

Janusz Lewandowski

Instytut Techniki Ciepłej

Politechnika Warszawska

## APROKSYMACYJNY MODEL MATEMATYCZNY DO WYZNACZANIA TEMPERATURY WODY ZASILAJĄCEJ W TURBOZESPOLE PAROWYM

Streszczenie. Przedstawiono aproksymacyjny model matematyczny do wyznaczania temperatury wody zasilającej w turbozespołe parowym. Omówiono sposób określania postaci modelu oraz wyznaczania jego współczynników.

### 1. WSTĘP

Przy rozpatrywaniu zagadnień związanych z optymalizacją eksploatacji konieczna jest znajomość modelu matematycznego obiektu. Zwykle sporządzany jest tu model uproszczony, to jest nie wykorzystujący równań opisujących procesy fizyczne, a określający bezpośrednio związki między wyjściem a wejściami obiektu. Model taki nazywany bywa aproksymacyjnym i zwykle formułowany jest w postaci wielomianu, którego ilość wyrazów określana jest poprzez eliminację a posteriori, w wyniku analizy współczynników korelacji [1],[2].

Za wadę takiego podejścia uważać można fakt niewykorzystywania zgromadzonej dotychczas wiedzy dla określenia postaci modelu. W pracy, na przykładzie modelu określającego temperaturę wody zasilającej w turbozespołe parowym, przedstawiono postępowanie, które dzięki wykorzystaniu dostępnej wiedzy prowadzi do dużo prostszej postaci modelu.

### 2. OKREŚLENIE POSTACI MODELU

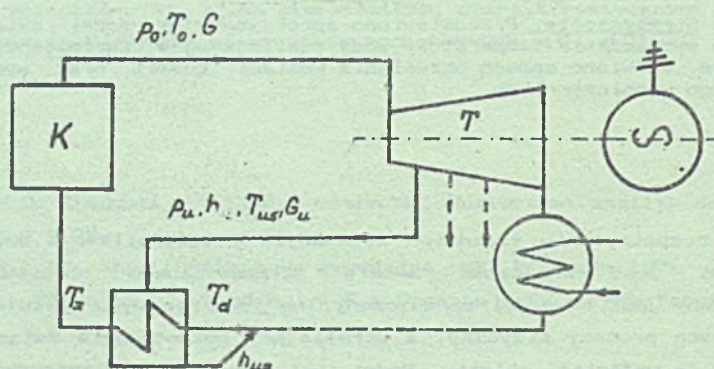
W celu wyznaczenia postaci funkcji określającej temperaturę wody zasilającej w turbozespołe parowym (rys.1) rozpatrzyć należy warunki wymiany ciepła w ostatnim czynnym wymienniku regeneracyjnym. Proces wymiany ciepła, zarówno w przypadku zasilania wymiennika parą przegrzaną jak i nasyconą, z dobrą dokładnością opisać można aproksymacyjnym równaniem wymiany ciepła zaproponowanym przez Beckmana [3] oraz równaniem bilansu ciepła:

$$\phi = C \cdot \nu_1^{\mu_1} G_u^{\mu_2} \frac{\nu_1}{T_{us}} \frac{\nu_2}{T_d} \quad (1)$$

$$G c_w (T_z - T_d) = G_u (h_u - h_{us}) \quad (2)$$

gdzie:  $G$  - strumień masy,  $T$  - temperatura,  $h$  - entalpia właściwa,  $c_w$  - ciepło właściwe,  $C$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  - współczynniki. Indeks "s" dotyczy parametrów nasycenia, a pozostałe indeksy objaśniono na rys.1.  $\phi$  jest wskaźnikiem obciążenia cieplnego zdefiniowanym przez Bośniakowicza

$$\phi = \frac{T_z - T_d}{T_{us} - T_d} \quad (3)$$



Rys.1. Schemat turboszespołu parowego  
Fig.1. Flow diagram of steam turboset

Przyjmując, że  $G_u = \alpha G$ , równania (1)-(3) można przekształcić do postaci

$$T_z = T_{us} - \left( \frac{1}{\phi} - 1 \right) \frac{\alpha (h_u - h_{us})}{c_w} \quad (4)$$

Poszukiwana temperatura wody zasilającej  $T_z$  może być zatem określona jako

$$T_z = T_{us} - \Delta T_z \quad (5)$$

gdzie  $\Delta T_z$  ma charakter poprawki.

Temperatura nasycenia  $T_{us}$  określona jest przez ciśnienie  $p_u$  pary pobieranej z czynnego upustu o najwyższym ciśnieniu. Dla dwóch niezbyt odległych punktów na linii nasycenia, z których jednemu odpowiada stan odniesienia (indeks "n"), można napisać przybliżone równanie [4]

$$T_{us} = T_{usn} \left( \frac{P_u}{P_{un}} \right)^a \quad (6)$$

gdzie  $a = 0.1$ .

