

MODEL WYMIANY CIEPŁA W CHŁODNICY PŁYTOWEJ

Rozwijanie metod regulacji oraz symulacji cyfrowej wymaga dokładnych modeli urządzeń technicznych. W artykule przedstawiono model wymiany ciepła w chłodnicy płytowej. Został on wyznaczony na podstawie równań różniczkowych, co zapewniło wysoką dokładność. Poprawność modelu sprawdzono na danych chłodnicy M10 – MFM firmy Alfa-Laval.

Spis oznaczeń

- A, B – stałe całkowania
- a, b – stała wymiany ciepła dla chłodnicy płytowej od strony chłodzonej i chłodzącej [s^{-1}]
- c – ciepło właściwe cieczy [J/kgK]
- k – współczynnik wymiany ciepła w chłodnicy płytowej [W/m^2K]
- l – długość płyt [m]
- ρ – gęstość cieczy [kg/m^3]
- T_m – temperatura wody morskiej w chłodnicy płytowej [$K, ^\circ C$]
- T_s – temperatura wody słodkiej w chłodnicy płytowej [$K, ^\circ C$]
- T – okres dyskretyzacji funkcji transformowanej [s]
- τ – czas [s]
- x – rozkład temperatury na długości płyty
- w_m – prędkość przepływu wody morskiej [m/s]
- w_s – prędkość przepływu wody słodkiej [m/s]
- z – odległość między płytami [m]

Indeksy

- 0 – wartość początkowa
- 1 – wartość brzegowa na wejściu
- 2 – wartość brzegowa na wyjściu
- m – woda morska, czynnik chłodzący
- s – woda słodka, czynnik chłodzony

WSTĘP

Wymienniki ciepła są stosowane we wszystkich rodzajach siłowni. Służą do podgrzewania lub chłodzenia czynnika roboczego w postaci ciekłej lub gazowej. Od wymienników ciepła zależy utrzymanie właściwej temperatury procesu.

W siłowniach okrętowych wprowadzono trzystopniowe chłodzenie silnika głównego. Zwiększyło to liczbę chłodziń i układów regulacji. Powszechnie wykorzystuje się chłodzińce płytowe. Ta konstrukcja ma również zastosowanie do budowy skraplaczy, wyparowników i podgrzewaczy paliwa.

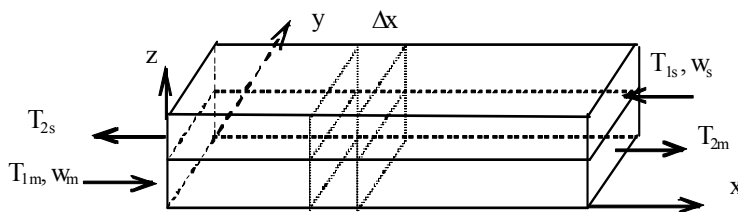
W symulatorach siłowni okrętowych konieczny jest szybki algorytm symulacji wymiennika płytowego, który będzie wyznaczał nową wartość punktu regulacji w wielu instalacjach. Jednocześnie symulacja ma dobrze odwzorowywać właściwości statyczne i dynamiczne procesu wymiany ciepła [9, 13, 15].

Zasady tworzenia algorytmu symulacji przedstawiono w literaturze przedmiotu [10]. Tym tokiem postępowania posłużono się do utworzenia równań modelu wymiennika ciepła woda słodka–woda morską.

1. MODEL PŁYTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA

Wymiennik płytowy zbudowany jest z płyt ułożonych równolegle, w których naprzemiennie przepływa czynnik roboczy pierwszy i drugi. Proces wymiany ciepła jest powtarzany równolegle pomiędzy kolejnymi płytami. Każda płyta pobiera czynnik roboczy z kolektora głównego i wytwarza powtarzalne warunki wymiany ciepła, to jest stałą prędkość przepływu czynnika oraz warunki wymiany ciepła ujęte we współczynniku przenikania ciepła. Dla utworzenia modelu matematycznego wymiennika płytowego należy rozpatrzyć układ dwupłytowy o przepływie współprądowym lub przeciwaprądowym, jak na rysunku 1. Do opisu wymiany ciepła przyjęto następujące założenia upraszczające [2, 3, 4, 12, 14]:

- parametry fizyczne czynników roboczych w zakresie zmian temperatur zachodzących w wymienniku są niezależne od temperatury,
- uśredniony profil prędkości przepływu czynnika roboczego jest tłokowy (przepływ burzliwy),
- nie występuje gradient temperatury na kierunku y i z ,
- pojemność cieplna przegrody płytowej jest pomijana ze względu na jej cienkość ($g = 0,4$ mm).



