

Seria: MECHANIKA z.103

Nr kol. 1112

Wiesław Ostachowicz

Instytut Maszyn Przepływowych w Gdańsku

Polska Akademia Nauk

Grzegorz Zboiński

Wydział Budowy Maszyn

Politechnika Gdańska

WPŁYW MODELOWANIA OBCIĄŻENIA NA ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ W ZAMOCOWANIU
ŁOPATKI TURBINOWEJ W PRZYPADKU METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Streszczenie. Zaproponowano dokładny sposób modelowania obciążeń zamocowania polegający na uwzględnieniu łopatki obciążonej siłami pochodzącymi od wirowania i tzw. siłami parowymi. Jako przybliżenie przedstawiono metodę polegającą na odcięciu części lub całego pióra łopatki i zastąpieniu jego oddziaływania odpowiednio przyłożonymi siłami powierzchniowymi: normalnymi, stycznymi oraz parami sił gnących. Zaprezentowano oryginalny algorytm dla drugiej z tych metod. Przedstawiono wyniki obliczeń porównawczych.

1. WPROWADZENIE

W przypadku metody elementów skończonych, jeśli modelowana struktura obciążona jest siłami powierzchniowymi, stosuje się dwa standardowe podejścia. Pierwsze polega na obciążeniu węzłów struktury siłami skupionymi, drugie zaś na obciążeniu całej ściany elementu siłami powierzchniowymi. W przypadku złożonego zarysu oddziaływania obciążeń wada pierwszego podejścia są trudności w dokładnym oszacowaniu wartości sił skupionych, zaś wada drugiego wymóg odpowiednio gęstego podziału na elementy. Celem tej pracy jest przedstawienie metody nie posiadającej powyższych wad, opartej na obciążaniu siłami powierzchniowymi tylko części ściany elementu. Metoda ta zostanie wykorzystana do modelowania obciążenia zamocowania łopatki turbinowej siłami powierzchniowymi imitującymi oddziaływanie odciętej części pióra. Idea metody została przedstawiona w pracy [1].

2. ELEMENTY ALGORYTMU OBLICZEN

Przedstawimy dokładny i przybliżony sposób modelowania obciążenia zamocowania łopatki turbinowej. W przypadku sposobu dokładnego model zamocowania zawiera łopatkę. Elementy ją modelujące są obciążone zmiennymi ciśnieniami normalnymi p_N działającymi na całej ścianie elementu. Ciśnienia te odpowiadają tzw. siłom parowym. W przypadku metody przybliżonej oddziaływanie łopatki zastępowane jest obciążeniem ciągłym imitującym siły rozciągające, siły ścinające i momenty gnące przyłożone w płaszczyźnie odcięcia pióra. Założymy, że wektory obciążeń ciągłych p_R , p_S , p_O są stałe co do wartości i kierunku. Działają one na dowolnie wybranej części ściany elementu.

2.1. Zależności podstawowe

W pierwszym przypadku wektor sił od obciążeń powierzchniowych f_P jest równy

$$f_P = f_N \quad (1)$$

a wektor sił węzłowych elementu od obciążeń normalnych określa związek

$$f_N = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 N^T p_N \text{wsp}(J) d\eta_k d\eta_l \quad (2)$$

gdzie; $k, l=1, 2, 3$ ($k \neq l$) określają kierunki znormalizowane. W drugim przypadku

$$f_P = f_R + f_S + f_O \quad (3)$$

przy czym zachodzą teraz następujące związki

$$\begin{aligned} f_R &= \int_P N^T p_R \text{wsp}(J) d\eta_k d\eta_l \\ f_S &= \int_P N^T p_S \text{wsp}(J) d\eta_k d\eta_l \end{aligned} \quad (4)$$

$$f_O = \int_{P_1} N^T p_O \text{wsp}(J) d\eta_k d\eta_l - \int_{P_2} N^T p_O \text{wsp}(J) d\eta_k d\eta_l$$

P, P_1, P_2 oznaczają tutaj dowolnie wybraną część ściany elementu, a $\text{wsp}(J)$ jest współczynnikiem jacobianu przekształcenia kierunków lokalnych do znormalizowanych.

