

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПТАШИНОГО ПРИМІЩЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ

Котов Б.І. д.т.н.,

Ряба О.І. к.і.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (44) 527-82-33

Анотація – у статті розроблена математична модель пташиного приміщення як об'єкта керування температурою з розподіленими параметрами.

Ключові слова – математична модель, температура, об'єкт, продуктивність,

Постановка проблеми підвищення продуктивності птиці нерозривно пов'язана із задачею створення і підтримання в птахівницьких приміщеннях оптимального мікроклімату [1].

Планомірна і послідовна інтенсифікація промислового птахівництва, підвищення його технічної оснащеності підготували необхідні умови для подальшого вдосконалення систем автоматичного керування технологічним мікрокліматом птахівницьких приміщень. Основою синтезу САР є наявність математичного опису статичних і динамічних характеристик пташника, як об'єкта автоматичного керування параметрами мікроклімату. Стосовно об'єкта керування, що розглядається, на сьогодні відсутні вичерпуючі відомості про динамічні характеристики, що стримує подальшу розробку раціональних систем автоматичного керування.

Аналіз останніх досліджень даної галузі показує, що разом з експериментальними методами дослідження динамічних режимів [2] широко застосовуються і аналітичні методи дослідження об'єктів керування технологічним мікрокліматом [2, 3]. При цьому найбільше розповсюдження здобув детерміністичний напрямок визначення динамічних властивостей об'єкта керування на основі використання теоретичних закономірностей тепломасообмінних процесів, шляхом складання рівнянь теплового балансу. Однак отримані моделі описують процеси в об'єкті з зосередженими параметрами.

Формулювання цілей статті. Визначити динамічні характеристики пташника, як об'єкта керування температурним режимом з урахуванням розподілу температури повітря за координатою - вздовж руху повітря.

Основна частина. Основною характеристикою мікроклімату, яка впливає на несучість курей є температура повітря в приміщенні пташника. Ефективність функціонування системи керування в значній мірі визначається якістю її управляючої частини для синтезу якої необхідно мати математичний опис статичних і динамічних властивостей об'єкта керування.

Специфіка розглядаемого питання обумовлює використання аналітичного метода досліджень динамічних властивостей птахівницького приміщення, як основного.

При математичному описі (створенні математичної моделі) пташника, як об'єкта регулювання температури, необхідно визначити динамічну залежність температури повітря пташника від теплової потужності системи опалення, теплової „потужності” виділення теплоти птицею, параметрів зовнішнього середовища (атмосферного повітря) та повітря, що подається для вентиляції приміщення (температура, витрати). Крім того необхідно визначити статичні характеристики пташника, як об'єкта регулювання температури, а саме розподіл температури нагрітого повітря за довжиною, або шириною пташника в залежності від розташування джерел теплоти і повітропроводів.

Математична модель пташника.

Математичну модель пташника представимо системою диференціальних рівнянь змінення температури повітря (у часі і за координатою), температури огорожень (стіни, дах, підлога) при постійній температурі повітря на вході в пташник і постійних тепловиділеннях птиці.

При складанні рівнянь динаміки покладено такі припущення: пташник являє собою тепловий об'єкт з двома динамічними ємностями – огорожа (із зосередженими параметрами) і повітря пташника із розподіленими параметрами (за довжиною); розподіл температури за товщиною стіни відсутній, тобто температура стіни і даху постійна за товщиною і дорівнює середньому значенню Θ ; інтенсивність зовнішнього і внутрішнього теплообміну огорожі з повітрям визначається коефіцієнтами внутрішнього теплообміну $\alpha_{в}$ і зовнішнього $\alpha_{н}$, величини яких є лінійними функціями швидкості повітря. Вплив сонячної радіації на теплопередачу враховано у значенні коефіцієнта зовнішнього теплообміну. Температура тіла птиці стала величиною, яка дорівнює $\Theta_{пт} = 42^{\circ}\text{C}$ (в середньому). Площа поверхні (зовнішньої і внутрішньої) огорожі однакова.

Фізичну картину теплових процесів у пташнику можна представити так. Теплота, що виділяється птицею і теплота отримана повітрям в теплогенераторі витрачається на змінення його ентальпії $d\dot{I} = c dt_n$ і частково передається огорожі будівлі пташника. В свою чергу, теплота отримана огорожею (масою $m_{ст}$ і поверхнею f) витрачається на підвищення температури огорожі і частково втрачається у зовнішнє середовище.

