

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА ПАРАМЕТРІВ ВОЗДУХОПРОВОДУ ДЛЯ ОБІГРІВУ ГІДРОПОННИХ ЦЕХІВ В ПТАХОГОСПОДАРСТВАХ

Volodymyr Bulgakov^{*}, V.O. Kostyuchenko^{**}, Janusz Nowak^{***}

^{*}National Agrarian University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^{**}Керченський морський технологічний інститут, Ukraine

^{***}Agricultural Univesity in Lublin, Poland

Аннотация. Аналітично розглянуто використання тепла з пташника для обогріву цехів для виробництва гідропонної продукції.

Ключевые слова: коефіцієнт теплопровідності, теплопередача, використання тепла,

ВВЕДЕНИЕ

Недостача основних енергоносіїв, викликана економічною кризою і послідуною лібералізацією цін, практично звела нанівець існуючі в сільському господарстві стаціонарні технології виробництва продукції. Особливо в тяжкому стані опинилися такі галузі як птахівництво і тваринництво. В цьому зв'язку найважливішим завданням в сільському господарстві в теперішній час є економія основних енергоносіїв. В птахівництві можна економити електроенергію за рахунок нагрітого повітря, яке в величезних кількостях викидається в атмосферу. Так, встановлено, що із стандартного пташника протягом однієї години викиди запиленого повітря складають більше 2400 м³ з температурою 30–40°C. Цю теплоту можна використати для корисних потреб, в тому числі і для обігрівання гідропонних цехів, при цьому наявний порошок з повітря (має хімічно активні речовини) можна видаляти за допомогою спеціальних фільтрів або циклонів. Більше того, безперервне надходження в гідропонний цех підігрітого, але чистого повітря уповільнює проявлення грибкових захворювань вирощуваних рослин.

В даній роботі пропонується один з можливих варіантів технологічної лінії з використанням відходів теплоти з пташника для обігріву гідропонного цеху очищеним від порошку теплим повітрям.

Теоретичне обґрунтування руху теплового середовища і параметрів системи повітропроводу пов'язане з розрахунком витрати (масової швидкості) стисненого

повітря, яке входить в відому формулу для визначення коефіцієнта тепловіддачі [Михеев, Михеева 1973]:

$$\alpha = 0,023 \frac{(\rho\omega)^{0,8} \cdot \lambda^{0,6} \cdot c_p^{0,4}}{d^{0,2} \cdot \mu^{0,4}}, \quad (1)$$

де:

$(\rho\omega)$ – невідома масова швидкість;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

d – діаметр повітропроводу;

c_p – питома ізобарна теплоємність.

З врахуванням реальних характеристик системи транспортування і нагріву стисненого повітря для підрахунку масової швидкості і тиску в повітропроводі складено перш за все розрахункову схему і механічну модель (рис. 1).

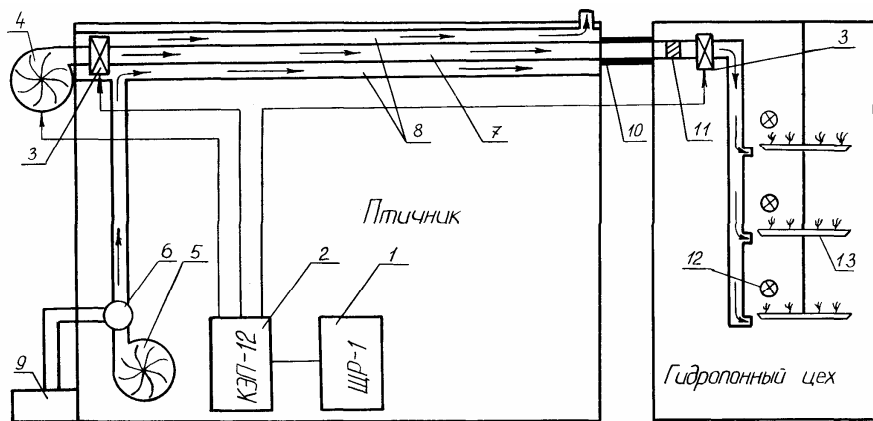


Рис. 1. Механічна модель і розрахункова схема: 1 – розподільний щит, 2 – командний електронний прилад, 3 – електроклапан, 4 – зовнішній вентилятор, 5 – внутрішній вентилятор, 6 – фільтр, 7 – повітропровід, 8 – кожух повітропроводу, 9 – циклон, 10 – теплоізоляція, 11 – датчик тиску, 12 – датчик температури, 13 – лотки

Fig. 1. Technological model and calculation scheme: 1 – distribution knot, 2 – electronic steering device, 3 – electronic valve, 4 – outer fan, 5 – inner fan, 6 – filter, 7 – air hose, 8 – air hose insulation, 9 – cyclone, 10 – insulation, 11 – pressure sensor, 12 – temperature sensor, 13 – troughs

При цьому, оскільки процес теплопередачі здійснюється в прямолінійній частині повітропроводу 7, то початок відліку помістимо якраз на його осі в умовній точці з'єднання з вентилятором 4. Вісь x спрямуємо в бік руху континуального середовища (потoku повітря).

