

УДК 63:535.21

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО
РЕЖИМУ ПРИМІЩЕНЬ З ЛОКАЛЬНИМ ЕЛЕКТРООБІГРІВОМ
МОЛОДНЯКА ТВАРИН**

В. О. Грищенко, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: vlgr@nubip.edu.ua

Анотація. Розглянуто теоретичний аналіз теплових процесів приміщення для утримання тварин, які обладнано системами локального обігріву молодняка тварин. Для аналізу теплових процесів в тваринницькому приміщенні зроблено припущення, які значно спрощують процедуру моделювання: приміщення розглядається, як об'єкт із зосередженими параметрами; повітря в приміщенні ідеально переміщується; коефіцієнти теплообміну в часі не змінюються і дорівнюють середнім значенням за час перехідного процесу. В зв'язку з наявністю в приміщенні різних ємностей, здатних акумулювати теплову енергію, при складанні диференціальних рівнянь для кожної із них складається окремий тепловий баланс. З урахуванням зроблених припущень і прийнятої схеми процесу складено рівняння теплового балансу для наступних ємностей: повітря, зовнішнє огороження, електронагрівальний килимок, випромінювач. Застосовуючи перетворення Лапласа для отриманої лінеаризованої системи рівнянь з урахуванням припущень і нульових початкових умов одержано рівняння типу «Вхід-вихід» для основних теплових ємностей об'єкту та складена структурна схема, яка являє лінійну модель динаміки теплового режиму системи локального обігріву молодняка тварин і теплового режиму приміщення свинарника-маточника при дії керуючих і збурювальних факторів.

Ключові слова: тваринницьке приміщення, температура повітря, електронагрівальний килимок, ІЧ випромінювач

Актуальність. Одним із способів збільшення виробництва продукції тваринництва, який забезпечую одночасно значну економію енергоресурсів, є введення в енергетичну систему тваринницьких приміщень з молодняком засобів місцевого – локального електрообігріву.

Використання інфрачервоних (ІЧ) і кондуктивних (контактних) електротехнічних обігрівачів, призначених для створення молодняку сільськогосподарських тварин і птиці оптимальних теплових умов безпосередньо в

локальних зонах розміщення дозволяє суттєво знизити тепловий фон в приміщеннях і забезпечити значну (до 50 %) економію енергії, що витрачається на електрообігрів. Підтримування створених оптимальних теплових режимів зумовлює необхідність автоматизації керування електротехнічними засобами локального електрообігріву. Для синтезу систем автоматичного керування параметрами локального електрообігріву необхідно мати математичну формалізацію статичних і динамічних характеристик, як засобів локального електрообігріву так і приміщення для утримання молодняка тварин в цілому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Необхідність, доцільність і ефективність використання сучасних засобів локального електрообігріву молодняка тварин в достатній мірі висвітлена в узагальнюючих роботах [1–6]. Питання застосування ІЧ-обігріву молодняка тварин викладено в роботах [1–4], розрахунок параметрів і режимів роботи ІЧ-випромінювачів в тваринницьких приміщеннях подано в роботах [3–4].

Обґрунтування енергетичних параметрів і розрахунок режимів локальних електрообігрівачів частин підлоги та спеціальних електронагрівальних килимків (панелей) наведено в роботах [6–7]. Моделювання процесів теплової взаємодії тварин з оточуючим середовищем приміщень детально висвітлено в роботі [5]. Але незважаючи на наявність різних методів розрахунку обладнання і моделей теплових процесів, математичний опис динамічних режимів функціонування електричних засобів локального обігріву в літературі висвітлено недостатньо.

Мета дослідження – створення удосконаленого математичного опису нестационарних теплових режимів приміщення для утримання молодняка тварин при наявності засобів локального електрообігріву.

Матеріали та методи дослідження. Специфіка досліджуваного об'єкта, який характеризується в загальному випадку, наявністю двох типів електроопалювальних приладів (опромінювач, електронагрівальний килимок) які можуть бути розміщені в будь-якій спосіб в приміщенні зумовлює доцільність використання аналітичного методу досліджень без конкретизації конструктивних параметрів об'єкта. В основу

теоретичних досліджень покладено аналіз балансових співвідношень у формі системи диференціальних рівнянь структурних моделей і передатних функцій.

Результати досліджень та їх обговорення. Математичний опис об'єкта керування служить основою для проектування систем автоматичного управління тепловими режимами. Точність наближення математичної моделі реальним процесам визначає якість розрахунків САК, а іноді і принцип керування.

Опис принципової схеми приміщення для утримання тварин з локальним електрообігрівом молодняка.

Зовнішнє припливне повітря з температурою t_z попередньо підігрівається до температури t_1 в калорифері та повільно (із швидкістю 0.1...0.15 м/с) циркулює в об'ємі приміщення, поглинаючи надлишки вологи і теплоти, та видаляється з приміщення вентилятором з температурою t_2 . Молодняк тварин (поросята), як правило лежить на обігріваній частині підлоги (електронагрівальний килимок), температура якої θ_k ; теплота до нижньої частини тулубу тварин передається кондуктивно через нижню частину їхньої поверхні F_{mv} . Теплота від частини поверхні килимка не зайнятої тваринами F_k передається конвекційним способом повітрю і шляхом випромінювання – до внутрішніх частин поверхні будівлі. Локальний обігрів верхньої частини поверхні тварин здійснюється зверху ІЧ-випромінювачем, еквівалентна (ефективна) температура якого дорівнює θ_{vn} (ефективна температура – це середньозважена температура усіх поверхневих елементів випромінювача). Випромінювач генерує на поверхню тварин енергетичне опромінення величиною E_{nm} , яке використовується корисно і втрачає теплоту в оточуюче середовище: конвекцією в повітря і випромінюванням до поверхні огороження.