Rys. 1. Schemat segmentu wymiennika płytowego dla przepływu przeciwnieprądowego

Uwzględniając powyższe założenia, można zapisać bilans energii dla elementu o długości Δx [11, 13]. Proces wymiany ciepła w wymienniku płytowym opisuje układ równań różniczkowych:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T_s(x, \tau)}{\partial \tau} + w_s \frac{\partial T_s(x, \tau)}{\partial x} = -a[T_s(x, \tau) - T_m(x, \tau)], \\ \frac{\partial T_m(x, \tau)}{\partial \tau} + w_m \frac{\partial T_m(x, \tau)}{\partial x} = b[T_s(x, \tau) - T_m(x, \tau)], \end{array} \right. \quad (1)$$

$$(2)$$

przy czym:

$$a = \frac{2k}{z c_s \rho_s}, \quad (3)$$

$$b = \frac{2k}{z c_m \rho_m}. \quad (4)$$

Zmiennymi podstawowymi są temperatury cieczy T_s i T_m względem długości płyt x i czasu τ . Do rozwiązania układu równań (1) i (2) wykorzystano przekształcenie Z i otrzymano:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_s(x, z) \left(a + \frac{z-1}{T} \right) + w_s \frac{d\bar{T}_s(x, z)}{dx} - \frac{z}{T} \bar{T}_s(x, 0) = a \cdot T_m(x, z), \\ \bar{T}_m(x, z) \left(b + \frac{z-1}{T} \right) + w_m \frac{d\bar{T}_m(x, z)}{dx} - \frac{z}{T} \bar{T}_m(x, 0) = b \cdot \bar{T}_s(x, z). \end{array} \right. \quad (5)$$

$$(6)$$

Proces jest nieliniowy ze względu na prędkość przepływu oraz warunki wymiany ciepła k . Ich zmiany są wolniejsze od zmian temperatur w danym kroku dyskretyzacji i przyjmuje się je za stałe w pojedynczym kroku iteracji. Tak otrzymuje się układ równań różniczkowych (5) i (6) pierwszego rzędu o stałych współczynnikach.

Do rozwiązania układu równań (5) i (6) zakłada się stałą, niezerową wartość temperatury na długości płyt w chwili $\tau = 0$:

$$T_s(x, 0) = T_{s0}(x) = \text{const}, \quad T_m(x, 0) = T_{m0}(x) = \text{const}. \quad (7)$$

Rozwiązaniem ogólnym układu równań (5) i (6) dla niezerowych warunków początkowych (7) są funkcje:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_s(x, z) = Ae^{r_1 x} + Be^{r_2 x} + \bar{T}_{ss}(x, z), \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_m(x, z) = \left(1 + \frac{z-1}{aT} + \frac{w_s}{a} r_1\right) Ae^{r_1 x} + \left(1 + \frac{z-1}{aT} + \frac{w_s}{a} r_2\right) Be^{r_2 x} + \bar{T}_{mm}(x, z), \end{array} \right. \quad (9)$$

przy czym:

$$r_1 = \alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right] - \frac{z-1}{Tw_s} x - \frac{a}{w_s} x, \quad (10)$$

$$r_2 = -\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right] - \frac{z-1}{Tw_m} x - \frac{b}{w_m} x, \quad (11)$$

$$\bar{T}_{ss}(x, z) = \frac{z \frac{z-1}{T} + bz}{Tw_s w_m r_1 r_2} T_{s0} + \frac{az}{Tw_s w_m r_1 r_2} T_{m0} = \frac{z(z-1)T_{s0} + zT(bT_{s0} + aT_{m0})}{(z-1)^2 + (z-1)T(a+b)}, \quad (12)$$