Залежність між витратою повітря в трубопроводі і тиском з достатньою для інженерної практики точністю описується наступною системою нелінійних диференціальних рівнянь з частковими похідними [Логинов, Костюченко 1973]:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P(x,t)}{\partial x} &= \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\beta}{8\delta} (\rho\omega^2), \\ -\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} &= C^2 \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial x}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де:

P, ρ, ω – відповідно тиск, щільність і швидкість в розглядуваному перетині

повітропроводу,

β – коефіцієнт опору в формулі Дірсі-Вейсбаха для розрахунку втрат тиску на подолання тертя,

δ – гідравлічний радіус перетину,

C – швидкість звуку,

x – поточна координата по напрямку руху повітря, відповідно до моменту часу t .

Лінеарізуємо нелінійну систему рівнянь (2), вважаючи

$$2a = \frac{\beta\omega}{8\delta} \approx \left(\frac{\beta\omega}{8\delta} \right)_{cp} = const, \text{ що з фізичної точки зору є приведеним коефіцієнтом}$$

лінійного тертя при квадратичному законі опору. З врахуванням даної лінеаризації система диференціальних рівнянь (2) набуде вигляду:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P(x,t)}{\partial x} &= \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + 2a(\rho\omega), \\ -\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} &= C^2 \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) еквівалентна наступному диференціальному рівнянню для визначення тиску по довжині повітропроводу:

$$\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial t^2} - C^2 \frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x^2} + 2a \frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = 0. \quad (4)$$

Розподіл тиску по довжині повітропроводу підраховуємо при реальних початкових і межових умовах:

$$\begin{aligned} \text{при } t = 0, \quad P(x,0) &= P_1 - kx, \\ \text{при } t = 0, \quad \frac{\partial P(x,0)}{\partial t} &= 0, \\ \text{при } x = 0, \quad P(0,t) &= P_1 = const, \\ \text{при } x = l, \quad P(l,t) &= P_2 = const, \end{aligned} \quad (5)$$

де:

l – довжина повітропроводу.

В початковий момент часу тиск в повітропроводі знижується по лінійному закону, а на його кінцях підтримується за допомогою регулювальних клапанів постійним. Рішення крайової задачі (4), (5) шукаємо у вигляді:

$$P(x,t) = \theta(x) + R(x,t), \quad (6)$$

де функція $\theta(x)$ задовольняє межовим умовам і може бути представлена в наступному вигляді:

$$\theta(x) = P_1 + (P_2 - P_1) \frac{x}{l}. \quad (7)$$

Для визначення $R(x,t)$ одержимо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 R(x,t)}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 R(x,t)}{\partial x^2} + 2a \frac{\partial R(x,t)}{\partial t} &= 0, \\ \text{при } t = 0, \quad R(x,0) &= x \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) - k \right], \\ \text{при } t = 0, \quad \frac{\partial R(x,0)}{\partial t} &= 0, \\ \text{при } x = 0, \quad R(0,t) &= 0, \\ \text{при } x = l, \quad R(l,t) &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Рішення системи рівнянь (8) шукаємо у вигляді:

$$R(x,t) = X(x) \cdot T(t), \quad (9)$$

де:

функції $X(x)$ і $T(t)$ задовольняють наступним умовам:

$$X''(x) + \gamma^2 X(x) = 0, \quad (10)$$

$$\ddot{T}(t) + 2a\dot{T}(t) + c^2 \gamma^2 T(t) = 0, \quad (11)$$

при цьому граничні межові умови для рівняння (10), згідно (8), записуються в формі:

$$X(0) = 0, \quad X(l) = 0. \quad (12)$$

Власні функції задачі (10), (12) мають вигляд:

$$X_n(x) = B \sin \gamma_n \cdot x,$$

де:

$$\gamma_n = \frac{\pi \cdot n}{l}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Для подальшого рішення постійний коефіцієнт B є несуттєвим, в зв'язку з чим приймемо його рівним одиниці. В результаті власні функції запишемо в формі:

$$X_n(x) = x \sin \gamma_n, \quad (13)$$

Рішенням рівняння (11), яке відповідає загальним значенням γ_n буде:

$$T_n(t) = e^{-at} (a_n \cos k_n t + b_n \sin k_n t), \quad (14)$$

де:

$$k_n^2 = \omega_n^2 - a^2, \quad \omega_n^2 = c^2 \gamma_n^2, \quad \text{при цьому } \omega_n > k_n.$$

Таким чином, для визначення $R(x, t)$ одержуємо наступний ряд:

$$R(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos k_n t + b_n \sin k_n t) e^{-at} \sin \gamma_n x. \quad (15)$$

Використовуючи початкові умови (8) знайдемо a_n і b_n як коефіцієнти ряду Фур'є:

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{l} \int_0^l R(x, 0) \sin \frac{\pi x}{l} dx = (-1)^n \frac{2l^2}{\pi} \left[\frac{1}{l} (P_2 - P_1) + k \right] = \\ &= -\frac{2l^2}{\pi} \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) - k \right] \frac{(-1)^n}{n}. \end{aligned} \quad (16)$$