Температура повітря, що подається в приміщення t_1 стабілізуються САК на заданому рівні, а вологість стабілізуються САК відносної вологості; таким чином величини t_1 і φ_1 є постійними ($t_1, \varphi_1 = const$).

При аналізі динаміки температурного режиму приміщення утримання тварин недостатньо врахувати тільки теплоакумулюючі властивості внутрішнього повітря. В тваринницьких приміщеннях з локальною системою електрообігріву молодняка тварин теплоакумулюючих ємностей (середовищ) як мінімум чотири: повітря, зовнішнє огороження, електронагрівальний килимок, випромінювач. При розміщенні електрокалорифера за межами об'єму приміщення його теплова інерційність не враховується.

В зв'язку з наявністю в приміщенні різних ємностей, здатних акумулювати теплову енергію, при складанні диференціальних рівнянь для кожної із них складається окремий тепловий баланс. При цьому враховуються наступні фактори:

- надходження теплоти за рахунок тепловиділень тварин;
- надходження теплоти від джерел електрообігріву;
- теплові втрати з вентиляційним повітрям;
- затрати теплоти на випаровування з підлоги;
- теплообмін між внутрішніми і зовнішніми поверхнями огороження і повітрям;
- тепловіддача приладами локального обігріву: конвекційним способом і випромінюванням;
- тепловіддача поверхнею тварин у зовнішнє середовище.

Указані фактори схематично представлені розрахунковою схемою на рис. 1.

В цілому об'єкт моделювання може бути описано системою диференціальних рівнянь (тобто рівнянь для кожної з названих вище ємностей).

При аналізі теплових процесів в тваринницькому приміщенні зроблено припущення, які значно спрощують процедуру моделювання: приміщення розглядається, як об'єкт із зосередженими параметрами; повітря в приміщенні ідеально переміщується; коефіцієнти теплообміну в часі не змінюються і дорівнюють середнім значенням за час перехідного процесу.

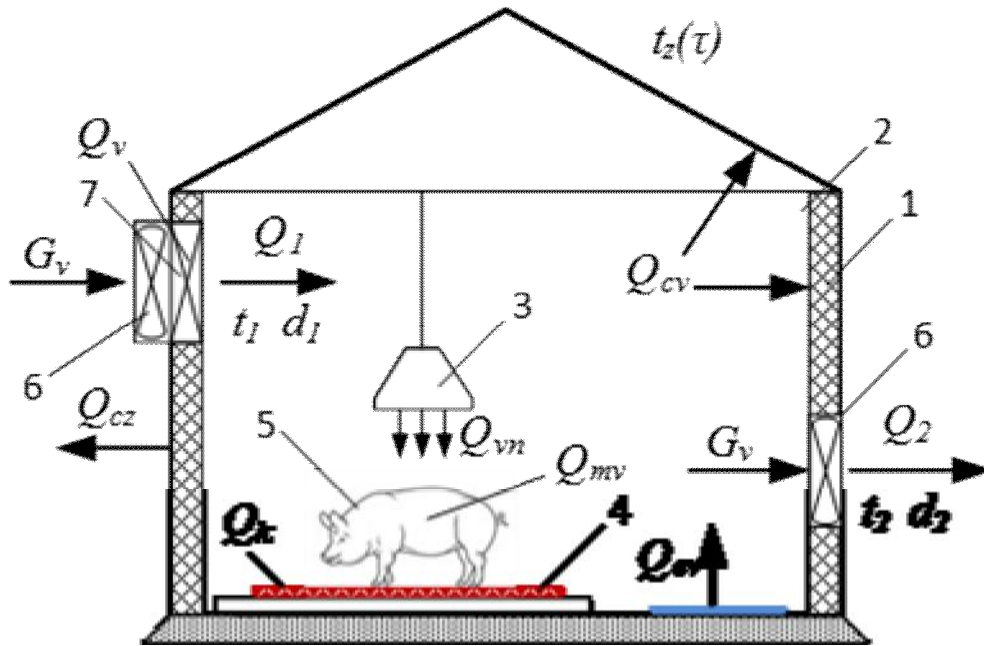


Рис. 1. Розрахункова схема теплових потоків у тваринницькому приміщенні із локальним обігрівом тварин:

1 – будівля; 2 – повітряний об’єм приміщення; 3 – ПЧ-випромінювач;
4 – електронагрівальний килимок; 5 – тварина; 6 – вентилятор; 7 – калорифер

З урахуванням зроблених припущень і прийнятої схеми процесу складемо рівняння теплового балансу для кожної з названих ємностей:

для повітря в приміщенні:

$$dQ_m - dQ_v + dQ_k + dQ_{vn} - dQ_{cv} - dQ_{ev} = m_v c_p \frac{dt_v}{d\tau}, \quad (1)$$

для огороження:

$$dQ_{cv} + dQ_{m-cv}^r + dQ_{vn-cv}^r - dQ_{cz} = m_c c_c \frac{d\theta_c}{d\tau}, \quad (2)$$

для електронагрівального килимка:

$$dQ_k - dQ_{k-v}^r - dQ_{k-m} = m_k c_k \frac{d\theta_k}{d\tau}, \quad (3)$$

для випромінювача:

$$dQ_{vn} - dQ_{vn-m}^r - dQ_{vn-cv}^r - dQ_{vn-v} = m_{vn} c_{vn} \frac{d\theta_{vn}}{d\tau}, \quad (4)$$