Z dobrą dokładnością można przyjąć, że

$$\left( \frac{P_u}{P_{un}} \right)^{0.1} = \left( \frac{G}{G_n} \sqrt{\frac{T_o}{T_{on}}} \right)^{0.1} \quad (7)$$

Zmiany temperatury nasycenia można zatem aproksymować zależnością

$$T_{us} = c_1 (G \sqrt{T_o})^{0.1} \quad (8)$$

Zmiany ciśnienia w upuszcie turbiny (z wyjątkiem ostatnich upustów, tj. o niskich ciśnieniach), na skutek zmian warunków pracy, zachodzą wzdłuż praktycznie stałej linii, bliskiej izentropie. W wyniku takich zmian, przyjmując, że  $h_{us} \cong h'_u$ , zmiany różnic entalpii  $h_u - h'_u$  dla danego upustu są bardzo niewielkie (kilka procent). Można więc założyć, że

$$\frac{\alpha (h_u - h'_u)}{c} = \text{const.} \quad (9)$$

zatem

$$\Delta T_z = c_2 \left( \frac{1}{\phi} - 1 \right) \quad (10)$$

Wyrażenie  $\frac{1}{\phi}$  wyznaczyć można z zależności (1).

Wykorzystując metodę obliczeń współczynników  $\mu_1, \mu_2, \nu_1, \nu_2$  podaną w [3] obliczono ich wartość dla strefy kondensacji wymienników wysokoprężnych instalowanych w krajowych blokach z turbinami 13K215 oraz 13P110. Wartości te zawierają się w podziałach:  $\mu_1 = -0.25 - -0.35$ ,  $\nu_1 = 0.06 - 0.12$ ,  $\mu_2 = -0.04 - -0.07$ ,  $\nu_2 = 0.04 - 0.12$ . Wobec zróżnicowanych wartości wykładników można przyjąć, że o wartości poprawki  $\Delta T_z$  decyduje głównie strumień masy wody zasilającej  $G$ . Zaproponowano więc następującą postać poprawki:

$$\Delta T_z = c_2 \left( \frac{1}{c} G^{0.3} - 1 \right) \quad (11)$$

Końcowa zależność modelu do wyznaczania temperatury wody zasilającej przyjmuje zatem postać

$$T_z = c_1 (G \sqrt{T_o})^{0.1} + c_2 G^{0.3} + c_3 \quad (12)$$

### 3. WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW MODELU

Do wyznaczania współczynników modelu wykorzystywano dane pomiarowe uzyskiwane przy wykorzystaniu ruchomych przyrządów pomiarowych, w warunkach biernego eksperymentu. Ich wartości wyliczano metodą opartą na empirycznych oszacowaniach momentów rozkładu [5]. Uzyskiwane wyniki [6] potwierdzają efektywność modelu. Średnie względne błędy obliczeń temperatury w skali Celsjusza były rzędu 1.5 - 2%, a współczynniki korelacji wielomiarowej rzędu 0.97-0.98.

### LITERATURA

- [1] Olszewski A., Szafran R.: Zastosowanie aproksymacji stochastycznej do wyznaczania charakterystyk energetycznych kotłów i turbozespołów. *Archiwum Energetyki* 3/1976.
- [2] Wasiluk W., Jedliński S.: Metoda statystycznej identyfikacji układów elektroenergetycznych. *Archiwum Energetyki* 3/1980.
- [3] Ochęduszek St. *Termodynamika stosowana*, WNT, Warszawa 1961.
- [4] Beckman G., Heil G., Schafer W.: *Ansätze zur analytischen Beschreibung des Teillastverhaltens von Dampfkraftprozessen für die Verwendung auf elektronischen Rechenanlagen*. Orgb. vertschau, Bericht 10/64/3/B, Dresden 1964.
- [4] Mańczak K.: *Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania*. WNT, Warszawa 1979.
- [5] Lewandowski J.: *Zagadnienia identyfikacji turbin parowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, s. *Mechanika* 125/80.

### АППРОКСИМАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В ПАРОВОМ ТУРБОАГРЕГАТЕ

#### Резюме

Представляется аппроксимационную математическую модель для вычисления температуры питательной воды. Обговаривается метод определения формы модели и вычисления ее коэффициентов.

### THE APROXIMATIONAL MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION OF TEMPERATURE OF FEEDWATER IN STEAM TURBOSET

#### Summary

The approximatinal mathematical model for calculation of temperature of feedwater in steam turboset has been presented. The method for determination of form of model and calculation of models coefficients have been shown.