

BADANIE NIEUSTALONEGO RUCHU CIEPŁA PRZY OGRZEWANIU LUB OZIĘBIANIU CIECZY W WARUNKACH KONWEKЦИИ NATURALNEJ

1. Wprowadzenie

Periodyczne procesy podgrzewania lub oziębiania ciał są typowymi procesami nieustalonymi, w których strumień ciepły bądź temperatura, lub obie te wielkości zmieniają się w czasie w określonym punkcie ciała. W periodycznych procesach ogrzewania lub oziębiania cieczy czas wymagany dla wymiany określonej ilości ciepła można skrócić przez zwiększenie burzliwości ogrzewanej (oziębianej) cieczy albo czynnika grzejnego (chłodzącego). Wszystkie przypadki nieustalonego ogrzewania i oziębiania można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

1. Dany jest czas τ oraz temperatury mediów na początku i końcu procesu. Wielkością nieznaną jest powierzchnia wymiany ciepła A .

2. Dana jest powierzchnia wymiany ciepła A oraz temperatury mediów na początku i końcu procesu. Wielkością nieznaną jest czas τ .

3. Dana jest powierzchnia wymiany ciepła A oraz czas trwania procesu τ . Wielkością nieznaną jest temperatura jednego lub obu mediów.

We wszystkich przypadkach obowiązują równania bilansu cieplnego:

$$dQ = kA(T_a - T)d\tau \quad (1)$$

$$dQ = m_b c_b dT \quad (2)$$

Równanie (1) określa ilość ciepła, która w czasie $d\tau$ przenika przez powierzchnię przegrody A od rdzenia medium (a) o stałej i znanej temperaturze $T_a = \text{const}$ do rdzenia medium (b) o temperaturze zmiennej $T \neq \text{const}$. W przypadku, gdy $T_a > T$ mamy do czynienia z ogrzewaniem medium (b), jeżeli natomiast $T_a < T$ - z jego oziębianiem. Równanie (2) opisuje zmianę entalpii medium (b) w czasie $d\tau$. Porównując wzory (1) i (2) otrzymamy:

$$d\tau = \frac{m_b c_b}{A} \frac{dT}{k(T_a - T)}. \quad (3)$$

Scałkowanie równania (3) daje:

$$\frac{\tau A}{m_b c_b} = \int_{T_p}^{T_k} \frac{dT}{k(T_a - T)}, \quad (4)$$

gdzie T_p i T_k oznaczają odpowiednio początkową i końcową temperaturę medium (b).

Rozwiązanie równania (4) pozwala na określenie czasu τ , potrzebnego do ogrzania lub oziębiania m kg medium (b) o ciepłe właściwym c_p , od temperatury początkowej T_p do temperatury końcowej T_k , w wymienniku ciepła o powierzchni A , za pomocą medium grzejnego lub chłodzącego o stałej temperaturze $T_a = \text{const}$.

Rozwiązanie całki w równaniu (4) zależy od zachowania się współczynnika przenikania ciepła k ze zmianą temperatury. Dla nieustalonego ogrzewania lub oziębiania cieczy w zbiorniku, w warunkach konwekcji naturalnej po obu stronach ściany, współczynniki wnikania ciepła α zmieniają się w czasie, gdyż zmieniają się temperatury po obu stronach ściany. Po wprowadzeniu znanych zależności [1]:

$\alpha_a = L\Delta T_a^m$ i $\alpha_b = N\Delta T_b^n$, gdzie L i N są pewnymi funkcjami temperatury, do współczynnika przewodzenia ciepła k , można scałkować równanie (4), otrzymując w rezultacie ogólne rozwiązanie w postaci:

$$\frac{\tau A}{m_b c_b} = \frac{1}{Lm} \left(\frac{1+x}{x} \right)^m \left(\frac{1}{\Theta_k^m} - \frac{1}{\Theta_p^m} \right) - \frac{s}{\lambda} \ln \frac{\Theta_k}{\Theta_p} + \frac{(1+x)^n}{nN} \left(\frac{1}{\Theta_k^n} - \frac{1}{\Theta_p^n} \right) \quad (5)$$

w którym :

$$x = \alpha_b / \alpha_a = \Delta T_a / \Delta T_b$$

$\Theta_k = T_a - T_k$ i $\Theta_p = T_a - T_p$ w przypadku ogrzewania cieczy w zbiorniku

