

Kazimierz Kurpisz, Ireneusz Szczygieł
Instytut Techniki Ciepłej
politechnika Śląska

MODELOWANIE MATEMATYCZNE ABSORPCYJNYCH TRANSFORMATORÓW CIEPŁA

Streszczenie. W pracy przedstawiono model matematyczny jednostopniowego transformatora ciepła. Omówiono charakterystykę statyczną zbudowaną przy wykorzystaniu opisanego modelu.

Резюме. В работе представлена математическая модель термотрансформатора. Описана тоже характеристика термотрансформатора, сделанная при использовании этой модели.

Summary. Mathematical modelling of heat transformers are presented. The static characteristic of heat transformer as a result of computations is included.

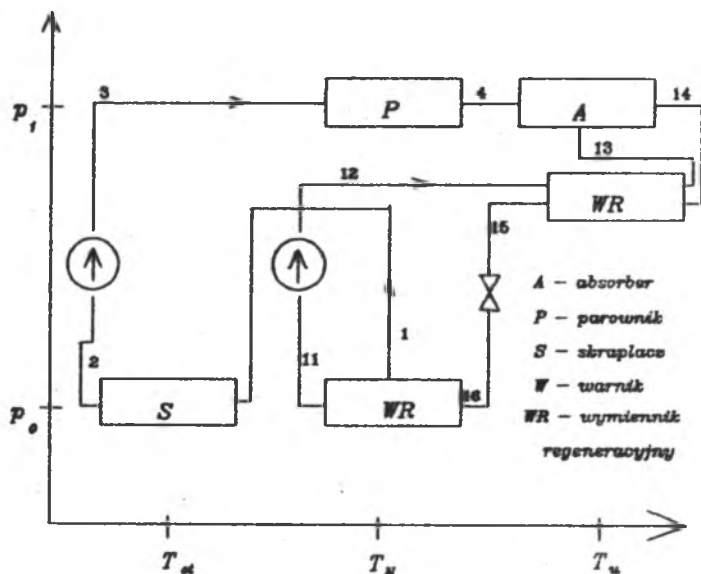
1. WSTĘP

Transformatorem ciepła nazywamy urządzenie współpracujące przynajmniej z trzema źródłami ciepła, z których jedno jest źródłem ciepła napędowego \dot{Q}_n o temperaturze T_n . Przedmiotem rozważań w niniejszej pracy jest tzw. transformator rozdzielający albo podwyższający. Pobiera on jeden strumień ciepła na średnim poziomie temperatury (ok. $90+100^\circ\text{C}$) i oddaje dwa: na poziomie temperatury wyższym (ok. $120+150^\circ\text{C}$) oraz niższym (ok. $20+30^\circ\text{C}$). Pozwala to na zastosowanie go przy odzyskiwaniu niskotemperaturowej energii odpadowej, w szczególności jeżeli różnica pomiędzy temperaturą wymaganą przez proces technologiczny, a temperaturą nośnika energii odpadowej jest niewielka. W niniejszej pracy zajęto się analizą jednostopniowego absorpcyjnego transformatora ciepła pracującego z roztworem roboczym bromku litu w wodzie. Jest to najczęściej występujący typ transformatora ciepła. Opracowano model matematyczny urządzenia umożliwiający określanie wielkości powierzchni po-

szczególnych aparatów. Pozwala to oszacować koszty zainstalowania urządzenia, oraz dobrać najkorzystniejsze warunki jego pracy.

2. SCHEMAT I ZASADA DZIAŁANIA

Jednostopniowy absorpcyjny transformator ciepła jest najprostszym typem transformatora ciepła. Składa się on z następujących elementów: A-absorber, W-warnik, P-parownik, S-skraplacz, dwie pompy roztworu, zawór dławiący i zwykle jeden lub dwa wymienniki regeneracyjne WR. Schemat takiego transformatora z zaznaczonymi poziomami ciśnienia i temperatur dla głównych (poza wymiennikami) elementów układu pokazano na rys.1. Czynnikiem roboczym jest roztwór dwuskładnikowy (bromek litu w wodzie). W punktach oznaczonych na schemacie numerami wyższymi od 10 znajduje się roztwór bromku litu w wodzie, w pozostałych zaś występuje praktycznie czysta woda.