З другої початкової умови $\frac{\partial R(x, 0)}{\partial t} = 0$ слідує, що:

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{aa_n}{k_n} = (-1)^n \frac{2l^2 a}{\pi k_n n} \left[\frac{1}{l} (P_2 - P_1) + k \right] = -\frac{2l^2 a}{\pi} \times \\ &\times \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) - k \right] \frac{(-1)^n}{k_n n}. \end{aligned} \quad (17)$$

Остаточне рішення задачі (4), (5) з врахуванням (7), (15), (16) і (17) має вигляд:

$$\begin{aligned} P(x, t) &= P_1 + (P_2 - P_1) \frac{x}{l} + \frac{2l^2 a}{\pi} \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) - k \right] x \times \\ &\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \left[\cos k_n t + \frac{1}{k_n} \sin k_n t \right] e^{-at} \sin \gamma_n x \end{aligned} \quad (18)$$

Диференціюючи (18) по x одержимо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} = & [P_1 + (P_2 - P_1)] \frac{1}{l} - \frac{2l^2 a}{\pi} \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) + k \right] \times \\ & \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \left[\cos k_n t + \frac{1}{k_n} \sin k_n t \right] \gamma_n e^{-at} \cos \gamma_n x. \end{aligned} \quad (19)$$

Підставляючи вираз (19) в перше рівняння системи (3) запишемо диференціальне рівняння для визначення $(\rho\omega)$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + 2a(\rho\omega) = & [P_1 + (P_2 - P_1)] \frac{1}{l} - \frac{2l^2 a}{\pi} \left[\frac{1}{l} (P_1 - P_2) - k \right] \times \\ & \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \left[\cos k_n t + \frac{1}{k_n} \sin k_n t \right] \gamma_n e^{-at} \cos \gamma_n x. \end{aligned} \quad (20)$$

За допомогою диференціального рівняння (20) надається можливість визначити масову швидкість при будь-якому режимі роботи системи „компресор-повітропровід”.

Практичний інтерес становить стаціонарний режим роботи системи. Для визначення масової швидкості при стаціонарному режимі роботи в лівій частині рівняння (20) час t спрямуємо до нескінченності ($t \rightarrow \infty$), при цьому похідна від масової швидкості по часу обертається в нуль.

Враховуючи сказане одержимо:

$$(\rho\omega) = \frac{P_2}{2al}. \quad (21)$$

Підставимо (21) в (1) і визначимо коефіцієнт тепловіддачі α при стаціонарному режимі транспортування теплого повітря в гідропонний цех.

Далі, визначивши коефіцієнт тепловіддачі α , знайдемо довжину труби, при якій буде підтримуватись потрібний температурний режим в цеху для виробництва гідропонного корму.

Кількість тепла, що передається рухомому потоку атмосферного повітря, дорівнює:

$$Q = (\rho\omega)(t''_e - t'_e)c_p S, \quad (22)$$

де:

t''_e – потрібна температура в гідропонному цеху,

t'_e – температура зовнішнього повітря,

$$S = \frac{\pi d^2}{4},$$

d – діаметр повітропроводу,

c_p – питома ізобарна теплоємність повітря.

З іншого боку ці кількості теплоти визначаються формулою Ньютона-Рікмана:

$$Q = \alpha (t_{cm} - t_{\text{ср}}) F, \quad (23)$$

де:

t_{cm} – температура стінки повітропроводу,

$t_{\text{ср}} = \frac{t''_e - t'_e}{2}$ – середня температура повітря,

$F = \pi dl$ – бокова поверхня повітропроводу.

За допомогою (22) визначаємо величину Q при заданому діаметрі повітропроводу d , а потім, використовуючи (23), знаходимо поверхню F і довжину l .

Таким чином, динамічна задача транспортування і нагріву повітряного потоку по повітропроводу з певними параметрами вирішена.

Вказані на рис.1 датчики регулювання температури і тиску, їх принцип дії, а також робота пилословлювача в даній статті не розглядаються. Останнє є об'єктом подальших комплексних досліджень руху теплого континуального середовища по повітропроводах і визначення оптимальних параметрів середовища.

ЛИТЕРАТУРА

- Baader W. 1964: Der Einfluss der Beschickungsrichtung der Lage des Beschickungspunktes zur Trommel und der Schlagleistenordnung auf den Dreschvorgang. Grundlagen der Landtechnik, H. 21, 16–21.
- Михеев М.А., Михеева И.М. 1973: Основы теплопередачи. 2-е изд. перераб. и доп. Наука.
- Логинов Н.Г., Костюченко В.А. 1973: Устанавливающиеся процессы при транспортировке сжатого воздуха в эрлифтных установках. Недр

DETERMINATION OF HEAT CONDUCTIVITY COEFFICIENT IN THE PRODUCTION OF HEAT FOR POULTRY FARMS

Summary. The paper presents an analytical analysis of heat created in hen house for heating poultry farm facilities.

Key words: coefficient of heat conductivity, air hoses, heat exploitation, heating