2.2. Całkowanie numeryczne

Całkowanie numeryczne po powierzchni w przypadku metody dokładnej przeprowadzimy metodą kwadratury Gaussa. Wykorzystamy w tym celu standardowe podstawienie

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \bar{\Phi}(\eta_k, \eta_k) d\eta_k d\eta_l = \sum_i \sum_j \bar{\Phi}(a_i, a_j) H_i H_j \quad (5)$$

gdzie $\bar{\Phi}$ reprezentuje funkcje podcałkowe z równań (2) i (4). Natomiast w przypadku podejścia przybliżonego proponujemy następującą całkowicie oryginalną zależność zmodyfikowaną

$$\int_P \bar{\Phi}(\eta_k, \eta_k) d\eta_k d\eta_l = \sum_i \sum_j \bar{\Phi}(a_i, a_j) H_i' H_j' \quad (6)$$

gdzie $H_i' H_j'$ to zmodyfikowany iloczyn współczynników wagi punktu Gaussa o współrzędnych a_i, a_j . Iloczyn ten przedstawia tę część pola $H_i H_j$ należąca do części P ściany, która obciążona jest siłami powierzchniowymi. Na algorytm obliczania iloczynu składają się z następujące etapy:

- 1) znalezienie równań prostych aproksymujących zarys obciążonej części ściany elementu wyrażonych we współrzędnych znormalizowanych,
- 2) wyznaczenie współrzędnych punktów przecięcia tych prostych z krawędziami pola $H_i H_j$ odpowiadającego punktowi o współrzędnych a_i, a_j ,
- 3) określenie pola $H_i' H_j'$ z zastosowaniem współrzędnych punktów przecięcia.

Algorytm ten prowadzi do dowolnie dokładnych wyników wraz ze wzrostem liczby punktów całkowania numerycznego. Okazuje się, że dla obliczeń technicznych wystarczające jest przyjmowanie tej liczby jak dla przypadku wyjściowej zależności (5).

3. PRZYKŁAD OBLICZEŃ RZECZYWISTEGO ZAMOCOWANIA

Rozważmy dwa modele dyskretne MES dla tego samego zamocowania jodełkowego o 4 zębach z części średnioprężnej turbiny o mocy 200 MW. Modele te posiadają po ok. 12 tys. stopni swobody, co wynika z zastosowania ok. 1500 izoparametrycznych przestrzennych elementów 8-węzłowych. Modele wirują z prędkością 3000 obr/min. Model 1 zawiera łopatkę obciążoną zmiennymi ciśnieniami normalnymi od sił parowych. Model 2 pozbawiony łopatkki został obciążony siłami powierzchniowymi: rozciągającymi, tnącymi i parami sił zginających. Wartość, punkt przyłożenia i kierunek wypadkowej tych sił zostały przyjęte odpowiednio do obciążenia modelu 1. W tym sensie modele są adekwatne. Obliczenia przeprowadzono na maszynie VAX 11/780 programem ZAMO [2]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli. Zawierają one wartości wyłączenia materiału w środkach elementów maksymalnie obciążonych (u podstawy kolejnych zębów stopki) oraz błędy bezwzględny i względny metody przybliżonej.

Wyniki wskazują na przydatność do obliczeń technicznych zaproponowanej metody przybliżonej, ponieważ maksymalny błąd względny wynoszący ok. 6%

jest pomijalny z uwagi na stosowanie dla zamocowań łopatek turbinowych wartości współczynników bezpieczeństwa.

T a b l i c a 1

Wyniki obliczeń dla dwóch modeli obciążenia zamocowania

Maksymalne wyężenie materiału dla kolejnych zębów				
	Model 1 (10^6 N/m ²)	Model 2 (10^6 N/m ²)	Błąd bezwzgl. (10^6 N/m ²)	Błąd względny (%)
1	0,1798	0,1762	-0,0036	2,20
2	0,1351	0,1432	0,0081	5,99
3	0,1461	0,1405	-0,0056	3,83
4	0,1720	0,1610	-0,0110	6,39

LITERATURA

- [1] Ostachowicz W., Zboński G., Szwedowicz J.: Metoda i algorytm wyznaczania naprężeń kinetostatycznych w zamocowaniach łopatek wirnikowych turbin konstrukcji ZM ZAMECH w Elblągu w zakresie sprężystym. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1987.
- [2] Zboński G., Ostachowicz W.: Program komputerowy obliczania odkształceń i naprężeń kinetostatycznych w zamocowaniach łopatek wirnikowych turbin parowych konstrukcji ZM ZAMECH w Elblągu w zakresie sprężystym. Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 1989.

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Резюме

Представляется точный метод моделирования нагрузки замкового соединения. Как приближение предлагается метод основан на поверхностных силах имитирующих воздействие отпаянной части лопатки.

INFLUENCE OF MODELLING LOADING ON STRESS DISTRIBUTION IN TURBOMACHINERY BLADE FASTENING IN CASE OF FEM

Summary

An accurate method of modelling loading of blade fastening has been proposed in the paper. As an approximation the method based on surface loadings imitating the cut off part of the blade has been proposed.