Відповідно до фізичної моделі процесів і прийнятих припущень математичну модель, що відтворює тепловий баланс представимо у вигляді системи диференціальних рівнянь:

$$q_{n.m.} = \alpha_{n.n.} f_n (\Theta_{n.m.} - t) \quad (1)$$

$$\alpha_{n.n.} \cdot f_n \cdot (\Theta_{n.m.} - t) = C_n \cdot m_n \frac{dt}{d\tau} + C_n \cdot L \cdot \rho \cdot I \frac{dt}{dx} + \alpha_a \cdot f(t - \Theta) \quad (2)$$

$$\alpha_a \cdot f(t - \Theta) = C_o \cdot m_o \frac{d\Theta}{d\tau} + \alpha_n \cdot f(\Theta - t_s) \quad (3)$$

В системі рівнянь (1 - 3) прийняті такі позначення параметрів:

$q_{п.т.} = q_{п.п}$ - кількість теплоти, що виділяє птиця, Вт/кг. ($q_{п.п} = 6.7$ Вт/кг).

$m_n \cdot n$ - вага однієї голови птиці та кількість птиці в пташнику.

$\alpha_{пш.}$, $f_{п.}$ - коефіцієнт теплообміну між птицею та повітрям у пташнику та загальна поверхня теплообміну, Вт/м²·гр; м².

$\Theta_{п.т.}$, t , Θ - температура тіла птиці, повітря у пташнику і огорожі відповідно, °С; °С; °С.

C_n, m_n, L - питома теплоємність, маса і витрати повітря у пташнику, відповідно кДж/кг·гр; кг; м³/год.

ρ - густина повітря, кг/м³.

I, f - довжина (ширина) пташника залежно від розташування теплопроводів та площа поверхні огорожі, відповідно, м; м².

α_a, α_n - коефіцієнти теплообміну повітря і огорожі (внутрішньої і зовнішньої), Вт/м²·°С; Вт/м²·°С.

C_o, m_o - питома теплоємність матеріалу огорожі та її маси, відповідно Дж/кг·гр; кг.

t_s, t_o - температура зовнішнього середовища (атмосферного повітря) та його середньодобове значення, °С; °С.

Тому аналітичний розв'язок системи рівнянь (1 - 3) ускладнений, і може бути зроблений тільки наближено.

Отже, задачі визначення статичних і динамічних характеристик будемо вирішувати окремо.

Для визначення статичних і динамічних характеристик визначемо двоємнісний об'єкт як еквівалент одноємнісного, тобто будемо враховувати сумарну (середньозважену) теплоємність повітря і огорожі пташника.

Тобто $C = (m_n C_n + m_o C_o)$

Визначимо зв'язок між температурою повітря, огорожі і зовнішнього повітря для сталого режиму.

Приймаючи $\frac{d\Theta}{d\tau} = 0$ для сталого режиму з рівняння (3) будемо мати вигляд:

$$\Theta \left(1 + \frac{\alpha_n}{\alpha_a} \right) = t + \frac{\alpha_n}{\alpha_a} \cdot t_s \quad (4)$$

звідки значення температури огорожі в залежності від температури внутрішнього t_b і зовнішнього t_s повітря можна записати у вигляді:

$$\Theta = \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t + \frac{\alpha_n}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t_3 \quad (5)$$

Далі, прирівнюючи похідну за часом температури повітря у пташнику (сталий режим) з рівняння (1) і (2) будемо мати:

$$q = L \cdot c \cdot \rho \cdot I \frac{dt}{dx} + \alpha_s \cdot f \cdot t - \alpha_n \cdot f \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t + \frac{\alpha_n}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t_3 \right) \quad (6)$$

або після перетворень:

$$T \frac{dt}{dx} = \frac{q}{\alpha_s \cdot f} - t \left(1 - \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_n} \right) + \frac{\alpha_n}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t_3 \quad (7)$$

Введемо позначення

$$a = \left(1 - \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_n} \right)$$

$$b = \frac{q}{\alpha_s \cdot f} + \frac{\alpha_n}{\alpha_s + \alpha_n} \cdot t_3$$

$$T = \frac{L \cdot C_p \cdot \rho_n \cdot I}{\alpha_s \cdot f}$$

Тоді рівняння (7) запишемо у вигляді

$$T \frac{dt}{dx} = b - at \quad (8)$$

Розв'язок рівняння (8), за граничних умов: $x = 0$; $t = t_1$, де t_1 – температура повітря на виході повітряроздаючої системи буде мати такий вигляд:

$$t = \frac{b}{a} - \left(\frac{b}{a} - t_1 \right) e^{-\frac{a}{T}x} \quad (9)$$

Рівняння (9) описує розподіл температури повітря в напрямку його руху при сталому режимі.