для поверхні тварин (шкіряний покрив):

$$dQ_m + dQ_{vn-m}^r - dQ_{m-v} - dQ_{m-cv}^r + dQ_{k-m} = m_m c_m \frac{d\theta_{nm}}{d\tau}. \quad (5)$$

В рівняннях (1) – (5) використано такі позначення: dQ_m – тепловиділення тварин, Вт; dQ_v – теплота затрачена на нагрівання припливного (вентиляційного) повітря, Вт; dQ_k – теплота, що віддається вільною поверхнею килимка, Вт; dQ_{vn} – теплота, що віддається поверхнею випромінювача, Вт; dQ_{ev} – теплота, яка витрачається на випаровування води з підлоги, Вт; dQ_{cv} – теплота, що віддається внутрішнім повітрям стінам, стелі, підлозі, Вт; dQ_{m-cv}^r – теплота, що віддається випромінюванням поверхнею тварин до внутрішньої поверхні огороження, Вт; dQ_{vn-cv}^r – теплота, яка передається від випромінювача до внутрішнього огороження, Вт; dQ_{cz} – теплові витрати від зовнішньої поверхні огороження у зовнішнє повітря, Вт; dQ_{k-v}^r – теплота, що віддається поверхнею килимка конвекційно-радіаційним шляхом в оточуюче середовище (повітря), Вт; dQ_{k-m} – теплота якою обмінюється тварина з килимком, Вт; $dQ_{vn-m}^r = dQ_{l-m} + dQ_{e-m}$ – теплота, яка передається від випромінювача до поверхні тварин, Вт; dQ_{l-m} – теплота від лампи до поверхні тварини, Вт; dQ_{e-m} – теплота від екрану до поверхні тварини, Вт; dQ_{m-v} – теплота, що відводиться випромінюванням від поверхні тварин, Вт; $m_v c_p$, $m_c c_c$, $m_k c_k$, $m_m c_m$ – відповідно теплоємність повітря, огороження, килимка, тварин, Дж/°С; $m_{vn} c_{vn} = m_l c_l + m_e c_e$ – теплоємність випромінювача, Дж/°С; $m_l c_l$, $m_e c_e$ – відповідно теплоємність лампи і екрану, Дж/°С; $t_v, \theta_c, \theta_k, \theta_{vn}, \theta_{nm}$ – відповідно температура повітря, огороження, килимка, випромінювача, поверхні тварин, °С; τ – поточний час, с.

Дана система диференціальних рівнянь досить повно описує процеси тепло- і масообміну, що відбуваються в приміщенні для утримання тварин з локальним обігрівом молодняка і найбільше відповідає загальному випадку. Задаючись

конкретними умовами, дану систему рівнянь можна привести до вигляду, відповідному до конкретного об'єкта.

Для розгорнення системи рівнянь використовуються відомі формули теорії теплопередачі та масообміну.

Ефективне випромінювання і радіаційний теплообмін (теплообмін випромінюванням між двома поверхнями) визначається за формулами:

$$E_{nm} = (E_0 - st_v) \left(1 - \frac{D}{L}\right); \quad (6)$$

$$Q_{vn, nm, k}^r = c_0 \varepsilon_{np} K \left[\left(\frac{\theta_{vn, nm, k} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_{nm} + 273}{100} \right)^4 \right] \phi; \quad (7)$$

де $c_0 = 5.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; $\varepsilon_{np} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{vn}} + \frac{F_{vn}}{F_{nm}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{nm}} - 1 \right) \right]^{-1}$; $\phi = \frac{F_{vn}}{F_{nm}}$; E_0 – оптимальна

опроміненість тварини, що знаходиться в перші години народження при $t_v = 0^\circ\text{C}$ (для поросят $E_0 = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$); s – температурний градієнт опроміненості ($s = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$); D, L – вік тварин (дні) і кількість днів повної адаптації тварин ($L = 100$ дн.); F_{vn}, F_{nm} – поверхня випромінювання і поглинання, м^2 ; K – коефіцієнт поглинання променистої енергії повітря приміщення.

Конвекційний теплообмін між відповідними поверхнями всередині приміщення і ззовні визначається:

$$Q = \alpha_{ki} F_i (\theta_i - \theta_j); \quad (8)$$

де F_i – поверхня поділу тіла і середовища, м^2 ; $\alpha_{ki} = 5.3 + 3.5v$ – коефіцієнт конвекційного теплообміну поверхні тіла і середовища (далі в тексті α_k) [6], $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; v – швидкість переміщення повітря відносно поверхні; $\theta_i - \theta_j$ – різниця температур (потенціал переносу) тепловіддаючої поверхні і теплосприймаючого середовища, $^\circ\text{C}$.

Теплота, що витрачається на випаровування вологи із відкритих поверхонь визначається за формулою Дальтона:

$$Q_{ev} = r_0 \frac{dW}{d\tau} = \beta F_{ev} (P_n''(t) - P_n), \quad (9)$$

де β, F_{ev} – коефіцієнт масообміну, кг/(с·м²·Па), і поверхня випаровування, м², відповідно; $P_n''(t)$ – парціальний тиск пари у насиченому повітрі, Па; P_n – парціальний тиск водяної пари в повітрі приміщення, Па.

Величина тиску пари в насиченому повітрі в залежності від температури визначається з емпіричної формули:

$$P_n''(t) = at + c. \quad (10)$$

Повітрообмін в приміщенні визначається за формулою:

$$Q_{no} = Q_{np} - Q_{vout} = G_v c_p (t_v - t_1), \quad (11)$$

де G_v – масові витрати вентиляційного повітря, кг/с; c_p – теплоємність повітря, Дж/(кг·°С); t_1 – температура припливного повітря, °С.

