

УДК 697.275.7

О. Шаблій, Ч. Пулька М. Базар, О. Король

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДАХ ПРИ РОЗТАШУВАННІ ІНДУКТОРА ЗОВНІ ТЕПЛОБМІННИКА

Розроблено математично інженерну модель для визначення температури окремих зон теплообмінника і теплоносія від питомої потужності теплових джерел, що утворюються у відповідних зонах. При цьому індукційний нагрівальний прилад виконаний таким чином, що індуктор розташований зовні теплообмінника.

Ключові слова: індукційне нагрівання, температура, електромагнітне поле, питома потужність теплових джерел, теплообмінник, індуктор.

Постановка проблеми. В даний час в Україні гостро стоїть питання енергетичної безпеки. В нашій країні видобувається недостатня кількість природного газу яким ми звикли опалювати наше житло. Однак електроенергії виробляється вдосталь, тому для забезпечення населення теплом, необхідно розробити і впровадити принципово нові електричні котли. Тому що, існуючі прилади не забезпечують ефективного використання електроенергії, а їх використання є дорожчим в порівнянні з газовими котлами, перевагою електричних котлів є також те, що при їх експлуатації не виділяється різного роду шкідливих речовин (відсутність продуктів згорання), що позитивно впливає на навколишнє середовище, тобто їх експлуатація є екологічно безпечною.

Аналіз останніх досліджень. У даний час в світі ведуться роботи над створенням нових екологічно чистих джерел тепла. До таких з певною мірою можна віднести електрокотли. В техніці широко використовується індукційний нагрів, як один з найбільш ефективніших та високопродуктивних методів нагрівання [1]. Цю технологію поступово починають застосовувати і в теплопостачанні. Про це свідчать індукційні електрокотли, що появляються на ринку [2, 3]. Для нашої країни розробка аналогічних пристроїв є перспективним напрямком. Однак для проектування та конструювання таких приладів необхідні фізико - математичні моделі, які у літературних джерелах не зустрічаються.

Метою даної роботи є створення інженерно-математичної моделі для проектування електричного котла індукційної дії у випадку, коли індуктор розміщений ззовні теплообмінника.

Розглянемо індукційний прилад для опалення приміщень, в якому нагрівання теплоносія відбувається з допомогою струмів Фуко.

Теплообмінник (технологічний індуктор) виконаний спіралеподібної циліндричної форми з трубок, зовні якого розмішено індуктор (рис. 1) [4, 5].

Вважаємо, що питома потужність теплових джерел буде індукуватися в усіх зонах нагрівання.

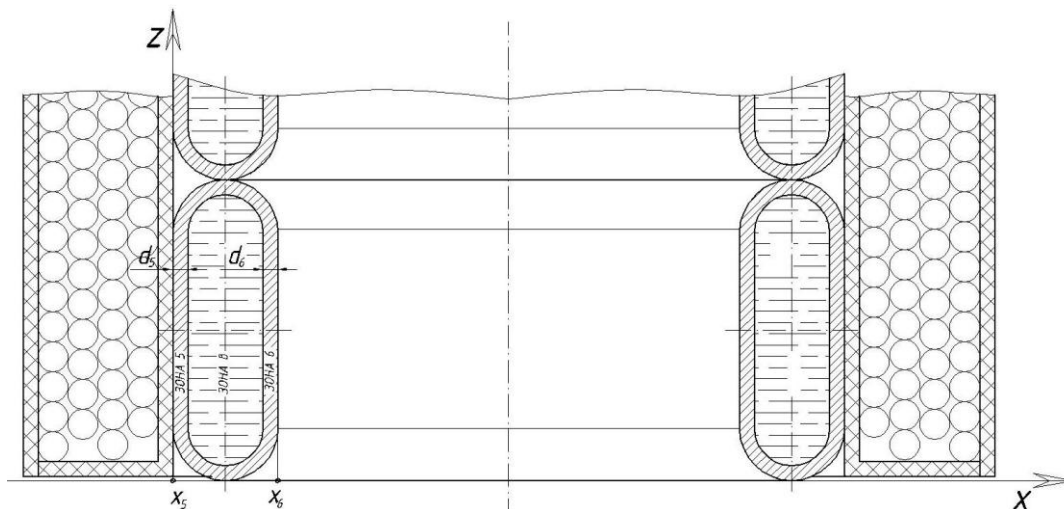


Рисунок 1. Розрахункова схема індукційного нагрівального пристрою

Тоді в зоні 5 (рис. 1) має місце рівняння [6]

$$\frac{\partial T_5}{\partial t} - a_5 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial y^2} \right) = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot w_5, \quad (1)$$