Взявши похідну від t за x отримаємо значення градієнту температури повітря:

$$\frac{dt}{dx} = \left(\frac{b}{T} - a \frac{t_1}{T} \right) e^{-\frac{a}{T}x} \quad (10)$$

Підставивши значення $\frac{dt}{dx}$ із (10) та значення $\Theta(t, t_3)$ із (5) до рівняння (2) будемо мати після перетворень:

$$T_1 \frac{dt}{d\tau} + \frac{\alpha_n \cdot \alpha_s \cdot f}{\alpha_n + \alpha_s} \cdot t = \frac{\alpha_n^2 \cdot f}{\alpha_n + \alpha_s} \cdot t_3 + f(x) \quad (11)$$

$$f(x) = c \cdot G \cdot I (M + N \cdot t_3)$$

$$M = \left(\frac{q}{\alpha_g \cdot f} - t_1 \right) \frac{e^{-\frac{a}{T}x}}{T}$$

$$N = \left(\frac{\alpha_n}{\alpha_g + \alpha_n} \right) \frac{e^{-\frac{a}{T}x}}{T}$$

$$T_1 = C_{п} \cdot m_{п} + C_0 \cdot m_0 = C_{п} \cdot V_{п.г} \cdot \rho_{п} + C_0 \cdot \rho_0 \cdot V_0,$$

де $V_{п.г}$, V_0 - об'єм повітря у пташнику, об'єм будівлі огорожі (стіни, дах, підлога), м^3 , м^3 ;

G - масові витрати повітря на вентиляцію, кг/год .

Розв'язок диференційного рівняння (11) за початкових умов: $\tau=0$; $t=t_0$, де t_0 - початкове значення температури повітря в пташнику (температура перед початком розігріву) отримуємо у вигляді:

$$t = T_{\infty} - (T_{\infty} - t_0) e^{-\alpha \frac{\tau}{T_1}} \quad (12)$$

де

$$\alpha = \frac{\alpha_n \alpha_g}{\alpha_g + \alpha_n} f,$$

$$T_{\infty} = q \left(\frac{\alpha_n + \alpha_g}{\alpha_n \cdot \alpha_g \cdot f} \right) (1 - e^{-\frac{a}{T}x}) + \left(\frac{\alpha_n}{\alpha_g} k - e^{-\frac{a}{T}x} \right) t_s + t_1 e^{-\frac{a}{T}x} \quad (13)$$

Аналізуючи структуру виразу (12), (а саме при: $\tau \rightarrow \infty$; $t \rightarrow T_{\infty}$) можна визначити, що величина T_{∞} дорівнює температурі повітря в пташнику у сталому режимі, а співвідношення (13) визначає розподіл температури повітря в напрямку його руху за довжиною x , яка має кінцеве значення l , де l - відстань від джерела нагрівання повітря (вхід) до зони розташування витяжних вентиляторів (вихід).

Таким чином, отримані рівняння (11) та (13) визначають статичні $t(x)$ та $t(\tau)$ динамічні характеристики пташника, як об'єкта автоматизованого управління температурою повітря.

За допомогою ППП MathCad, задаючи різні значення витрат повітря: $G_{п} = 5$ кг/с ; $G_{п} = 8.3$ кг/с ; $G_{п} = 16.6$ кг/с отримано статичні характеристики пташника, які зображені на рис.1 і відповідно динамічні характеристики, які зображені на рис.2.

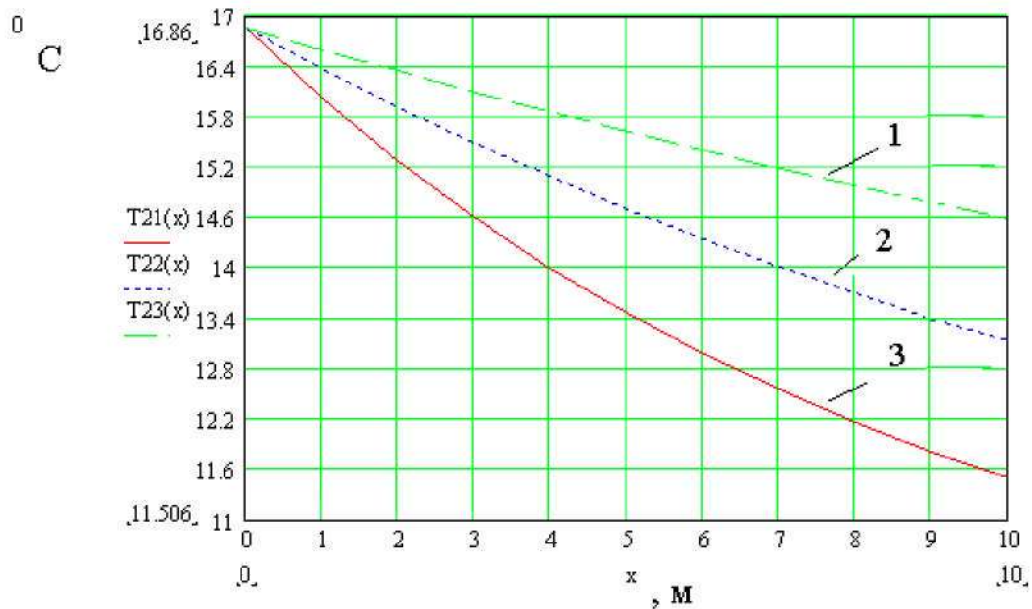


Рис.1. Розподіл температури повітря в пташнику в напрямку руху нагрітого повітря при: 1. $G_{\text{п}}= 16.6$ кг/с

2. $G_{\text{п}}= 8.3$ кг/с

3. $G_{\text{п}}= 5$ кг/с

Динамічні характеристики пташника зображено на рис.2.