Після підстановки окремих складових і їх групування, математичний опис теплових процесів у приміщенні утримання тварин з локальним обігрівом, у нестационарному режимі в цілому представлена у вигляді системи нелінійних рівнянь:

випромінювач:

$$m_l c_l \frac{d\theta_l}{d\tau} = P_l - c_1 F_{l-nm} (T_l^4 - T_{nm}^4) - c_2 F_{l-e} (T_l^4 - T_e^4) - \alpha_k F_l (\theta_l - t_v), \quad (12)$$

екран:

$$m_e c_e \frac{d\theta_e}{d\tau} = c_2 F_{l-e} (T_l^4 - T_e^4) - c_3 F_{e-nm} (T_e^4 - T_{nm}^4) - c_4 F_{e-c} (T_e^4 - T_c^4) - c_5 F_{e-k} (T_e^4 - T_k^4) - \alpha_k F_e (\theta_e - t_v), \quad (13)$$

тварина:

$$m_{nm} c_{nm} \frac{d\theta_{nm}}{d\tau} = c_1 F_{l-nm} (T_l^4 - T_{nm}^4) + c_3 F_{e-nm} (T_e^4 - T_{nm}^4) + Q_{mv} - c_6 F_{nm-c} (T_{nm}^4 - T_c^4) - \alpha_k F_{nm} (\theta_{nm} - t_v) - \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} (\bar{\theta}_{mv} - \theta_k), \quad (14)$$

електронагрівальний килимок:

$$m_k c_k \frac{d\theta_k}{d\tau} = P_k - \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} (\theta_k - \bar{\theta}_{mv}) - \alpha_k F_k (\theta_k - t_v) - c_7 F_{k-c} (T_k^4 - T_c^4), \quad (15)$$

повітря:

$$m_v c_p \frac{dt_v}{d\tau} = 2G_v c_p (t_1 - t_v) + \alpha_k F_l (\theta_l - t_v) + \alpha_k F_e (\theta_e - t_v) + \\ + \alpha_k F_k (\theta_k - t_v) + \alpha_k F_{mv} (\theta_{nm} - t_v) - \alpha_c F_{cv} (t_v - \theta_c) - r_0 \frac{dW}{d\tau}, \quad (16)$$

огороження:

$$m_c c_c \frac{d\theta_c}{d\tau} = \alpha_c F_{cv} (t_v - \theta_c) - c_4 F_{e-c} (T_e^4 - T_c^4) + \\ + c_6 F_{nm-c} (T_{nm}^4 - T_c^4) + c_7 F_{k-c} (T_k^4 - T_c^4) - \alpha_c F_{cz} (\theta_c - t_z) \quad (17)$$

де $T_i = \frac{273 + \theta_i}{100}$.

У системі рівнянь (12) – (17) позначено: $\theta_l, \theta_e, \theta_{nm}, \theta_k, \theta_c, t_v, \bar{\theta}_{mv}$ – температура відповідно, ІЧ лампи, екрана ІЧ випромінювача, поверхні тварин, електронагрівального килимка, стін будівлі, повітря, тварин, °С; $c_1 - c_7$ – приведені коефіцієнти випромінювання між відповідними поверхнями F_{i-j} , Вт/(м²·°С); $F_{l-nm}, F_{l-e}, F_{l-c}, F_{e-nm}, F_{e-c}, F_{e-k}, F_{l-k}, F_{nm-c}, F_{k-c}$ – поверхні між якими відбувається радіаційний теплообмін: ІЧ лампа – поверхня тварин, ІЧ лампа – екран ІЧ випромінювача, ІЧ лампа – стіна, екран ІЧ випромінювача – поверхня тварин, екран ІЧ випромінювача – стіни, екран ІЧ випромінювача – килимок, ІЧ лампа – килимок, поверхня тварин – стіна, килимок – стіна, м²; α_k – коефіцієнт конвекційної тепловіддачі (Вт/(м²·°С)) поверхонь: $F_l, F_e, F_{nm}, F_{mv}, F_k, F_{cv}, F_{cz}$ – ІЧ лампи, екрану ІЧ випромінювача, поверхні тварин, контактна поверхня тварин, килимка, внутрішніх стін, зовнішніх стін, м²; P_l, P_k – електрична потужність ІЧ лампи і килимка, Вт; $m_l, m_e, m_{nm}, m_k, m_c, m_v$ – маса відповідно, ІЧ лампи, екрана ІЧ випромінювача, поверхні тварин, нагрівального килимка, стін будівлі, повітря, кг; $c_l, c_e, c_{nm}, c_k, c_c, c_p$ – питома теплоємність відповідно, ІЧ лампи, екрана ІЧ випромінювача, поверхні тварин, електронагрівального килимка, стін будівлі,

повітря, Дж/(кг·°C); R_{mv-k} – контактний опір лежачої тварини і поверхні килимка, (м²·°C)/Вт.

Система рівнянь (12) – (17) досить повно описує тепловий режим в приміщенні для утримання молодняка тварин із загально-обмінною вентиляцією, підігрівом припливного повітря (t_1) і локальним обігрівом ІЧ-випромінювачами та електронагрівальними килимками. При цьому потужність інфрачервоних ламп, електронагрівальних килимків та температура припливного повітря, яке нагрівається в калорифері є відомими величинами. Задача подальших досліджень полягає у визначенні динаміки змінення температур, повітря, поверхні тварин та засобів локального обігріву. Для спрощення даної постановки задачі приймемо додаткові припущення, сутність яких в основному зводиться до лінеаризації нелінійних членів рівнянь і пониженню порядку системи.

