

Janusz Lewandowski, Andrzej Miller, Konrad Świrski

Instytut Techniki Ciepłej

Politechnika Warszawska

## MODEL MATEMATYCZNY ZESPOŁU KOCIOŁ ODZYSKNICOWY-TURBINA PAROWA W UKŁADACH PAROWO-GAZOWYCH

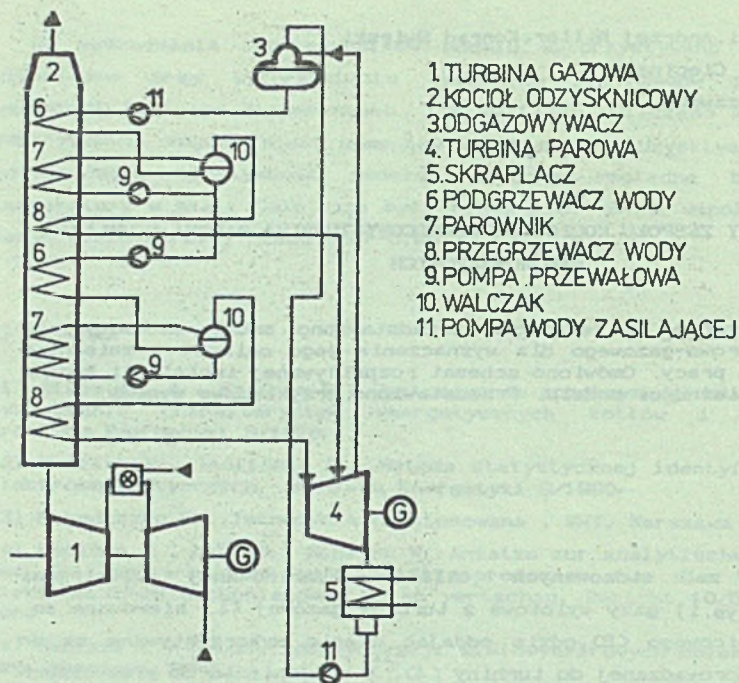
**Streszczenie.** W referacie przedstawiono model matematyczny układu parowo-gazowego dla wyznaczenia jego osiągnięć w zmiennych warunkach pracy. Omówiono schemat rozpatrywanej instalacji. Podano główne zależności modelu. Przedstawiono przykładowe wyniki.

### 1. WSTĘP

W jednym ze stosowanych układów kombinowanej elektrowni parowo-gazowej; (rys.1) gazy wylotowe z turbiny gazowej (1) kierowane są do kotła odzysknicowego (2), gdzie oddając ciepło wykorzystywane są do generacji pary doprowadzanej do turbiny (4). W odróżnieniu od klasycznych układów siłowni parowych turbina parowa w tym układzie zasilana jest dwoma strumieniami pary o różnych parametrach. W istotny sposób powiększa to liczbę więzów między dwoma podstawowymi elementami instalacji; kotłem i turbiną. Te dodatkowe więzy nie pozwalają stosować tradycyjnych układów regulacji, stąd charakterystyki instalacji w istotny sposób różnią się od charakterystyk układu klasycznego. Ponieważ ciśnienie i temperatura pary są zdeterminowane strumieniem masy i temperaturą gazów wylotowych z turbiny gazowej, turbina parowa pracuje często w zmiennych warunkach zależnych od obciążenia części gazowej. Perspektywy zastosowania takich układów parowo-gazowych w Polsce spowodowały podjęcie prac nad ich modelowaniem matematycznym.

### 2. MODEL MATEMATYCZNY

Model matematyczny rozpatrywanego układu parowo-gazowego oparto na koncepcji przedstawionej w [1]. Wykorzystywane są w nim dane dotyczących stanu znamionowego pracy układu, dzięki którym można sprowadzić równania opisujące obieg do stanu bezwymiarowego.



Rys. 1. Schemat układu parowo-gazowego.

Fig. 1. Scheme of combined gas/steam turbine power plant.

Każdy z wymienników ciepła (5-8) opisany jest równaniami bilansu energii i wymiany ciepła. W przypadku podgrzewaczy wody zasilającej i przegrzewaczy pary parametrami niewiadomymi są temperatura spalin i wody (pary) oraz strumień masy generowanej pary. Dla parownika miejsce temperatury pary zajmuje ciśnienie. Cały kocioł odzysknicowy opisany jest przez 12 równań z 14 niewiadomymi. Strumienie generowanej pary wyznaczone są z równań przelotności turbiny. W modelu uwzględniono, że nastąpiło częściowe odparowanie wody w podgrzewaczu bądź, że woda doprowadzana do parownika jest poniżej temperatury nasycenia.