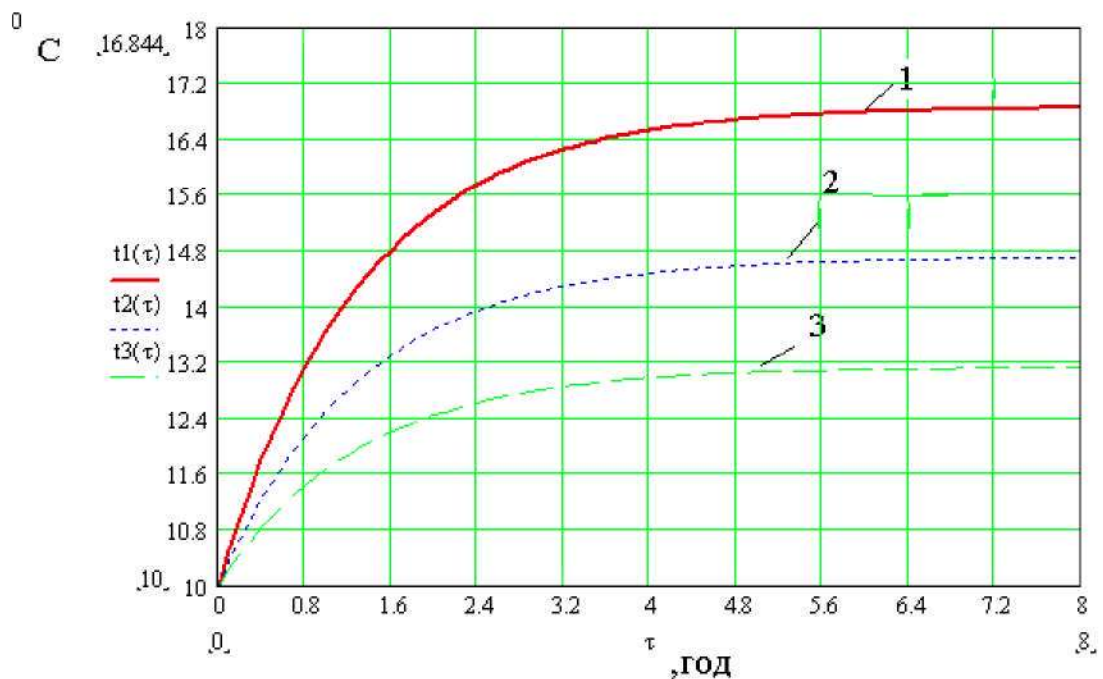


Рис.2. Динамічні характеристики пташника, при 1. $x=0$ м; 2. $x=5$ м; 3. $x=10$ м.

Висновок. Таким чином, отримана математична модель динамічних і статичних характеристик зміння температури повітря пташиного приміщення у часі і за координатою.

Література

1. *Дзюбенко П.К.* Вентиляція і мікроклімат птахівничих приміщень/ П.К. Дзюбенко. – К., 1972. – 198 с.
2. *Мартыненко И.И.* Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозйственных объектов/ И.И. Мартыненко, Н.Л. Гирнык, В.М. Полищук. – М.: Колос, 1984. – 152 с.
3. *Амосова О.С.* Экспериментальное определение передаточных функций птичника как объекта автоматического регулирования температуры и влажности/ О.С. Амосова // Записки Ленинградского СХИ. – Л., 1970. – с.135.
4. *Горячев О.Н.* Аналитическое определение передаточных функций животно-водческого помещения как объекта автоматического регулирования по температуре и влажности/ О.Н. Горячев // Вопросы механизации и электрификации сельскохозйственного производства. – Ростов: РГУ, 1967. – С.206-220.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПТИЧНИКА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ

Котов Б.И., Ряба Е.И.

Аннотация

В статье разработана математическая модель птичника как объекта регулирования температуры с распределенными параметрами.

MATHEMATICAL MODELING AVIARY AS AN OBJECT OF AUTOMATION CONTROL SYSTEM TEMPERATURE

B. Kotov, E. Ryaba

Summary

The paper developed a mathematical model of the chicken house as an object of temperature control with distributed parameters.