Провівши лінеаризацію рівняння, які характеризують променевий теплообмін, представляючи густину променевого потоку у вигляді аналогічному виразу для конвекційного теплообміну [10], а саме:

$$q_{vn} = c_{np_i} (T_1^4 - T_2^4) = \alpha_{np}^r (t_1 - t_2), \quad (18)$$

де $\alpha_{np}^r = c_{np_i} (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2) = \alpha'$; $\alpha'' = \alpha' + \alpha_k$; $c_{np_i} = \varepsilon_{np} \sigma_0 10^{-8}$; $T_1(t_1)$, $T_2(t_2)$ – температури випромінюючої і сприймаючої (поглинальної) поверхонь, відповідно °К і °C.

За аналогією з поняттям «радіаційна температура» лампи, введемо визначення «еквівалентна радіаційна температура» випромінювача, тобто температура пристрою який містить ІЧ лампи, арматуру, відбивальний екран-корпус і має сумарну теплову ємність ($m_l c_l + m_e c_e$).

Таким чином рівняння (12) – (13) замінимо одним рівнянням, що описує змінення температури випромінювача $\theta_{vn}(\tau)$.

Огородження тваринницького приміщення, являє собою «теплову ємність» (непомірно більшу за всі інші, в яких перехідні процеси відбуваються набагато швидше тому при аналізі динаміки елементів обладнання можна прийняти

температуру огороження сталою величиною або врахувати теплові витрати через коефіцієнт теплопередачі. В цьому випадку систему рівнянь можна спростити до чотирьох, відповідних теплових ємностей:

ІЧ-випромінювач:

$$m_{vn}c_{vn} \frac{d\theta_{vn}}{d\tau} = P_l - (\alpha'_{np}F_{nm} + \alpha'_{np}F_{vn-c} + \alpha'_{np}F_{vn} + \alpha''_{np}F_{vn})\theta_{vn} + \alpha'_{np}F_{nm}\theta_{nm} + \alpha'_{np}F_{vn-c}\bar{\theta}_c + \alpha'_{np}F_{vn}\theta_k + \alpha''_{np}F_{vn}t_v, \quad (19)$$

тварини:

$$m_{nm}c_{nm} \frac{d\theta_{nm}}{d\tau} = Q_{mv} - \left(\alpha'_{np}F_{nm} + \alpha'_{np}F_{nm-c} + \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} \right) \theta_{nm} + \alpha'_{np}F_{nm}\theta_{vn} + \alpha'_{np}F_{nm-c}\bar{\theta}_c + \alpha_k F_{nm}t_v + \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} \theta_k, \quad (20)$$

електронагрівальний килимок:

$$m_k c_k \frac{d\theta_k}{d\tau} = P_k - \left(\frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} + \alpha_k F_k \right) \theta_k + \alpha_k F_k t_v + \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} \bar{\theta}_{mv}, \quad (21)$$

повітря в об'ємі приміщення:

$$m_v c_p \frac{dt_v}{d\tau} = -(2G_v c_p + \alpha_k (F_l + F_e) + \alpha_k F_k + \alpha_k F_{mv} + \alpha_c F'_c) t_v + 2G_v c_p t_1 + \alpha_k (F_l + F_e) \theta_{vn} + \alpha_k F_k \theta_k + \alpha_k F_{mv} \theta_{nm} + \alpha_c F'_c \bar{\theta}_c - r_0 \frac{dW}{d\tau}. \quad (22)$$

Записуючи змінні величини $x_i = x_{i_0} + \Delta x_i$ відповідно до [9] підставляючи їх значення в рівняння (19–22), віднімаючи від отриманих рівнянь їх статичні аналоги (похідні в часі дорівнюють нулю) і нехтуючи членами другого ступеню малосності отримаємо:

$$T_{vn} \frac{d\Delta\theta_{vn}}{d\tau} + \Delta\theta_{vn} = k_{01}^{-1} \Delta P_l + k_1 \Delta\theta_{nm} + k_2 \Delta\theta_c + k_3 \Delta\theta_k + k_4 \Delta t_v, \quad (23)$$

$$T_{nm} \frac{d\Delta\theta_{nm}}{d\tau} + \Delta\theta_{nm} = k_{02}^{-1} \Delta Q_{mv} + k_5 \Delta\theta_{vn} + k_6 \Delta\bar{\theta}_c + k_7 \Delta t_v + k_8 \Delta\theta_k, \quad (24)$$

$$T_k \frac{d\Delta\theta_k}{d\tau} + \Delta\theta_k = k_{03}^{-1} \Delta P_k + k_9 \Delta t_v + k_{10} \Delta\bar{\theta}_{mv}, \quad (25)$$

$$T_v \frac{d\Delta t_v}{d\tau} + \Delta t_v = k_{11}\Delta t_1 + k_{12}\Delta G + k_{13}\Delta\theta_{vn} + k_{14}\Delta\theta_k + k_{15}\Delta\theta_{nm} + k_{16}\Delta\bar{\theta}_c - k_{17}\Delta W, \quad (26)$$