в якому w_5 визначається за формулою [7, 8]

$$w_5 = 2 \cdot \rho_5 \cdot k_5^2 \cdot H_{me5}^2 \cdot e^{-2 \cdot k_5 \cdot (x-x_5)}, \quad (2)$$

де ρ_5 – питомий опір матеріалу,

$$k_5 = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_5}{2 \cdot \rho_5}}, \quad (3)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – циклічна частота;

f – частота струму індуктора;

μ_0 – магнітна стала;

μ_5 – магнітна проникність матеріалу стінки;

H_{me5} – напруженість магнітного поля на поверхні 5, яка визначається на основі закону повного струму [9],

$$H_{me2} \cdot a = N_5 \cdot I_i \cdot \sqrt{2},$$

Звідси

$$H_{me5} = \frac{N_5 \cdot I_i \cdot \sqrt{2}}{a}, \quad (4)$$

де I_i – електричний струм, що тече в індукторі;

N_5 – кількість витків індуктора;

a – висота індуктора.

У зоні теплоносія θ_5 (рис.1) температура описується рівнянням енергії [6]

$$\frac{\partial T_{\theta 5}}{\partial t} + V_y \frac{\partial T_{\theta 5}}{\partial y} - a_{\theta} \left(\frac{\partial^2 T_{\theta 5}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{\theta 5}}{\partial y^2} \right) = \frac{a_{\theta}}{\lambda_{\theta}} \cdot w_{\theta} \quad (5)$$

де w_{θ} визначається за формулою

$$w_{\theta} = 2 \cdot \rho_{\theta} \cdot k_{\theta}^2 \cdot H_{me5}^2 \cdot e^{2 \cdot (-k_5 \cdot d_5 - k_{\theta} \cdot (x_5 + d_5) - k_{\theta} \cdot x)}, \quad (6)$$

ρ_{θ} – питомий опір теплоносія.

$$k_{\theta} = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_{\theta}}{2 \cdot \rho_{\theta}}}, \quad (7)$$

де μ_{θ} – магнітна проникність матеріалу теплоносія.

У зоні 6 (рис. 1) рівняння теплопровідності має вигляд [6]

$$\frac{\partial T_6}{\partial t} - a_6 \left(\frac{\partial^2 T_6}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_6}{\partial y^2} \right) = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot w_6, \quad (8)$$

в якому w_6 визначається за формулою

$$w_6 = 2 \cdot \rho_6 \cdot k_6^2 \cdot H_{me6}^2 \cdot e^{2 \cdot (-k_5 \cdot d_5 + k_6 \cdot (x_5 + d_5) - (k_6 - k_{\theta}) \cdot (x_6 - d_6) - k_6 \cdot x)}, \quad (9)$$

де ρ_6 – питомий опір матеріалу,

$$k_6 = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_6}{2 \cdot \rho_6}}. \quad (10)$$

μ_6 – магнітна проникність матеріалу стінки.

Мають місце також такі граничні умови та умови спряження:

$$x = x_5 : \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial x} - H_5 T_5 = 0 ; \quad (11)$$

$$x = x_5 + d_5 : T_5 = T_{e5} ; \quad \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial x} = \lambda_{e5} \frac{\partial T_{e5}}{\partial x} ; \quad (12)$$

$$x = x_6 - d_6 : T_{e5} = T_6 ; \quad \lambda_{e5} \frac{\partial T_{e5}}{\partial x} = \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial x} ; \quad (13)$$

$$x = x_6 : \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial x} + H_6 T_6 = 0 . \quad (14)$$