$\Theta_k = T_k - T_a$ i $\Theta_p = T_p - T_a$ w przypadku oziębiania cieczy w zbiorniku

s - grubość ścianki zbiornika,

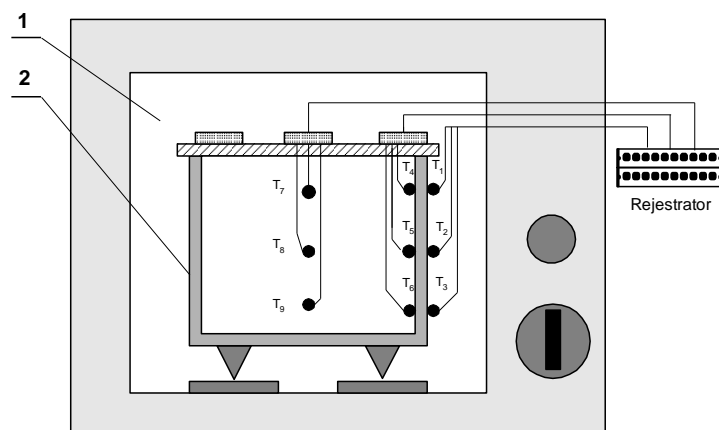
λ - współczynnik przewodzenia ciepła.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar czasu ogrzewania lub oziębiania cieczy w zbiorniku od temperatury początkowej T_p do temperatury końcowej T_k , za pomocą medium grzejjego lub chłodzącego o stałej temperaturze $T_a = \text{const}$ i porównanie go z wartością obliczoną teoretycznie wg wzoru (5).

3. Aparatura

Schemat aparatury doświadczalnej przedstawiony jest na rys. 1. Głównym jej elementem jest suszarka elektryczna o mocy 2,1kW, wyposażona w termometr kontaktowy o zakresie regulacji od temperatury otoczenia do 200°C. W komorze suszarki 1 umieszcza się zbiornik pomiarowy 2, wypełniony badaną cieczą. Zbiornik wykonany jest z blachy mosiężnej o grubości 2 mm, pokrytej wewnątrz cienką warstwą kadmu. Wysokość zbiornika wynosi $H = 300$ mm, a średnica $D = 250$ mm. Pomiar temperatury cieczy i ściany zbiornika odbywa się za pomocą czujników Pt100, których rozmieszczenie jest następujące: czujniki $T_1 - T_3$ mierzą temperaturę zewnętrznej ściany zbiornika, $T_4 - T_6$ mierzą temperaturę ściany po stronie cieczy, natomiast $T_7 - T_9$ mierzą temperaturę cieczy w osi zbiornika.



Rys.1. Schemat aparatury doświadczalnej do badania nieustalonego ruchu ciepła przy ogrzewaniu lub oziębianiu cieczy w warunkach konwekcji naturalnej

1- komora suszarki , 2-zbiornik pomiarowy

4. Metodyka pomiarów

Przed wykonaniem właściwego pomiaru należy włączyć ogrzewanie suszarki i ustawić na termometrze kontaktowym żadaną temperaturę, napelnić zbiornik badaną cieczą oraz włączyć rejestrator temperatury. Po ustaleniu się zadanej temperatury w komorze suszarki należy wstawić do niej zbiornik z cieczą i uruchomić ciągły zapis temperatur $T_1 - T_9$. Czas pomiaru określony jest przez długość taśmy papierowej z zapisem temperatur oraz ustaloną prędkość jej przesuwu.

5. Opracowanie wyników

Doświadczalny czas ogrzewania lub oziębiania zbiornika z cieczą należy porównać z obliczonym wg wzoru ogólnego (5). Współczynniki wnikania ciepła α po obu stronach ściany zbiornika należy przeprowadzić w oparciu o zmierzony rozkład temperatur na ścianie, w cieczy oraz w komorze suszarki. W obliczeniach należy uwzględnić, że część strumienia cieplnego między zbiornikiem a otoczeniem jest wymieniana przez promieniowanie. Względna zdolność emisyjna dla zewnętrznej ściany zbiornika $\varepsilon = 0.91$, a współczynnik przewodzenia ciepła dla mosiądzu $\lambda = 103 \text{ W/mK}$.