де $k_{01} = \alpha'_{np}F_{nm} + \alpha'_{np}F_{vn-c} + \alpha'_{np}F_{vn} + \alpha''_{np}F_{vn}$; $T_{vn} = \frac{m_{vn}c_{vn}}{k_{01}}$; $k_1 = \frac{\alpha'_{np}F_{nm}}{k_{01}}$; $k_2 = \frac{\alpha'_{np}F_{vn-c}}{k_{01}}$;
 $k_3 = \frac{\alpha'_{np}F_{vn}}{k_{01}}$; $k_4 = \frac{\alpha''_{np}F_{vn}}{k_{01}}$; $k_{02} = \alpha'_{np}F_{nm} + \alpha'_{np}F_{nm-c} + \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}}$; $T_{nm} = \frac{m_{nm}c_{nm}}{k_{02}}$; $k_5 = \frac{\alpha'_{np}F_{nm}}{k_{02}}$;
 $k_6 = \frac{\alpha'_{np}F_{nm-c}}{k_{02}}$; $k_7 = \frac{\alpha_k F_{nm}}{k_{02}}$; $k_8 = \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} k_{02}^{-1}$; $k_{03} = \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} + \alpha_k F_k$; $T_k = \frac{m_k c_k}{k_{03}}$; $k_9 = \frac{\alpha_k F_k}{k_{03}}$;
 $k_{10} = \frac{F_{mv}}{R_{mv-k}} k_{03}^{-1}$; $k_{04} = 2G_{v0}c_p + \alpha_k(F_l + F_e) + \alpha_k F_k + \alpha_k F_{mv} + \alpha_c F'_c$; $T_v = \frac{m_v c_p}{k_{04}}$;
 $k_{11} = \frac{2G_{v0}c_p}{k_{04}}$; $k_{12} = \frac{\alpha_k(F_l + F_e) + \alpha_k F_k + \alpha_k F_{mv} + \alpha_c F'_c}{k_{04}}$; $k_{13} = \frac{\alpha_k(F_l + F_e)}{k_{04}}$; $k_{14} = \frac{\alpha_k F_k}{k_{04}}$;
 $k_{15} = \frac{\alpha_k F_{mv}}{k_{04}}$; $k_{16} = \frac{\alpha_c F'_c}{k_{04}}$; $k_{17} = \frac{-r_0}{k_{04}}$.

Застосовуючи безпосередньо перетворення Лапласа для лінеаризованих рівнянь системи (23–26) з урахуванням зроблених раніше припущень і нульових початкових умов одержимо рівняння типу «Вхід-вихід» для основних теплових ємностей об'єкту, які відповідних перетворень мають вигляд:

$$\begin{cases} (T_{vn}p + 1)\Delta\theta_{vn}(p) = k_{01}^{-1}\Delta P_l(p) + k_1\Delta\theta_{nm}(p) + k_2\Delta\theta_c(p) + \\ + k_3\Delta\theta_k(p) + k_4\Delta t_v(p); \\ (T_{nm}p + 1)\Delta\theta_{nm}(p) = k_{02}^{-1}\Delta Q_{mv}(p) + k_5\Delta\theta_{vn}(p) + k_6\Delta\bar{\theta}_c(p) + \\ + k_7\Delta t_v(p) + k_8\Delta\theta_k(p); \\ (T_k p + 1)\Delta\theta_k(p) = k_{03}^{-1}\Delta P_k(p) + k_9\Delta t_v(p) + k_{10}\Delta\bar{\theta}_{mv}(p); \\ (T_v p + 1)\Delta t_v(p) = k_{11}\Delta t_1(p) + k_{12}\Delta G(p) + k_{13}\Delta\theta_{vn}(p) + \\ + k_{14}\Delta\theta_k(p) + k_{15}\Delta\theta_{nm}(p) + k_{16}\Delta\bar{\theta}_c(p) + k_{17}\Delta W(p). \end{cases} \quad (27)$$

Передатні функції на каналах взаємодії елементів визначається з рівнянь системи (27) за формулою:

$$W_{ij}(p) = \frac{\Delta\theta_i(p)}{\Delta\theta_i P_j(p)} = \frac{k_i}{T_i p + 1}. \quad (28)$$

Передатні функції окремих ланок відповідно до рівнянь (27) і (28) визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} W_1(p) &= \frac{\Delta\theta_{vn}(p)}{\Delta P_l(p)} = \frac{k_{01}^{-1}}{T_{vn} p + 1}; & W_2(p) &= \frac{\Delta\theta_{vn}(p)}{\Delta\theta_{nm}(p)} = \frac{k_1}{T_{vn} p + 1}; \\ W_3(p) &= \frac{\Delta\theta_{vn}(p)}{\Delta\theta_c(p)} = \frac{k_2}{T_{vn} p + 1}; & W_4(p) &= \frac{\Delta\theta_{vn}(p)}{\Delta\theta_k(p)} = \frac{k_3}{T_{vn} p + 1}; \\ W_5(p) &= \frac{\Delta\theta_{vn}(p)}{\Delta t_v(p)} = \frac{k_4}{T_{vn} p + 1}; & W_6(p) &= \frac{\Delta\theta_{nm}(p)}{\Delta Q_{mv}(p)} = \frac{k_{02}^{-1}}{T_{nm} p + 1}; \\ W_7(p) &= \frac{\Delta\theta_{nm}(p)}{\Delta\theta_{vn}(p)} = \frac{k_5}{T_{nm} p + 1}; & W_8(p) &= \frac{\Delta\theta_{nm}(p)}{\Delta\theta_c(p)} = \frac{k_6}{T_{nm} p + 1}; \\ W_9(p) &= \frac{\Delta\theta_{nm}(p)}{\Delta t_v(p)} = \frac{k_7}{T_{nm} p + 1}; & W_{10}(p) &= \frac{\Delta\theta_{nm}(p)}{\Delta\theta_k(p)} = \frac{k_8}{T_{nm} p + 1}; \\ W_{11}(p) &= \frac{\Delta\theta_k(p)}{\Delta P_k(p)} = \frac{k_{03}^{-1}}{T_k p + 1}; & W_{12}(p) &= \frac{\Delta\theta_k(p)}{\Delta t_v(p)} = \frac{k_9}{T_k p + 1}; \\ W_{13}(p) &= \frac{\Delta\theta_k(p)}{\Delta\theta_{mv}(p)} = \frac{k_{10}}{T_k p + 1}; & W_{14}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta t_1(p)} = \frac{k_{11}}{T_v p + 1}; \\ W_{15}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta G(p)} = \frac{k_{12}}{T_v p + 1}; & W_{16}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta\theta_{vn}(p)} = \frac{k_{13}}{T_v p + 1}; \\ W_{17}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta\theta_k(p)} = \frac{k_{14}}{T_v p + 1}; & W_{18}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta\theta_{nm}(p)} = \frac{k_{15}}{T_v p + 1}; \\ W_{19}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta\theta_c(p)} = \frac{k_{16}}{T_v p + 1}; & W_{20}(p) &= \frac{\Delta t_v(p)}{\Delta W(p)} = \frac{k_{17}}{T_v p + 1}. \end{aligned}$$