Знайдемо загальні розв'язки однорідних рівнянь, ліва частина яких є оператором Лапласа, взяті з (1), (5), (8) і які мають вигляд

$$a_5 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (15)$$

$$a_6 \left(\frac{\partial^2 T_{e5}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{e5}}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (16)$$

$$a_6 \left(\frac{\partial^2 T_6}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_6}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (17)$$

Загальні розв'язки однорідних рівнянь (15), (16), (17) мають вигляд

$$T_5^0 = (A_1 \cos(n_5 x) + A_2 \sin(n_5 x)) \cdot (A_3 \cdot e^{n_5 y} + A_4 \cdot e^{-n_5 y}) , \quad (18)$$

$$T_{e5}^0 = (C_1 \cos(n_6 x) + C_2 \sin(n_6 x)) \cdot (C_3 \cdot e^{n_6 y} + C_4 \cdot e^{-n_6 y}) , \quad (19)$$

$$T_6^0 = (B_1 \cos(n_5 x) + B_2 \sin(n_5 x)) \cdot (B_3 \cdot e^{n_5 y} + B_4 \cdot e^{-n_5 y}) . \quad (20)$$

Враховуючи те, що при $y = 0$ має виконуватися умова $T_5^0 = 0$, $T_{e5}^0 = 0$, $T_6^0 = 0$, тобто $A_3 + A_4 = 0$; $B_3 + B_4 = 0$; $C_3 + C_4 = 0$. Звідси $A_3 = -A_4$; $B_3 = -B_4$; $C_3 = -C_4$.

Тоді використовуючи відомі формули, вирази (18), (19), (20) набудуть вигляду

$$T_5^0 = 2 \cdot A_3 \cdot (A_1 \cos(n_5 x) + A_2 \sin(n_5 x)) \cdot sh(n_5 y) , \quad (21)$$

$$T_{e5}^0 = 2 \cdot C_3 \cdot (C_1 \cos(n_6 x) + C_2 \sin(n_6 x)) \cdot sh(n_6 y) , \quad (22)$$

$$T_6^0 = 2 \cdot B_3 \cdot (B_1 \cos(n_5 x) + B_2 \sin(n_5 x)) \cdot sh(n_5 y) . \quad (23)$$

Підставляючи рівняння (21), (22), (23) в граничні умови та умови спряження (11), (12), (13), (14), отримаємо

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_5 n_5 \sin(n_5 \cdot x_5)(A_1 \cdot A_3) + \lambda_5 n_5 \cos(n_5 \cdot x_5)(A_2 \cdot A_3) - H_5 \cos(n_5 \cdot x_5)(A_1 \cdot A_3) - \\ - H_5 \sin(n_5 \cdot x_5)(A_2 \cdot A_3) = 0, \\ \cos(n_5 \cdot (x_5 + d_5))(A_1 \cdot A_3) + \sin(n_5 \cdot (x_5 + d_5))(A_2 \cdot A_3) - \cos(n_6 \cdot (x_5 + d_5))(C_1 \cdot C_3) - \sin(n_6 \cdot (x_5 + d_5))(C_2 \cdot C_3) = 0, \\ -\lambda_5 n_5 \sin(n_5 \cdot (x_5 + d_5))(A_1 \cdot A_3) + \lambda_5 n_5 \cos(n_5 \cdot (x_5 + d_5))(A_2 \cdot A_3) + \lambda_6 n_6 \sin(n_6 \cdot (x_5 + d_5))(C_1 \cdot C_3) - \\ - \lambda_6 n_6 \cos(n_6 \cdot (x_5 + d_5))(C_2 \cdot C_3) = 0 \\ -\lambda_6 n_6 \sin(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(B_1 \cdot B_3) + \lambda_6 n_6 \cos(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(B_2 \cdot B_3) + \\ + \lambda_6 n_6 \sin(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(C_1 \cdot C_3) - \lambda_6 n_6 \cos(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(C_2 \cdot C_3) = 0 \\ \cos(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(B_1 \cdot B_3) + \sin(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(B_2 \cdot B_3) - \cos(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(C_1 \cdot C_3) - \\ - \sin(n_6 \cdot (x_6 - d_6))(C_2 \cdot C_3) = 0 \\ -\lambda_6 n_6 \sin(n_6 \cdot x_6)(B_1 \cdot B_3) + \lambda_6 n_6 \cos(n_6 \cdot x_6)(B_2 \cdot B_3) - H_6 \cos(n_6 \cdot x_6)(B_1 \cdot B_3) - \\ - H_6 \sin(n_6 \cdot x_6)(B_2 \cdot B_3) = 0 \end{array} \right. \quad (24)$$