$$\bar{T}_{mm}(x, z) = \frac{bz}{Tw_s w_m r_1 r_2} T_{s0} + \frac{z \frac{z-1}{T} + az}{Tw_s w_m r_1 r_2} T_{m0} = \frac{z(z-1)T_{m0} + zT(bT_{s0} + aT_{m0})}{(z-1)^2 + (z-1)T(a+b)}, \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{w_m - w_s}{2Tw_m w_s} x, \quad (14)$$

$$\beta = T \frac{aw_m - bw_s}{w_m - w_s} - 1, \quad (15)$$

$$\gamma = 4abT^2 \frac{w_m w_s}{(w_m - w_s)^2}. \quad (16)$$

Pełne rozwiązanie otrzyma się dla znanych warunków początkowych. W chłodnicach płytowych stosuje się głównie przepływ przeciwpądowy. Jako warunki początkowe przyjmuje się skokową zmianę temperatury na wejściu do chłodnicy płytowej po stronie czynnika chłodzonego i chłodzącego jednocześnie (rys. 1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_s(x=l, z) = Ae^{r_1 l} + Be^{r_2 l} + \bar{T}_{ss}(l, z) = \bar{T}_{s1}(l, z), \\ \bar{T}_m(x=0, z) = \left(1 + \frac{z-1}{aT} + \frac{w_s}{a} r_1\right) A + \left(1 + \frac{z-1}{aT} + \frac{w_s}{a} r_2\right) B + \bar{T}_{mm}(0, z) = \bar{T}_{m1}(0, z). \end{array} \right. \quad (17)$$

Po wyznaczeniu stałych całkowych A i B z równań (17) i (18) i po podstawieniu ich do układu równań (8) i (9), otrzyma się rozwiązanie:

$$\begin{aligned}
\bar{T}_{s2}(0, z) = & \left[\bar{T}_{s1}(l, z) - \bar{T}_{ss}(l, z) \right] \times \\
& \left(1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} \right) e^{-\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{\frac{z-1}{Tw_s} l} \frac{a}{w_s} l \\
& \times \frac{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l}{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l} + \\
& + \left[\bar{T}_{m1}(0, z) - \bar{T}_{mm}(0, z) \right] \times \\
& \frac{1}{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l \\
& \times \frac{2Taw_m}{(w_m - w_s)} \frac{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}}{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l} + \\
& + \bar{T}_{ss}(0, z), \tag{19}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{T}_{m2}(l, z) = & \left[\bar{T}_{s1}(l, z) - \bar{T}_{ss}(l, z) \right] \times \\
& \frac{1}{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l \\
& \times \frac{2bTw_s}{(w_m - w_s)} \frac{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}}{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l} + \\
& + \left[\bar{T}_{m1}(0, z) - \bar{T}_{mm}(0, z) \right] \times \\
& \left(1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} \right) e^{-\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{-\frac{z-1}{Tw_m} l} \frac{b}{w_m} l \\
& \times \frac{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l}{1 + \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]} e^{(z-1) \frac{w_m - w_s}{Tw_m w_s} l} \frac{aw_m - bw_s}{w_m w_s} l} + \\
& + \bar{T}_{mm}(l, z). \tag{20}
\end{aligned}$$

Postać oryginału funkcji $T_{s_2} T_{m_2}$ otrzymuje się po zastosowaniu definicji [6]:

$$f_n = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{n!} \frac{d^n F \left(z = \frac{1}{p} \right)}{dp^n}. \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_a(z) = \frac{1}{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}}, \\ f_a(nT) = 0, \sum_{m=0}^S (-1)^{n-1} (-1)^m \frac{(n-1)!}{2^{2m+1} m! (m+1)! (n-1-2m)!} \beta^{n-1-2m} \gamma^m, \end{array} \right. \quad (22)$$

przy czym:

