ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: MECHANIKA z.103 Nr kol. 1112

Gerard Kosman, Henryk Łukowicz, Andrzej Rusin
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska

MODELOWANIE PROCESU ROZPRĘŻANIA PARY I NAGRZEWANIA ELEMENTÓW JAKO FRAGMENT SYSTEMU OCENY TRWAŁOŚCI TURBIN

Streszczenie. Omówiono zagadnienia modelowania ekspansji pary, wyznaczenia współczynników wnikania ciepła oraz nieustalonego rozkładu temperatury w elementach turbin. Zagadnienia te są fragmentem analizy oceny trwałości.

1. WSTĘP

Obliczeniowa ocena trwałości turbin parowych opiera się na numerycznym modelowaniu stanów cieplnych i wytrzymałościowych głównych elementów (zaworów, kadłubów, wirników). Pierwszym, a jednocześnie bardzo istotnym etapem tej oceny jest wyznaczenie rozkładu parametrów pary w układzie przepływowym turbiny i współczynników wnikania ciepła do poszczególnych elementów. Znaczenie tego etapu wynika z faktu, że otrzymane rezultaty stanowią dane wejściowe do modelowania procesu zużycia. Poniżej omówiono poszczególne etapy modelowania na przykładzie obejmy turbinowej mocującej trzy pierwsze stopnie części wysokoprężnej turbiny 200 MW (rys.1.).

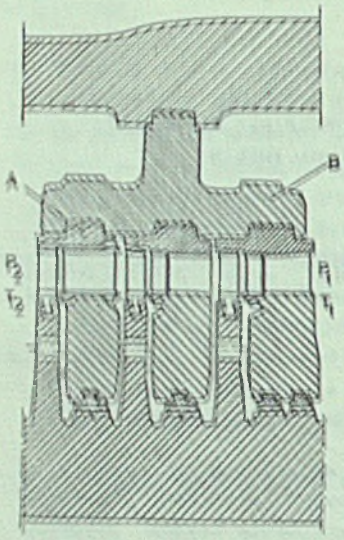
2. MODELOWANIE LINII ROZPRĘŻANIA PARY

Wyznaczanie parametrów pary omywającej elementy turbiny jest ściśle związane z analizą procesu rozprężania pary w układzie przepływowym turbiny i opisem przepływu przez uszczelnienia. Do rozwiązania tego zadania wykorzystano wyniki własnych badań, przedstawione w wielu opracowaniach [np.1,2].

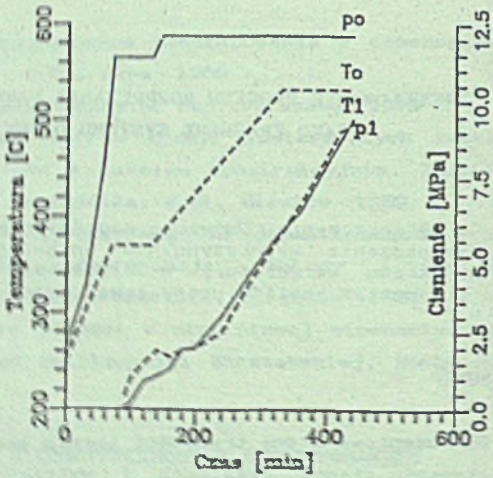
Rozkład ciśnienia pary ustalono z relacji opisujących przelotowość turbin lub grup stopni. Dla grup stopni nieregulowanych wykorzystano prostą formułę Stodoli-Flügela. W przypadku grup stopni zawierających większą liczbę stopni ($z>7$), zastosowanie tej formuły daje w zasadzie te

same wyniki, które otrzymujemy z bardziej złożonych zależności (np.formuł Linneckena lub Szczegielniaka).

Rozkład temperatury pary w układzie przepływowym można wyznaczyć dwoma metodami. W pierwszym przypadku zakłada się, że znamy sprawność stopnia lub grupy stopni turbinowych. Na tej podstawie określa się parametry pary za łopatkami kierowniczymi i wirnikowymi kolejnych stopni. Jeżeli określenie sprawności stopni lub całej grupy okazuje się niemożliwe, musimy wyznaczyć straty występujące w stopniach.



Rys.1 Element kadłuba
Fig.1 Element of the cylinder



Rys.2 Przebieg czasowy parametrów pary
Fig.2 Time variability of steam parameters

Przykładowy przebieg temperatury i ciśnienia przed pierwszym stopniem turbiny w czasie rozruchu ze stanu zimnego przedstawiono na rys.2.

3. WSPÓŁCZYNNIKI WNIKANIA CIEPŁA

W układzie przepływowym wyróżniono szereg charakterystycznych geometrii i węzłów konstrukcyjnych, dla których opracowano procedury obliczania współczynników wnikania ciepła [3]. Głównymi elementami są: łopatki wirnikowe i kierownicze, kadłuby, powierzchnie boczne tarcz, wały i uszczelnienia. Węzły konstrukcyjne obejmują np. połączenie łopatek wirnikowych z tarczą lub osadzenie taśmy kierowniczej (A) w obejmie (B) - rys. 1. W 3-letnim okresie opracowano 25 procedur obliczających współczynniki wnikania ciepła do elementów turbin [5]. Dla bardziej złożonych geometrii wprowadzono zastępcze współczynniki wnikania ciepła. Takie ujęcie zagadnienia upraszcza formułowanie warunków brzegowych wymiany ciepła i

analizę stanu termicznego. I tak np. zastępczy współczynnik wnikania ciepła na powierzchni wewnętrznej obejmy (rys.3) określa zależność