На основі рівнянь (27) і визначених передатних функцій складена структурна схема (рис. 2), яка являє лінійну модель динаміки теплового режиму системи локального обігріву молодняка тварин і теплового режиму приміщення свинарника-маточника при дії керуючих і збурювальних факторів.

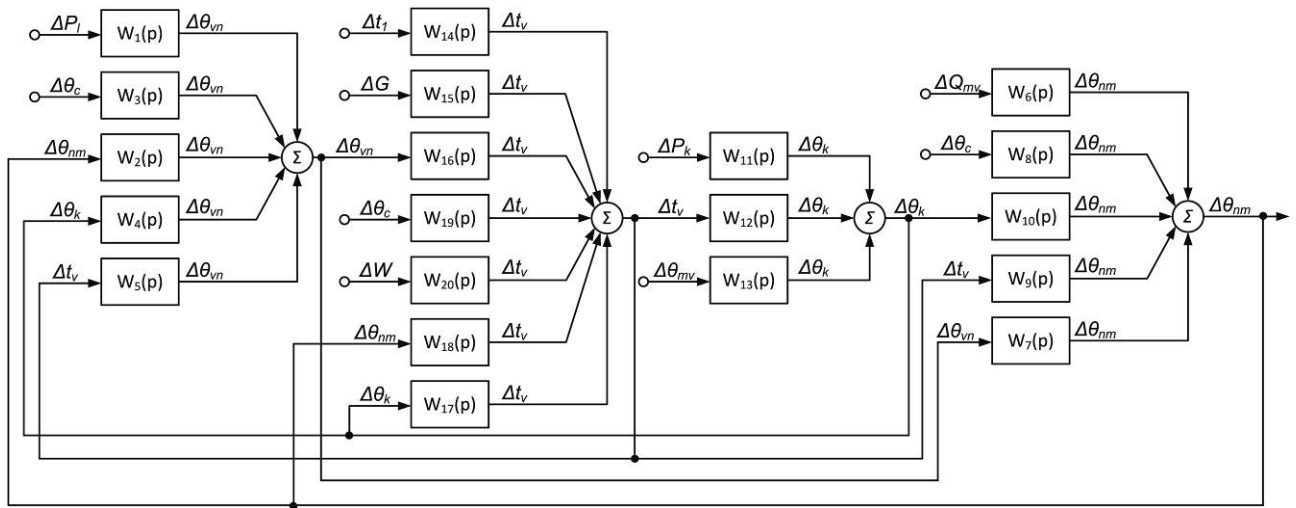


Рис. 2. Структурна схема лінійних моделей динаміки теплового режиму системи локального обігріву молодняка тварин і теплового режиму приміщення свиарника-маточника

Висновки і перспективи.

1. На основі теоретичного аналізу теплових процесів приміщення для утримання тварин, як об'єкта автоматизації сформульована математична модель нестационарних режимів систем локального обігріву молодняка тварин яка дозволяє оптимізувати режимні параметри роботи устаткування.

2. Для синтезу САК температурним режимом засобів локального обігріву з урахуванням внутрішніх і зовнішніх збурень побудована структурна математична модель теплових процесів в приміщенні з системами локального обігріву.

Список літератури

1. Червінський Л. С. Оптичні технології в тваринництві : шляхи, механізм дії, дозування оптичного випромінювання / Л. С. Червінський. – К.: Наукова думка, 2003. – 230 с.
2. Бакшесєв П. Д. Штучне опромінення тварин / П. Д. Бакшесєв. – К.: Урожай, 1980. – 80 с.
3. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Быстрицкий Д. Н., Кожевникова Н. Ф., Лямцов А. К., Муругов В. П. – М.: Энергоиздат, 1981. – 150 с.
4. Лямцов А. К. Электроосветительные и облучательные установки / Лямцов А. К., Тищенко Г. А. – М.: Колос, 1983. – 224 с.
5. Растимешин С. А. Локальный обогрев молодняка животных / С. А. Растимешин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 137 с.

6. Живописцев Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение / Живописцев Е. Н., Косицын О. А. – М.: Агропромиздат, 1990. – 302 с.

7. Магда В. И. Расчет электронагревательных устройств сельскохозяйственного назначения / Магда В. И., Курышев В. Я., Друзь Л. Н. – К.: УСХА, 1988. – 31 с.

8. Кудрявцев И. Ф. Электронагрев и электротехнология / И. Ф. Кудрявцев. – М.: Колос, 1975. – 356 с.