Rys.1. Schemat ideowy transformatora ciepła

Fig.1. Heat transformer scheme

3. ZAŁOŻENIA MODELU MATEMATYCZNEGO

Model matematyczny transformatora ciepła składa się z równań bilansu energii dla poszczególnych elementów układu, równań przenikania ciepła

oraz z równań opisujących właściwości termofizyczne roztworu bromku litu w wodzie. Ponadto w modelu występują ograniczenia związane z niebezpieczeństwem tworzenia się hydratów.

Założono, że w warkniku odparowuje czysta woda.

Przyjęto, że wszystkie aparaty cieplne wchodzące w skład transformatora zbudowane są jako płaszczowo-rurowe. Takie rozwiązania są stosowane w najnowszych konstrukcjach rozwiązań bromolitowych.

Przy obliczaniu parametrów czynnika założono, że znane są wartości temperatury czynnika chłodzącego skraplacz. Ponadto założono znajomość temperatury napędowej T_n oraz użytecznej T_U . Pominięto moc napędową pomp.

Przy obliczaniu powierzchni wymiany ciepła w aparatach cieplnych założono znajomość minimalnych różnic temperatury pomiędzy czynnikami we wszystkich wymiennikach ciepła.

W parowniku, skraplaczu i w wymiennikach regeneracyjnych założono stałość współczynnika przenikania ciepła w całym wymienniku, co daje zależność :

$$A = \frac{\dot{Q}}{\dot{q}} \quad (1)$$

$$\dot{q} = k \cdot \Delta t \quad (2)$$

Natomiast w warkniku i absorberze w związku ze zmianą stężenia roztworu wzdłuż wymiennika i co za tym idzie zmianą własności czynników, założono liniową zależność współczynnika wymiany ciepła od temperatury.

$$k = a \cdot \Delta t + b \quad (3)$$

Dla elementu powierzchni dx wymiennika współprądowego strumień ciepła $d\dot{Q}$ można wyrazić na trzy sposoby :

a) z bilansu energii dla czynnika 1

$$d\dot{Q} = -w_1 dt_1 \quad (a)$$

b) z bilansu energii dla czynnika 2

$$d\dot{Q} = w_2 dt_2 \quad (b)$$

c) z równania Pecleta

$$d\dot{Q} = k \Delta t dx \quad (c)$$

gdzie $\Delta t = t_1 - t_2$

Scałkowanie tych równań z wykorzystaniem (3) i warunku brzegowego $\Delta t(0) = \Delta t_p$ daje rozkład różnicy temperatury w wymienniku ciepła:

$$\Delta t(x) = \frac{-b \Delta t_p \exp(Bx)}{a \Delta t_p \exp(Bx) - k_p} \quad (d)$$

gdzie:

$$B = -b \left(\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \right)$$

k_p - współczynnik przenikania ciepła na początku wymiennika

Średnią wartość iloczynu $k \Delta t$ obliczono z zależności :

$$(k \Delta t)_m = \frac{1}{A} \int_0^A k \Delta t \, dx$$

Dało to następujący rezultat :

$$(k \Delta t)_m = \frac{\Delta t_k k_p - \Delta t_p k_k}{\Delta t_k k_p \ln \frac{\Delta t_k k_p}{\Delta t_p k_k}} \quad (4)$$

gdzie

k_k - współczynnik przenikania ciepła na końcu wymiennika

Δt_k - różnica temperatur na końcu wymiennika

Zależność określająca powierzchnię wymiany ciepła przyjmuje wtedy postać :

