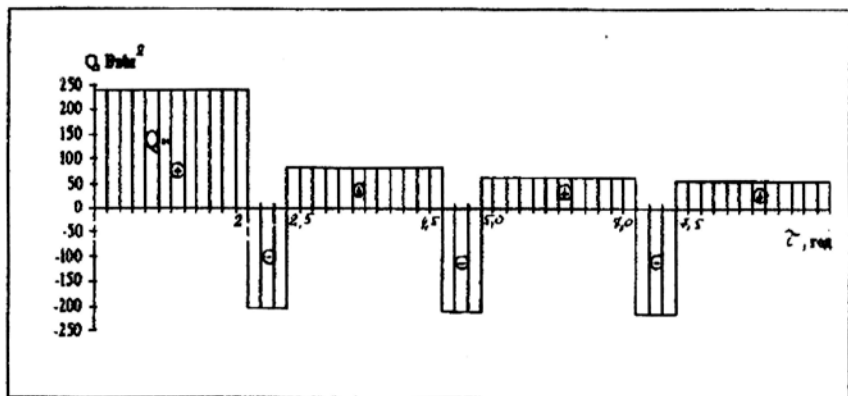


Рис. 1. Середній тепловий потік протягом відповідного інтервалу часу

Відповідно до відомчих норм технологічного проектування для свинарських підприємств (ВНТП-СГІП-46-2.95) за контрольний проміжок часу, що дорівнює двом годинам, значення середнього потоку теплоти у підлогу від тварини повинно бути не вище: для свиней на відгодівлі —  $200 \text{ Вт/м}^2$ ; для інших груп —  $170 \text{ Вт/м}^2$ .

Якщо проаналізувати рис. 1, який побудований на основі розрахунків для підлоги із керамзитобетону товщиною 100 мм, то можна зробити висновок, що така конструкція підлоги не відповідає нормам, так як середній тепловий потік від тварини в конструкцію підлоги становить  $240 \text{ Вт/м}^2$  за перші дві години контакту.

Таким чином, розроблена математична модель дає можливість проаналізувати, чи відповідає певна конструкція підлоги вимогам норм технологічного проектування.

### Використана література

1. Студенцов П. Н. Теплые полы в животноводческих помещениях. — М.: Стройиздат, 1974. — 71 с.
2. Онегов А. П., Храбустовский И. Ф., Черных В. И. Гигиена сельскохозяйственных животных. — М.: Колос, 1972. — 432 с.
3. Гиндоян А. Г. Тепловой режим конструкций полов. — М.: Стройиздат, 1984. — 222 с. — (Экономия топлива и электроэнергии).