Система однорідних рівнянь (24), відносно невідомих $A_1A_3, A_2A_3, B_1B_3, B_2B_3, C_1C_3, C_2C_3$, має розв'язок, коли детермінант системи буде дорівнювати нулю.

Характеристичні числа n_5, n_6, n_6 приймемо однаковими, що дорівнюють n . Тоді детермінант системи (24) набуде вигляду:

$$\begin{vmatrix} -\lambda_5 \cdot n \cdot \sin(n \cdot x_5) - H_5 \cos(n \cdot x_5) & \lambda_5 \cdot n \cdot \cos(n \cdot x_5) - H_5 \sin(n \cdot x_5) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos(n \cdot (x_5 + d_5)) & \sin(n \cdot (x_5 + d_5)) & 0 & 0 & -\cos(n \cdot (x_5 + d_5)) & -\sin(n \cdot (x_5 + d_5)) \\ -\lambda_5 \cdot n \cdot \sin(n \cdot (x_5 + d_5)) & \lambda_5 \cdot n \cdot \cos(n \cdot (x_5 + d_5)) & 0 & 0 & \lambda_5 \cdot n \cdot \sin(n \cdot (x_5 + d_5)) & -\lambda_5 \cdot n \cdot \cos(n \cdot (x_5 + d_5)) \\ 0 & 0 & -\lambda_6 \cdot n \cdot \sin(n \cdot (x_6 - d_6)) & \lambda_6 \cdot n \cdot \cos(n \cdot (x_6 - d_6)) & \lambda_6 \cdot n \cdot \sin(n \cdot (x_6 - d_6)) & -\lambda_6 \cdot n \cdot \cos(n \cdot (x_6 - d_6)) \\ 0 & 0 & \cos(n \cdot (x_6 - d_6)) & \sin(n \cdot (x_6 - d_6)) & -\cos(n \cdot (x_6 - d_6)) & -\sin(n \cdot (x_6 - d_6)) \\ 0 & 0 & -\lambda_6 \cdot n \cdot \sin(n \cdot x_6) - H_6 \cos(n \cdot x_6) & \lambda_6 \cdot n \cdot \cos(n \cdot x_6) - H_6 \sin(n \cdot x_6) & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (25)$$

Даний детермінант являє собою рівняння, що служить для визначення характеристичних чисел системи n .

Постійні A_1A_3, B_1B_3, C_1C_3 замінимо на їхні амплітудні значення за формулами

$$\begin{aligned} A_1 &= A \sin(\alpha), & A_2 &= A \cos(\alpha), \\ B_1 &= B \sin(\beta), & B_2 &= B \cos(\beta), \\ C_1 &= C \sin(\gamma), & C_2 &= C \cos(\gamma). \end{aligned}$$

Тоді розв'язки для температур T_5^0, T_{65}^0, T_6^0 набудуть вигляду

$$T_5^0 = A \cdot \sin(n x + \alpha) \cdot 2 \cdot A_3 sh(n y) = \Phi_5^0 \sin(n x + \alpha) sh(n y), \quad (26)$$

$$T_{65}^0 = C \sin(n x + \beta) \cdot 2 \cdot C_3 sh(n y) = \Phi_{65}^0 \sin(n x + \beta) sh(n y), \quad (27)$$

$$T_6^0 = B \sin(n x + \gamma) \cdot 2 \cdot B_3 sh(n y) = \Phi_6^0 \sin(n x + \gamma) sh(n y), \quad (28)$$

де $\Phi_5^0 = 2A \cdot A_3, \Phi_{65}^0 = 2C \cdot C_3, \Phi_6^0 = 2B \cdot B_3$.