$$A = \frac{\dot{Q}}{(k \Delta t)_m} \quad (5)$$

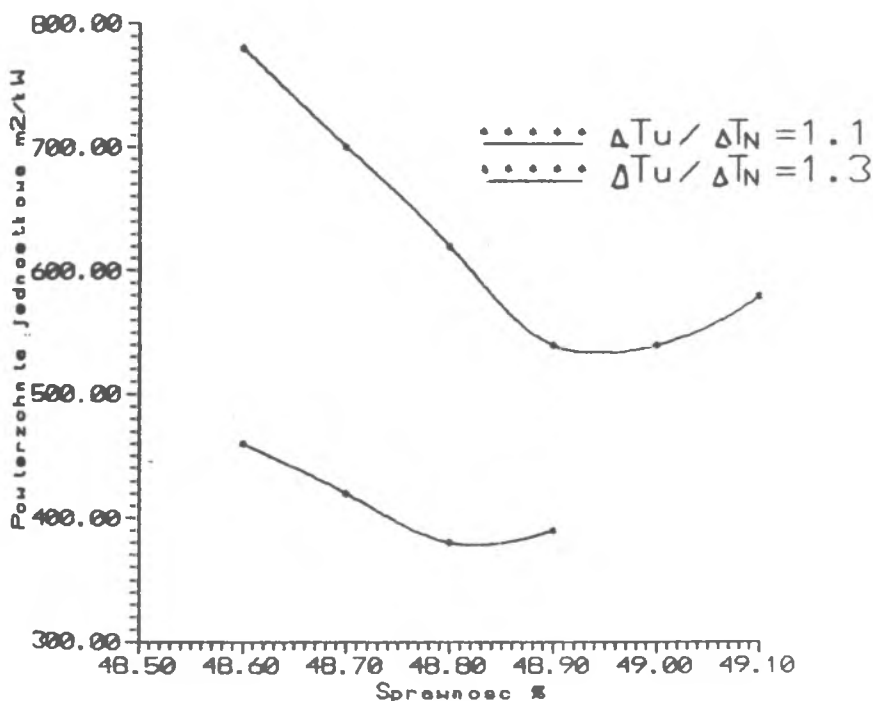
4. WYNIKI OBLICZEŃ

Opierając się na opracowanym programie komputerowym przeprowadzono wielowariantowe obliczenia mające na celu sporządzenie statycznych charakterystyk transformatora. Poniżej przytoczono wartości danych użytych do obliczeń. Są one zbliżone do rzeczywistych warunków pracy działających transformatorów ciepła:

- minimalna różnica temperatury czynników w warkniku.... 4 K
- minimalna różnica temperatury czynników w parowniku... 3 K

- minimalna różnica temperatury czynników w skraplaczu..2 K
- minimalna różnica temperatury czynników w absorberze..4 K
- różnica temperatur w WR.....5 K
- różnica ciśnienia między wężem i skraplaczem.....60 Pa
- różnica ciśnienia między parownikiem i absorberem...410 Pa
- temperatura czynnika chłodzącego skraplacz.....25 °C

Wstępne obliczenia wykazały, że wpływ wymiennika regeneracyjnego II na pracę układu jest bardzo niewielki. Dlatego też wszystkie charakterystyki przebadano po odłączeniu tego wymiennika. Sumaryczną powierzchnię aparatów wchodzących w skład transformatora ciepła odniesiono do strumienia



Rys.2. Charakterystyka statyczna transformatora ciepła

Fig.2. Heat transformer static characteristic

ciepła użytkowego odbieranego w absorberze. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń zbudowano charakterystykę statyczną transformatora ciepła, przedstawiającą zależność sprawności od sumarycznej powierzchni wymiany ciepła. Jako parametr przyjęto stosunek temperatur $\Delta T_U / \Delta T_N$, gdzie ΔT oznacza nadwyżkę ponad temperaturę $T_0 = 273$ K. Charakterystykę tę opracowano przy ustalonych wartościach parametrów wewnętrznych transformatora (różnic temperatur, różnic ciśnienia itp.). Zaznacza się na niej wyraźne minimum wielkości powierzchni w funkcji sprawności. Położenie tego minimum uzależnione jest od stosunku temperatur użytecznej i napędowej. Sprawność optymalna rośnie wraz ze wzrostem stosunku temperatury. Wynika z tego, że uzyskanie wyższej sprawności wymaga większych nakładów inwestycyjnych. Charakterystykę przedstawiono na rysunku 2.

LITERATURA

- [1] Kurpisz K.: Przemysłowe pompy i transformatory ciepła. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. ser. Energetyka, z.106 Gliwice 1989, s. 267,290.
- [2] GEA: Wärmetransformator als Alternativsystem bei Abwärmeverwertung, Katalog ofertowy, GEA GmbH, Herne 1989.
- [3] Szczygieł I.: Modelowanie matematyczne i analiza przydatności absorpcyjnych transformatorów ciepła. Praca dyplomowa, ITC, 1990.

MATHEMATICAL MODELLING OF ABSORPTION HEAT TRANSFORMERS

Heat transformer is a device which is used for increasing temperature level associated with certain heat flux. It is driven by the heat source and utilizes water solution of lithium bromide. It receives heat flux on the middle level of temperature and returns two fluxes: one on the low and the second on the high temperature level. Scheme of such a device is shown in Fig. 1. After taking several assumptions the mathematical model was developed. As a result of computations the static characteristic which is shown in Fig. 2. was constructed.