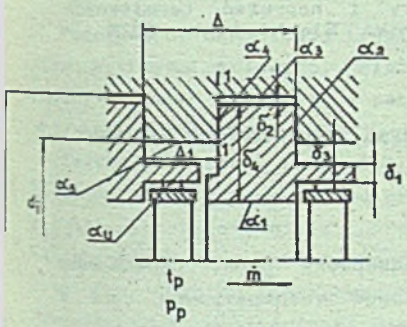
$$\alpha_z = \frac{\alpha_5 d_i \Delta + \frac{1}{4}(D_i^2 - d_i^2)(\alpha_2 + \alpha_4) + D_i(\Delta - \Delta_1)\alpha_3}{\Delta D_i}$$

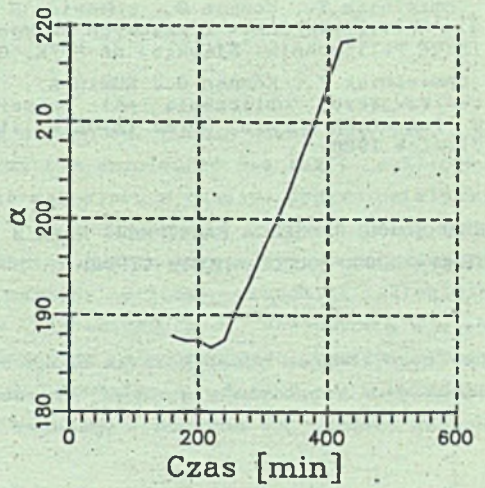
Przy założeniu: $\delta_1/D_i \ll 1$, $\delta_3/D_i \ll 1$, $\delta_4/D_i \ll 1$ współczynniki α_3 i α_5 są odpowiednio równe

$$\alpha_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_4}{\lambda_m} + \frac{\delta_2}{\lambda_p}}; \qquad \alpha_5 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_1}{\lambda_m} + \frac{\lambda_3}{\lambda_p}}.$$

λ_m, λ_p - współczynniki przewodzenia dla metalu tarczy kierowniczej i pary o parametrach p, T.

Współczynnik λ_2 należy określić tak, jak dla strefy kontaktu (np.[3]), a α_4 z równania przewodzenia w szczelinie określonej przez rodzaj pasowania odpowiednich powierzchni w przekroju 1-1. Wartość współczynnika α_u wyznaczona jest tak, jak dla uszczelnień labiryntowych [3].





Rys.3 Geometria tarczy kierowniczej
Fig.3 Geometry of the guide disk

Rys.4 Współczynnik wnikania ciepła
Fig.4 Heat transfer coefficient

Przykładowy przebieg zastępczego współczynnika wnikania ciepła do obejmy w obszarze pierwszego stopnia w czasie rozruchu ze stanu zimnego przedstawiono na rys.4.

4. MODELOWANIE PROCESU NAGRZEWANIA

Wyznaczone parametry pary oraz współczynniki wnikania ciepła wykorzystuje się do obliczenia rozkładów temperatur w danym elemencie. Opracowane programy oparte są na metodzie elementów skończonych [4]. W zależności od modelowanego typu rozruchu turbiny (ze stanu zimnego, ciepłego lub gorącego) przyjmuje się różne temperatury początkowe w elemencie. Obliczenia przeprowadza się ze zmiennym krokiem czasowym umożliwiającym śledzenie wszystkich istotnych zmian temperatury aż do uzyskania stanu ustalonego.

5. LITERATURA

[1] Kosman G., Łukowicz H., Rusin A.: Opracowanie modelu rozprężania pary w układzie przepływowym turbiny o mocy 200 MW z uwzględnieniem wymiany ciepła w kadłubie i wirniku podczas rozruchu. Oprac. IMiUE Politechniki Śląskiej nr 92/K, Gliwice 1988.

[2] Chmielniak T., Kosman G., Łukowicz H.: Modelowanie procesu rozprężania pary w turbinie z uwzględnieniem nagrzewania wirnika i kadłuba. Instytut Techniki Cieplnej, Łódź 1988.

[3] Chmielniak T., Kosman G., Łukowicz H.: System programów obliczeniowych dla analizy warunków brzegowych wymiany ciepła w turbinie. Oprac. IMiUE Politechniki Śląskiej nr 87/K, Gliwice 1988.

[4] Chmielniak T., Kosman G., Rusin A., Dembiński L.: System programów realizujących obliczenia pól temperatury i naprężeń termicznych w elementach turbin. Oprac IMiUE Politechniki Śląskiej nr 88/K, Gliwice 1988.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПАРА И НАГРЕВА ЭЛЕМЕНТОВ КАК ФРАГМЕНТ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТУРБИН

Р а з ю м е

Обсуждено вопросы моделирования процесса расширения пара, определения коэффициентов теплоотдачи а также нестационарное температурное поле в елементах турбин. Эти вопросы - фрагмент анализа оценки долговечности.

MODELLING OF STEAM EXPANSION PROCESS AND ELEMENT HEATING AS A PART OF TURBINE DURABILITY EVALUATION SYSTEM.

S u m m a r y

The problems of steam expansion, determination of heat transfer coefficients as well as the temperature distributions in different turbine elements are discussed. The problems contribute to a developed system of turbine durability evaluation.