Otrzymujemy:

równania energii:

$$\sum_{i=1}^N g_i \cdot \Delta i_i = 0$$

gdzie:  $g_i$  - strumień masy,

$\Delta i_i$  - różnica entalpii na wlocie i wylocie wymiennika,



równanie wymiany ciepła:

$$\phi = k \cdot F \cdot \Delta t_{LN}$$

gdzie:  $\phi$  - strumień wymienionego ciepła,  
 $k$  - wsp. przenikania ciepła,  
 $F$  - powierzchnia wymiany ciepła,  
 $\Delta t_{LN}$  - logarytmiczna różnica temperatur,

równanie przelotności turbiny:

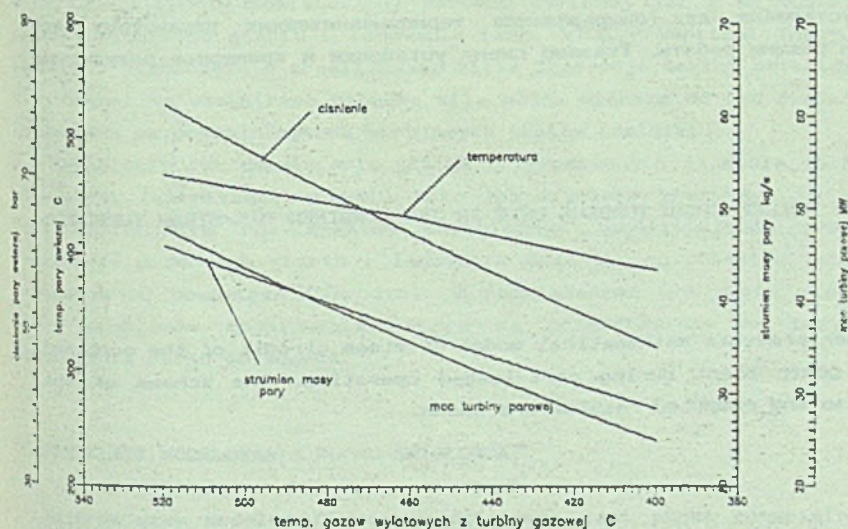
$$\frac{g_p}{g_{po}} = \frac{P_1}{P_o} \sqrt{\frac{T_{1o}}{T_1}} \sqrt{\frac{(1 - \beta_m)^2 - (\beta - \beta_m)^2}{(1 - \beta_m)^2 - (\beta_o - \beta_m)^2}}$$

gdzie:

$\beta$  - stosunek ciśnień przed i za grupą stopni turbinowych,  
 $\beta_m$  - krytyczny stosunek ciśnień,  
indeks  $o$  odnosi się do stanu znamionowego,

### 3. WYNIKI OBLICZEŃ

Model matematyczny jest układem kilkunastu równań nieliniowych. Rozwiązanie uzyskano za pomocą metod iteracyjnych. W zależności od struktury równań zastosowano rozwinięte metody gradientowe lub metody połowienia przedziału.



Rys. 2. Charakterystyka obiegu parowego w warunkach zmienionych.

Fig. 2. Performance of the steam circuit at the part-load operation

Powyższy model zaadaptowano do obliczeń stanu pracy instalacji z projektu układu parowo-gazowego opartego o zgazowanie węgla. Przedstawiony wykres pokazuje stan pracy układu (główne parametry obiegu wysokoprężnego i moc turbiny parowej) w zależności od temperatury gazów wylotowych z turbiny gazowej. W tym przypadku wydatek gazów wylotowych jest stały. Znamionowa moc turbiny parowej  $N=44.5$  MW. Otrzymane charakterystyki pozwalają w łatwy sposób wyznaczyć stan pracy układu w warunkach zmienionych.

#### LITERATURA

- [1] Kehlhofer R.: Calculation for Part-Load Operation of Combined Gas/Steam Turbine Power Plant. Brown Boveri Review Oct. 1978,

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА КОТЕЛ-ПАРОВАЯ ТУРБИНА В ПАРО-ГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

##### Резюме

В работе представляется математическую модель паровой части парогазовой установки для определения термодинамических параметров при переменном режиме работы. Указано схему установки и примерные результаты расчет.

#### MODELING OF BOILER-STEAM TURBINE UNIT IN THE COMBINED GAS/STEAM TURBINE PLANTS

##### Summary

The paper presents mathematical model of steam circuit of the combined gas/steam power plant during part-loaded operation. The scheme of the installation and computed results are shown.