9. Мартыненко И. И. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов: Под ред. Мартыненко И. И. / Мартыненко И. И., Гирнык Н. Л., Полищук В. М. – К.: Колос, 1984. – 152 с.

10. Котов Б. І., Грищенко В. О. Математичні моделі динаміки електричних зволожувачів повітря / Б. І. Котов, В. О. Грищенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2013. – Вип. 43, № 1. – С. 71–76.

References

1. Chervinskyi, L. S. (2003). *Optychni tekhnologii v tvarynnytstvi: shliakhy, mekhanizm dii, dozuvannya optychnoho vyprominiuvannya* [Optical technologies in livestock breeding: ways, mechanism of action, dosage of optical radiation]. Kyiv: Naukova dumka. 230.

2. Baksheev, P. D. (1980). *Shtuchne oprominennia tvaryn* [Artificial irradiation of animals]. Kyiv: Urozhai. 80.

3. Bystritskiy, D. N., Kozhevnikova, N. F., Lyamtsov, A. K., Murugov, V. P. (1981). *Elektricheskkiye ustanovki infrakrasnogo izlucheniya v zhyvotnovodstve* [Electrical installations of infrared radiation in animal husbandry]. Moscow: Energoizdat. 150.

4. Lyamtsov, A. K., Tishchenko, G. A. (1983). *Elektroosvetitel'nyye i obluchatel'nyye ustanovki* [Electric lighting and irradiating installations]. Moscow: Kolos. 224.

5. Rastimeshin, S. A. (1991). *Lokal'nyy obogrev molodnyaka zhyvotnykh* [Local heating of young animals]. Moscow: Agropromizdat. 137.

6. Zhivopistsev, E. N., Kositsyn, O. A. (1990). *Elektrotekhnologiya i elektricheskoye osveshcheniye* [Electrotechnology and electric lighting]. Moscow: Agropromizdat. 302.

7. Magda, V. I., Kuryshev, V. Y., Druz', L. N. (1988). *Raschet elektronagrevatel'nykh ustroystv sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Calculation of electric heating devices for agricultural purposes]. Kyiv: USHA. 31.

8. Kudryavtsev, I. F. (1975). *Elektronagrev i elektrotekhnologiya* [Electrical heating and electrical technology]. Moscow: Kolos. 356.

9. Martynenko, I. I., Girnyk, N. L., Polishchuk, V. M. (1984). *Avtomatizatsiya upravleniya temperaturno-vlazhnostnymi rezhimami sel'skokhozyaystvennykh ob'yektov* [Automation of control of temperature and humidity conditions of agricultural objects]. (I. I. Martynenko, Ed.). Moscow: Kolos. 152.

10. Kotov, B., Hryshchenko, V. (2013). Matematychni modeli dynamiky elektrychnykh zvolozhuvachiv povitria [Mathematical models of dynamics of electric air humidifiers]. Design, Manufacture and Operation of Agricultural Machines, 43(1), 71–76.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ С ЛОКАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВОМ МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ

В. А. Грищенко

Аннотация. *Рассмотрен теоретический анализ тепловых процессов помещения для содержания животных, оборудованных системами локального обогрева молодняка животных. Для анализа тепловых процессов в животноводческом помещении сделаны допущения, что значительно упрощают процедуру моделирования: помещение рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами; воздух в помещении идеально перемещается; коэффициенты теплообмена во времени не меняются и равны средним значением за время переходного процесса. В связи с наличием в помещении различных емкостей, способных аккумулировать тепловую энергию, при составлении дифференциальных уравнений для каждой из них составляется отдельный тепловой баланс. С учетом сделанных допущений и принятой схемы процесса составлены уравнения теплового баланса для следующих емкостей: воздух, внешнее ограждение, электронагревательный коврик, излучатель. Применяя преобразование Лапласа для полученной линеаризованной системы уравнений с учетом допущений и нулевых начальных условий получены уравнения типа «Вход-выход» для основных тепловых емкостей объекта и составлена структурная схема, которая представляет линейную модель динамики теплового режима системы локального обогрева молодняка животных и теплового режима помещения свинарника-маточника при действии управляющих и возмущающих факторов.*

Ключевые слова: *животноводческое помещение, температура воздуха, электронагревательный коврик, ИК-облучатель*

DYNAMICS OF TEMPERATURE REGIME OF LIVES YOUNG DAIRY ANIMALS WITH LOCAL ELECTRICITY OF MATHEMATICAL MODEL

V. Hryshchenko

Abstract. *The article deals with the theoretical analysis of thermal processes of premises for keeping animals, which are equipped with systems of local heating of young animals. Assumptions have been made to analyze heat processes in animal housing, which considerably simplify the simulation procedure: the room is considered as an object with lumped parameters; air indoors perfectly moves; the heat transfer coefficients in time do not change and are equal to the mean values during the transition process. In connection with the presence in the premises of different capacities that can accumulate thermal energy, when compiling differential equations for each of them a separate thermal balance is formed. Taking into account the assumptions made and the adopted scheme of the process, the equation of thermal balance for the following capacities is made: air, external*

fence, electric heater mat, emitter. Applying the Laplace transform for the received linearized system of equations, taking into account assumptions and zero initial conditions, an "Input-Output" equation for the main thermal capacities of the object was obtained and a structured scheme is presented that represents a linear model of the dynamics of the thermal regime of the system of local heating of young animals and the thermal regime premises of the pig-breeder under the influence of controlling and disturbing factors.

Keywords: *livestock premises, air temperature, electric heater pad, infrared suppressor*