Будемо шукати розв'язок неоднорідних рівнянь (1), (5), (8) у формі (26), (27), (28), де замінимо постійні $\Phi_5^0, \Phi_{65}^0, \Phi_6^0$ на функції часу $\Phi_5(t), \Phi_{65}(t), \Phi_6(t)$, тоді отримаємо такі рівняння стану:

$$\dot{\Phi}_5 X_5 Y_5 = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot w_5, \quad (29)$$

$$\dot{\Phi}_6 X_6 Y_6 + V_y \cdot \Phi_6 X_6 Y_6' = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot w_6, \quad (30)$$

$$\dot{\Phi}_6 X_6 Y_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot w_6, \quad (31)$$

де

$$X_5 = \sin(n x + \alpha), \quad Y_5 = sh(n y);$$

$$X_6 = \sin(n x + \beta), \quad Y_6 = sh(n y);$$

$$X_5 = \sin(n x + \gamma), \quad Y_5 = sh(n y).$$

Інтегруючи рівняння (29), (30), (31) у границях зміни x, y, z , отримаємо

$$\dot{\Phi}_5 \int_{x_5}^{x_5+d_5} \int_0^{l_5} \int_0^h X_5 Y_5 dx dy dz = \frac{a_1}{\lambda_1} \cdot \int_{x_5}^{x_5+d_5} \int_0^{l_5} \int_0^h w_5 dx dy dz, \quad (32)$$

$$\dot{\Phi}_6 \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6 dx dy dz + V_y \cdot \Phi_6 \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6' dx dy dz = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h w_6 dx dy dz, \quad (33)$$

$$\dot{\Phi}_6 \int_{x_6-d_6}^{x_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6 dx dy dz = \frac{a_2}{\lambda_2} \cdot \int_{x_6-d_6}^{x_6} \int_0^{l_5} \int_0^h w_6 dx dy dz, \quad (34)$$

де l_5 – довжина трубки технологічного індуктора;

h – висота трубки технологічного індуктора.

Останні рівняння можна записати у вигляді

$$\dot{\Phi}_5 = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5}, \quad (35)$$

$$\dot{\Phi}_6 + V_y \frac{\psi_{\epsilon k 5}}{\psi_6} \cdot \Phi_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_6}, \quad (36)$$

$$\dot{\Phi}_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_6}, \quad (37)$$

де

$$P_5 = \int_{x_5}^{x_5+d_5} \int_0^{l_5} \int_0^h w_5 dx dy dz; \quad (38)$$

$$\psi_5 = \int_{x_5}^{x_5+d_5} \int_0^{l_5} \int_0^h X_5 Y_5 dx dy dz; \quad (39)$$

$$\psi_{\epsilon k 5} = \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6' dx dy dz; \quad (40)$$

$$\psi_6 = \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6 dx dy dz; \quad (41)$$

$$P_6 = \int_{x_5+d_5}^{x_6-d_6} \int_0^{l_5} \int_0^h w_6 dx dy dz; \quad (42)$$

$$P_6 = \int_{x_6-d_6}^{x_6} \int_0^{l_5} \int_0^h w_6 dx dy dz; \quad (43)$$

$$\psi_6 = \int_{x_6-d_6}^{x_6} \int_0^{l_5} \int_0^h X_6 Y_6 dx dy dz. \quad (44)$$

Проінтегруємо рівняння (35), (36), (37) по часу й отримаємо

$$\Phi_5 = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5} \cdot t + C_1; \quad (45)$$

$$\Phi_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_{\epsilon k 5} \cdot V_y} + C_2 \cdot e^{-V_y \frac{\psi_{\epsilon k 5}}{\psi_6} t}; \quad (46)$$

$$\Phi_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_6} \cdot t + C_3. \quad (47)$$

При початкових умовах $\Phi_5(t=0) = 0$, $\Phi_6(t=0) = 0$, $\Phi_6(t=0) = 0$ рівняння (45), (46), (47) набудуть вигляду

$$\Phi_5 = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5} \cdot t; \quad (48)$$

$$\Phi_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_{\epsilon k 5} \cdot V_y} \left[1 - e^{-V_y \frac{\psi_{\epsilon k 5}}{\psi_6} t} \right]; \quad (49)$$

$$\Phi_6 = \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_6} \cdot t. \quad (50)$$

