ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993

Seria: MECHANIKA z. 113 Nr kol. 1198

Krzysztof BADYDA, Janusz LEWANDOWSKI,
Andrzej MILLER, Konrad ŚWIRSKI
Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Warszawska

MODELOWANIE MATEMATYCZNE PROCESÓW NIEUSTALONYCH W TURBINIE GAZOWEJ PRZY WYKORZYSTANIU OPISU O STAŁYCH SKUPIONYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono model matematyczny turbiny gazowej do badania procesów przejściowych. Wykorzystując opis o stałych skupionych turbinę podzielono na szereg podukładów o określonej objętości przypisując do nich akumulację czynnika roboczego.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE GAS TURBINE OPERATION UNDER TRANSIENT CONDITIONS USING LUMPED PARAMETERS

Summary. The paper presents mathematical model of the dynamic behavior of gas turbine. Applied model divides turbine into several subsystems with accumulation process of working medium.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДИЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ГАЗОВОЙ ТЫРБИНЫ ПРИ ИСПОЛЗОВАНИИ ЦОЕДНЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Резюме. В докладе приводится математическую модель газовой турбины. Использоване соединенных параметров розделяет турбину на несколько частей с аккумуляцей робочего вешчества.

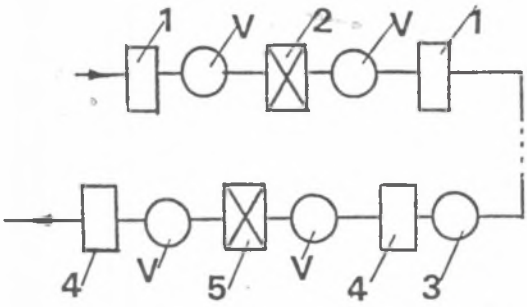
1. WSTĘP

Praca turbin w warunkach przejściowych (sytuacje awaryjne, rozruch, zrzut obciążenia) jest podstawowym zagadnieniem określającym zakres ich bezpiecznej pracy. W referacie przedstawiono najczęściej stosowany sposób modelowania procesów dynamicznych w turbinie, polegający na rozdzieleniu turbiny na podukłady o pewnej skończonej objętości.

2. MODEL MATEMATYCZNY TURBINY GAZOWEJ

W turbinie gazowej wyróżnić można trzy podstawowe zespoły: sprężarkę, komorę spalania i turbinę. Z punktu widzenia modelowania celowe jest wyróżnienie w turbinie gazowej większej ilości elementów, jak np. umieszczonej w kadłubie grupy stopni sprężarkowych, w których zachodzi proces sprężania czynnika roboczego. Kolejnymi elementami modelu sprężarki są kolektory ssawne i tłoczące. W podobny sposób podzielenia na moduły wymaga także turbina. Tutaj wyróżnić należy kolektor dolotowy, kolektor odlotowy oraz grupy stopni turbinowych, których w wielowałowych turbinach gazowych może być kilka i ich wirniki obracać się mogą z różnymi prędkościami obrotowymi. Praktycznie w każdym przypadku układ przepływowy turbiny jest tak zwarty, że nie ma tu potrzeby wyróżniania elementów łączących poszczególne grupy stopni.

Schemat struktury modelu fenomenologicznego turbiny gazowej złożonej z wyróżnionych modułów przedstawiono na rys.1.



Rys.1.Schemat struktury modelu turbiny gazowej
1-Kolektor ssawny lub tłoczny,2-Grupa stopni sprężarki,3-Komora spalania,4-Kolektor turbiny,5-Grupa stopni turbinowych

Fig.1.Structural scheme of gas turbine model
1-Compressor inlet/outlet, 2-Compressor group of stages, 3-Combustion chamber,4-Turbine inlet/outlet, 5-Turbine

Model matematyczny turbiny gazowej będzie zatem zawierał zależności związane z pięcioma następującymi modułami: kolektor ssawny lub tłoczny sprężarki, grupa stopni sprężarkowych, komora spalania, grupa stopni turbinowych, kolektor dolotowy i odlotowy turbiny.