$$S = \begin{cases} \frac{n-1}{2} & \text{dla } n \text{ nieparzystych,} \\ \frac{n-2}{2} & \text{dla } n \text{ parzystych.} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_b(z) = \frac{1}{z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]}, \\ f_b(nT) = 0, \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{m=0}^S (-1)^{n-1} (-1)^k (-1)^m \frac{(k+1)(n-1)!}{2^{2m+1} k! m! (m+k+1)! (n-k-1-2m)!} \beta^{n-1-k-2m} \gamma^m (\alpha\gamma)^k, \end{array} \right. \quad (23)$$

przy czym:

$$S = \begin{cases} \frac{n-k-1}{2} & \text{dla } n \text{ nieparzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ parzystych i } k \text{ nieparzystych,} \\ \frac{n-k-2}{2} & \text{dla } n \text{ parzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ nieparzystych i } k \text{ nieparzystych.} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c(z) = \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right)^2} e^{-\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma} \right]}, \\ f_c(nT) = 0, \sum_{k=0}^{n-2} \sum_{m=0}^S (-1)^n (-1)^k (-1)^m \frac{(k+2)(n-1)!}{2^{2m+k+2} k! m! (m+k+2)! (n-k-2-2m)!} \beta^{n-2-k-2m} \gamma^{m+1} (\alpha\gamma)^k, \end{array} \right. \quad (24)$$

przy czym:

$$S = \begin{cases} \frac{n-k-3}{2} & \text{dla } n \text{ nieparzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ parzystych i } k \text{ nieparzystych,} \\ \frac{n-k-2}{2} & \text{dla } n \text{ parzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ nieparzystych i } k \text{ nieparzystych.} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_d(z) = \frac{\gamma}{\left(z + \beta + \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}\right)^2} e^{-2\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}\right]} \\ f_d(nT) = 0,0, \sum_{k=0}^{n-2} \sum_{m=0}^S (-1)^n (-1)^k (-1)^m \frac{(k+2)(n-1)!}{2^{2m+2} k! m! (m+k+2)! (n-k-2-2m)!} \beta^{n-2-k-2m} \gamma^{m+1} (\alpha\gamma)^k, \end{array} \right. \quad (25)$$

przy czym:

$$S = \begin{cases} \frac{n-k-3}{2} & \text{dla } n \text{ nieparzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ parzystych i } k \text{ nieparzystych,} \\ \frac{n-k-2}{2} & \text{dla } n \text{ parzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ nieparzystych i } k \text{ nieparzystych.} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_e(z) = e^{-\alpha \left[z + \beta - \sqrt{(z + \beta)^2 + \gamma}\right]}, \\ f_e(nT) = 1, \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{m=0}^S (-1)^n (-1)^k (-1)^m \frac{(n-1)!}{2^{2m+k+1} k! m! (m+k+1)! (n-k-1-2m)!} \beta^{n-1-k-2m} \gamma^m (\alpha\gamma)^{k+1}, \end{array} \right. \quad (26)$$

przy czym:

$$S = \begin{cases} \frac{n-k-1}{2} & \text{dla } n \text{ nieparzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ parzystych i } k \text{ nieparzystych} \\ \frac{n-k-2}{2} & \text{dla } n \text{ parzystych i } k \text{ parzystych lub } n \text{ nieparzystych i } k \text{ nieparzystych.} \end{cases}$$

Po wykonaniu dzielenia przez szereg otrzymuje się odpowiedź w chwilach dyskretnych:

$$\begin{aligned} T_{s2}(0, nT) = \sum_n \left[T_{s1}(nT) - T_{ss}(l, nT) \right] & \frac{f_e \left[nT + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{a}{w_s} l} + f_c \left[nT + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{a}{w_s} l}}{1 + f_d \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}}} + \\ & + \sum_n \left[T_{m1}(nT) - T_{mm}(0, nT) \right] \frac{2Taw_m}{(w_m - w_s)} \frac{f_a(nT) - f_b \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}}}{1 + f_d \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}}} + T_{ss}(0, nT), \quad (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{m2}(l, nT) = & \sum_n [T_{s1}(nT) - T_{ss}(l, nT)] \frac{2bTw_s}{(w_m - w_s)} \frac{f_b \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}} - f_a(nT)}{1 + f_d \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}}} + \\
& + \sum_n [T_{m1}(nT) - T_{mm}(0, nT)] \frac{f_e \left[nT - \frac{l}{w_m} \right] e^{\frac{b}{w_m} l} + f_c \left[nT + \frac{l}{w_m} \right] e^{\frac{b}{w_m} l}}{1 + f_d \left[nT - \frac{l}{w_m} + \frac{l}{w_s} \right] e^{\frac{aw_m - bw_s l}{w_m w_s}}} + T_{mm}(l, nT). \quad (28)
\end{aligned}$$