Підставляючи їх відповідно у формули (26), (27), (28), отримаємо частинні розв'язки для визначення температури в кожній ділянці

$$T_5^u = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5} \cdot t \cdot \sin(n x + \alpha) sh(n y); \quad (51)$$

$$T_{e5}^u = \frac{a_e}{\lambda_e} \cdot \frac{P_e}{\psi_{ek5} \cdot V_y} \left[1 - e^{-V_y \frac{\psi_{ek5}}{\lambda_e} t} \right] \cdot \sin(n x + \beta) sh(n y); \quad (52)$$

$$T_5^u = \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5} \cdot t \cdot \sin(n x + \gamma) sh(n y). \quad (53)$$

Тоді загальні розв'язки рівнянь стану (1), (5), (8) набудуть вигляду

$$T_5 = T_c + \left[\Phi_5^0 + \frac{a_5}{\lambda_5} \cdot \frac{P_5}{\psi_5} \cdot t \right] \cdot \sin(n x + \alpha) sh(n y); \quad (54)$$

$$T_{e5} = T_c + \left[\Phi_{e5}^0 + \frac{a_e}{\lambda_e} \cdot \frac{P_e}{\psi_{ek5} \cdot V_y} \left(1 - e^{-V_y \frac{\psi_{ek5}}{\lambda_e} t} \right) \right] \cdot \sin(n x + \beta) sh(n y); \quad (55)$$

$$T_6 = T_c + \left[\Phi_6^0 + \frac{a_6}{\lambda_6} \cdot \frac{P_6}{\psi_6} \cdot t \right] \cdot \sin(n x + \gamma) sh(n y), \quad (56)$$

де T_c – температура середовища.

Отримані вирази дають можливість визначити температуру кожної зони нагрівального пристрою від питомої потужності теплових джерел, що індукуються у відповідній зоні [10].

Отриманий результат не є точним розв'язком рівнянь стану, однак він дає наближені результати, які підтверджуються експериментально.

Ці рівняння в подальшому будуть використовуватися при проектуванні індукційних опалювальних систем різного конструктивного виконання.

Висновок. Розроблена інженерно-математична модель дозволяє визначити температуру окремих зон теплообмінника і теплоносія залежно від питомої потужності теплових джерел, що утворюються у відповідних зонах. У нашому випадку – коли індукційний нагрівальний прилад сконструйований таким чином, що індуктор розташований зовні теплообмінника

1. Використання індукційного нагрівання при розробленні нових технологічних процесів і приладів [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин, О.І. Король, М.С. Базар // Конференція «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті» (16 травня 2011 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 91–92.

2. Индукционные котлы EXPRO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://protek.if.ua/induct-boilers.html>.

3. Индукционные электронагреватели «Эдисон» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://protek.if.ua/elecon.html>.

4. Шаблій, О.М. Пристрій для індукційного нагрівання теплоносія [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, М.С. Базар // Патент на корисну модель №57981 по заявці №u2010 10226 від 19.08.2010р. опубліковано Б. №6 від 25.03.2011 р.

5. Шаблій, О.М. Індукційний нагрівач [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, М.С. Базар. // Патент на корисну модель №64393 по заявці №u2011 03585 від 25.03.2011р. опубліковано Б. №21 від 10.11.2011 р.

6. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: «Энергия», 1975. – 488 с.

7. Слухоцкий, А.Е. Индукторы для индукционного нагрева [Текст] / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. – Л.: Энергия, 1974. – 263 с.

8. Шаблій, О. Визначення питомої потужності теплових джерел в стінці технологічного індуктора [Текст] / О. Шаблій, М. Базар // Конференція „Інформаційні моделі, системи та технології“ (20 травня 2011 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 5.

9. Матвеев, А.М. Электричество и магнетизм [Текст] / А.М. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1983. – 463 с.

10. Шаблій О. Індукційний опалювальний пристрій [Текст] / Шаблій О., Пулька Ч., Базар М. // «XV НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ ТНТУ ім. І. Пулюя» (14-15 грудня 2011 р.). - Тернопіль: ТНТУ, 2011. С.-8