2.1. Model matematyczny grupy stopni sprężarkowych (turbinowych)

Procesy zachodzące w układzie przepływowym sprężarki (turbiny) można traktować jako ciąg chwilowych stanów ustalonych. Parametry pracy oraz osiągi grupy stopni daje się przy powyższych założeniach określić poprzez następujące wielkości:

- strumień masy czynnika roboczego przed i za sprężarką (turbiną) jednakowy, wobec braku akumulacji masy $\dot{m}_\alpha = \dot{m}_\omega = \dot{m}$,
- parametry stanu czynnika przed i za grupą p_α, T_α, p_ω, T_ω
- prędkość kątowa ω (częstość obrotów wirnika sprężarki (turbiny) n),
- kąt ustawienia łopatek α (w sprężarkach współczesnej konstrukcji o obracanych łopatkach),
- moc wewnętrzna P .

Podstawę tak rozumianego modelu matematycznego sprężarki (turbiny) stanowią charakterystyki [1]:

- sprężu

$$p_{s\omega} = f(\dot{m}, T_\alpha, p_\alpha, n, \alpha) \tag{1}$$

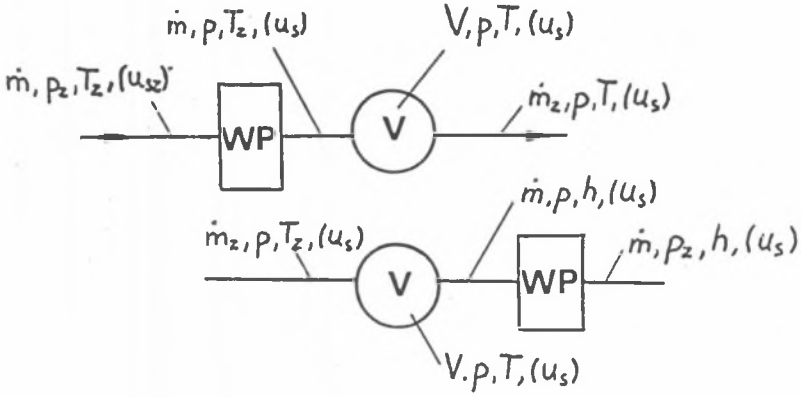
- sprawności (izentropowej)

$$\eta_s = f(\dot{m}, T_a, p_\alpha, n, \alpha) \tag{2}$$

Charakterystyki te, celem zmniejszenia wymiarowości modelu (ilości używanych zmiennych) sprowadza się zazwyczaj, przy wykorzystaniu analizy wymiarowej lub teorii podobieństwa, do postaci zredukowanej. W przypadku turbiny korzysta się zazwyczaj z dodatkowego równania opisującego skład spalin i uwzględniającego zmianę parametrów czynnika roboczego.

2.2. Model matematyczny kolektorów ssawnego i tłocznego sprężarki (dolotowego i wylotowego turbiny)

Kolektor wlotowy sprężarki składa się z urządzeń filtrujących oraz gardzieli wlotowej wraz z przewodem ssawnym. W modelu reprezentowany jest on przez dwa moduły: opór miejscowy wlotu powietrza (WP) oraz przestrzeń ssawną wlotu (V). Podobne dwa moduły, to jest opór miejscowy wylotu i przestrzeń tłoczną wylotu, można wyróżnić w celu sformułowania modelu układu wylotowego sprężarki. Stąd modele obu wyróżnionych elementów zawierały będą takie same zależności. Schematy modeli fenomenologicznych dla obu układów przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat strukturalny modelu układu wlotowego i wylotowego

Fig.2. Structural scheme of inlet and outlet subsystem model

W modelu założono, że w przestrzeniach nie następuje wymiana ciepła z otoczeniem. Czynnikiem roboczym jest w obu układach powietrze, którego własności określone są jednoznacznie poprzez dwie współrzędne stanu: ciśnienie p i temperaturę T.

Wielkościami wejściowymi do modelu są:

- ciśnienie czynnika napływającego (ciśnienie otoczenia) lub ciśnienie za układem tłocznym p_z,
- temperatura czynnika napływającego T_z,
- strumień masy czynnika opuszczającego układ wlotowy lub wpływającego do układu wylotowego $\mathring{m}_z$.