Funkcja wymuszenia T_{s1} i T_{m1} może być dowolna, ale prowadzi to do operacji splotu funkcji. W przypadku wymuszenia skokowego odpowiedź jest sumą wyrazów danego szeregu. Do realizacji innych funkcji wskazana jest aproksymacja funkcją schodkową. Taką aproksymację stosuje się w algorytmach regulacji cyfrowej.

Rozwiązanie końcowe zawiera wszystkie zmienne procesu i zmienną czasu w postaci dyskretnej. W jednym kroku dyskretyzacji zmienne procesu przyjmują stałą wartość. Mogą być zmienione w kolejnym kroku dyskretyzacji. W ten sposób sprowadza się dany model do postaci liniowej. Po zmodyfikowaniu parametrów w kolejnych krokach otrzymuje się rozwiązanie quasi-liniowe układu nieliniowego. Jeżeli nie ma potrzeby zmiany parametrów, to wyznacza się kolejne wartości procesu.

2. PRZYKŁAD

Przykładowe obliczenia wykonane opisaną metodą zaprezentowano na rysunku 2. Do symulacji pracy chłodnicy płytowej przyjęto następujące dane:

- **chłodnica M10 – MFM**, typu woda słodka–woda morska

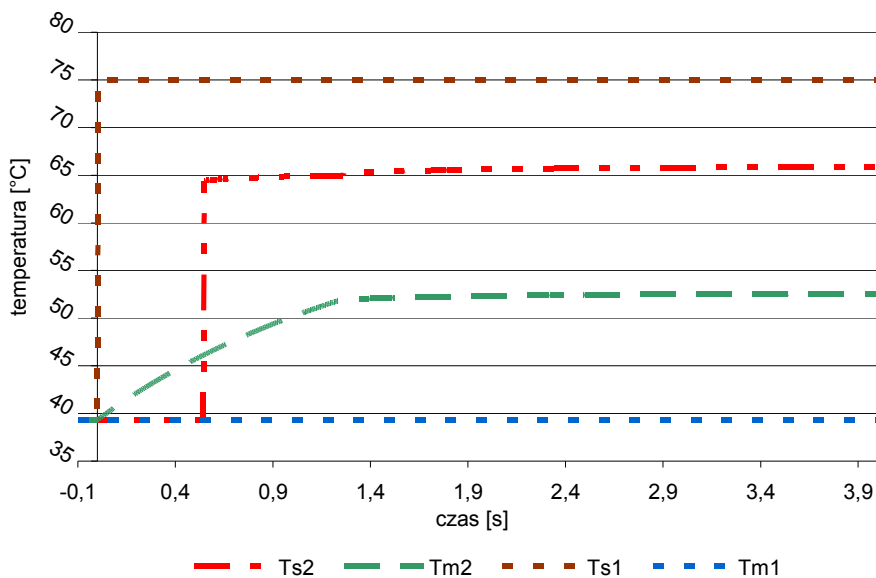
$$\begin{aligned}
l &= 0,675 \text{ m}, \\
a &= 0,75 \text{ [1/s]}, \quad b = 0,74 \text{ [1/s]}, \\
w_s &= 1,23 \text{ [m/s]}, \quad w_m = 0,944 \text{ [m/s]},
\end{aligned}$$