Wielkościami wyjściowymi są:

- ciśnienie w przestrzeni p,
- temperatura w przestrzeni T,.

Bilans masy czynnika w przestrzeni ssawnej można opisać równaniem:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \mathring{m} - \mathring{m}_z \tag{3}$$

Bilans energii czynnika w przestrzeni ssawnej, wobec braku wymiany ciepła z otoczeniem daje się przedstawić za pomocą równania

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d(\rho\ V\ h)}{dt} = \dot{m}\ h_z - \dot{m}_z h + V\ \frac{dp}{dt} \tag{4}$$

Zależności (3) i (4) tworzące układ dwóch równań różniczkowych można przekształcić do postaci normalnej względem współrzędnych stanu, to jest ciśnienia i temperatury. Uwzględniono stratę ciśnienia powietrza związaną z przepływem przez opór układu wlotowego (wylotowego) sprężarki. Analogiczny opis matematyczny zastosowany został dla kolektorów dolotowego i wylotowego turbiny przy uwzględnieniu dodatkowego równania bilansu masy spalin stechiometrycznych (u_{ss} udział spalin stechiometrycznych).

$$\frac{d(m\ u_{ss})}{dt} = \dot{m}\ u_{ssz} - \dot{m}_z\ u_{ss} \tag{5}$$

2.3. Model matematyczny komory spalania

W każdym z wielu rozwiązań konstrukcyjnych komory spalania wyróżnić można dwie przestrzenie: przestrzeń zewnętrzną, zawierającą powietrze omywające swoim strumieniem gorącą ściankę, wewnętrz której (przestrzeń wewnętrzna) znajdują się spaliny. Wobec bardzo małych oporów przepływu w komorze, występujące spadki ciśnienia można przypisać do elementów sąsiadujących z komorą i przyjąć, że w obu przestrzeniach panuje jednakowe ciśnienie p. Przy formułowaniu modelu matematycznego założono dodatkowo, że w komorze spalania następuje natychmiastowe spalenie dostarczonego paliwa oraz że komora jest doskonale izolowana od strony zewnętrznej (brak wymiany ciepła z otoczeniem) i wykorzystano uogólnione równania bilansowe 3-5.

Współrzędnymi stanu komory spalania są:

- ciśnienie p,
- temperatura powietrza T_x,
- temperatura spalin T_s,
- udział masowy spalin stechiometrycznych u_{ss},
- temperatura ścianki wewnętrznej T_m.

3. UWAGI KOŃCOWE

Szczegółowe zależności matematyczne oraz wyniki obliczeń przeprowadzonych przy użyciu powyższego modelu przedstawione zostaną na Sympozjonie. Prowadzone są badania nad porównaniem modeli procesów dynamicznych opisanych za pomocą parametrów skupionych i rozłożonych [2],[3] oraz określenia kryteriów ich stosowalności.

LITERATURA

[1]. Traupel W.: Thermische Turbomaschinen, Bd. II, Springer Verlag, Berlin 1982.

[2]. Świrski K., Lewandowski J., Miller A.: Koncepcja jednowymiarowego modelu dla badania własności dynamicznych turbiny gazowej, XXXI Sympozjon Modelowanie w mechanice, Wisła 1992.

[3]. Schobeiri T.: Digital Computer Simulation of the Dynamic Behavior of Gas Turbines, BBC Review March 1987, Vol 74.

Recenzent: Prof. Józef Wojnarowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 4. 10. 1992

Abstract

One method of creating mathematical model of gas turbine operation under transient conditions is to divide the whole unit into several subsystem with accumulations of the working medium. The gas turbine was decomposed into compressor inlet/outlet subsystem, compressor, combustion chamber, turbine and turbine inlet/outlet system (Fig.1). For compressor/turbine group of stages steady state characteristic was applied (eq.1,2). Inlet/outlet subsystems are represented as an objects of fixed volume with pressure losses (Fig 2. eq.3,4). Combustion chamber is modeled as isobaric with no external heat exchange. In models of combustion chamber and turbine subsystems different gas content was considered (eq.5). Research has been taken to compare the results with models using distributed parameters system.