- rozkład początkowy temperatury na długości płyty:

$$T_{0s}(x) = 39,3^\circ\text{C}, \quad T_{0m}(x) = 39,3^\circ\text{C},$$

- sygnał zadany na wejściu do chłodnicy:

$$T_{1s}(\tau) = 75,0^\circ\text{C}, \quad T_{1m}(\tau) = 39,3^\circ\text{C}.$$



Rys. 2. Symulacja chłodnicy M10 – MFM

Na wejściu zmieniono tylko jedną temperaturę T_{s1} , natomiast T_{m1} pozostała stała. W odpowiedzi otrzymano zmianę temperatury na wyjściu T_{s2} i T_{m2} . Na odpowiedzi T_{s2} widoczne jest opóźnienie transportowe spowodowane czasem przepływu wzdłuż płyt chłodzących. Jednocześnie jest to czas chłodzenia wody słodkiej, dlatego po tym czasie ta temperatura się ustala. Temperatura T_{m2} zmienia się od momentu wymuszenia T_{s1} . Jest to charakterystyczne dla przepływu przeciwnieprądowego cieczy.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań przeprowadzonych na modelu wymiennika płytowego dają dobrą zgodność z wynikami rzeczywistymi. Model wymiennika płytowego może być stosowany w symulacji cyfrowej w zależności od czasu symulacji, jakim się dysponuje.

Na podstawie przeprowadzonych analiz modelu chłodnicy można stwierdzić:

- Uzyskane charakterystyki statyczne i dynamiczne są w pełni adekwatne w całym zakresie obciążeń występujących w eksploatacji.
- Model prawidłowo reaguje na zmianę prędkości przepływu czynników roboczych i pozostałych parametrów.
- Możliwa jest głęboka analiza symulowanych zjawisk i procesów. Może ona dotyczyć tak procesów regulacji, jak diagnozowania stanu technicznego chłodnicy

- Porównanie przepływu przeciwrządowego i współrządowego potwierdza lepszy rezultat dla przepływu przeciwrządowego, ale wydłuża czas przejścia do stanu ustalonego.
- Możliwe jest uproszczenie modelu dynamiki chłodnicy płytowej do transmitancji prostych układów automatyki typu inercyjny pierwszego rzędu i opóźniający ze zmiennym parametrem.

LITERATURA

1. Douglas J. M., *Dynamika i sterowanie procesów, Analiza układów dynamicznych*, WNT, Warszawa 1976.
2. Friedly J. C., *Analiza dynamiki procesów*, WNT, Warszawa 1975.
3. Gdula S.J., *Przewodzenie ciepła, praca zbiorowa*, PWN, Warszawa 1984.
4. Hobler T., *Ruch ciepła i wymienniki*, WNT, Warszawa 1979.
5. Kącki E., *Równania różniczkowe cząstkowe w zagadnieniach fizyki i techniki*, WNT, Warszawa 1992.
6. Kudrewicz J., *Przekształcenie Z i równania różnicowe*, PWN, Warszawa 2000.
7. Mielewczyk A., *A simulation model of plate cooler*, *Polish Maritime Research*, September 2001, no. 3(29), vol. 8.
8. Mielewczyk A., *Computer simulation of control processes of ship power plant auxiliary systems*, *Polish Maritime Research*, September 2000, no. 3(25), vol. 7.
9. Mielewczyk A., *Model symulacyjny procesu sterowania instalacjami chłodzenia i smarowania średnioobrotowego silnika spalinowego*, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, Gdańsk 1998.
10. Mielewczyk A., *Numerical simulation of heat flow processes*, *Polish Maritime Research*, October 2005, no. 4(46), vol. 12.
11. Mikieliewicz J., *Modelowanie procesów ciepłno-przepływowych*, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Wrocław 1995.
12. Petela R., *Przepływ ciepła*, PWN, Warszawa 1983.
13. Piekarski M., Poniewski M., *Dynamika i sterowanie procesami wymiany ciepła i masy*, WNT, Warszawa 1994.
14. Taler J., Duda P., *Rozwiązywanie prostych i odwrotnych zagadnień przewodzenia ciepła*, WNT, Warszawa 2003.
15. Tarnowski W., *Modelowanie systemów*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.

EXCHANGE HEAT MODEL OF PLATE COOLER

Summary

This paper presents exchange heat model in the plate cooler. It is calculated on base of partial differential equation and Z-transform. This model is verified for cooler type M10 – MFM of Alfa-Laval company.