

Grzegorz Zboiński

Wydział Budowy Maszyn

Politechnika Gdańska

MODELOWANIE ŁOPATEK TURBINOWYCH ZA POMOCĄ ELEMENTÓW PRZESTRZENNYCH,
GRUBOŚCIENNYCH ELEMENTÓW POWŁOKOWYCH ORAZ ELEMENTÓW PRZEJŚCIOWYCH
OD ELEMENTÓW PRZESTRZENNYCH DO POWŁOKOWYCH.
PROGRAM I WYNIKI OBLICZEŃ

Streszczenie. Zaprezentowano program komputerowy do statycznej i dynamicznej przestrzennej analizy stacjonarnych i wirujących łopatek turbinowych. Program realizuje m.in. obliczenia naprężeń i częstości własnych. Cechą wyróżniającą programu jest to, że do modelowania pióra łopatki przeznaczony jest grubościenny element powłokowy. Porównano wyniki obliczeń łopatek modelowanych elementami przestrzennymi, a następnie powłokowymi i przejściowymi.

1. ELEMENTY CHARAKTERYSTYKI PROGRAMU

1.1. Możliwości programu

Prezentowany program [1] opiera się na metodzie elementów skończonych. Biblioteka elementów zawiera 8-węzłowy grubościenny element powłokowy, 8-, 16- i 20-węzłowe elementy przestrzenne, element przejściowy od elementu powłokowego do elementów przestrzennych oraz element belkowy. Prowadzone są prace nad nowymi elementami o szczególnym przeznaczeniu. Każdy z elementów przeznaczony jest do modelowania innej części łopatki. Wąska specjalizacja elementów, która jest cechą wyróżniającą programu powoduje, iż przewyższa on pod tym względem komercyjne programy do analizy łopatek, w tym amerykański BLADE. Każdy z elementów może być poddany działaniu obciążenia odśrodkowego, obciążenia typu d'Alamberta obciążeń od odkształceń wstępnych spowodowanych gradientami temperatury, obciążeniami powierzchniowymi oraz siłami skupionymi. Program umożliwia w zakresie analizy statycznej obliczanie naprężeń statycznych i kinostatycznych, zaś w zakresie dynamiki analizę drgań swobodnych i wymuszonych. Wyznaczane być mogą częstości i postacie drgań własnych oraz

naprężenia dynamiczne tak dla łopatek stacjonarnych, jak i wirujących. W tym ostatnim przypadku wykorzystywane są macierze sztywności geometrycznej elementów.

1.2. Struktura programu

Program powstał przez połączenie istniejących programów ogólnego przeznaczenia z nowymi programami dla elementów powłokowego i przejściowego. Istniejące podprogramy dla elementów przestrzennych zostały uzupełnione o obliczenia macierzy sztywności geometrycznej i wektora sił węzłowych od obciążeń odśrodkowych. Ten ostatni wprowadzono także do podprogramów elementu belkowego. Nowe programy dla elementu przejściowego spełniają następujące funkcje. Podprogram TRAN umożliwia komunikację z istniejącymi programami, SOSH oblicza całkowite wartości macierzy i wektorów elementu, INTV i INTS przeprowadzają całkowanie numeryczne odpowiednio po objętości i powierzchni, DEFO oblicza macierz zależności odkształceń od przemieszczeń, a FNFD oblicza funkcje kształtu elementu i ich pochodne.

2. PRZYKŁAD WERYFIKACJI PROGRAMU

Jako część procedury weryfikacyjnej przeprowadzono obliczenia statyczne i dynamiczne prostej belki wspornikowej o wymiarach 25,4x2,54x5,08 cm, obciążonej na swobodnym końcu siłą 1,334 kN. Model 1 belki składał się z 4 elementów powłokowych i 1 elementu przejściowego. Model 2 stanowiło 5 8-węzłowych elementów przestrzennych. Model 1 obliczono za pomocą prezentowanego programu, model 2 zaś programem SAP6. Uzyskano także wyniki analityczne maksymalnego ugięcia, naprężeń zginających u podstawy oraz pierwszej częstości własnej belki.

T a b l i c a 1

Ugięcie, naprężenia zginające i częstość własna belki wspornikowej

	Model 1 (el. powłok.)	Model 2 (el. przest.)	Obl. analit.
Ugięcie (cm)	0,01270	0,01245	0,01270
Naprężenia (MPa)	27,925	27,925	27,925
Częstość (Hz)	327,9	335,3	327,9

Wyniki obliczeń statycznych dla modelu 1 składającego się z elementów powłokowych i przejściowego dają lepsze rezultaty niż w przypadku

modelu 2 złożonego z elementów przestrzennych. Obliczenia dynamiczne są w przypadku obu modeli zbliżone do wartości analitycznych. Nieco gorszy wynik modelu 1 wynika z faktu, że sieci węzłów nie były optymalizowane.

3. PRZYKŁAD OBLICZEŃ ŁOPATKI TURBINOWEJ

W celu porównania wyników obliczeń dla modeli łopatek złożonych z elementów powłokowych, przestrzennych oraz przejściowych (modelujących odpowiednio piórc, podstawę i nity oraz strefy je łączące) modeli zbudowanych wyłącznie z elementów przestrzennych wybrano łopatkę turbinową długości ok. 70 cm o skomplikowanym kształcie. Model 1 składał się z 48 elementów powłokowych, 11 8-węzłowych elementów przestrzennych i 6 elementów przejściowych, zaś model 2 ze 190 8-węzłowych elementów przestrzennych. Modele były numerycznie adekwatne (odpowiednio 1051 i 1110 stopni swobody). Weryfikację wyników oparto na obliczeniach wykonanych dla modelu 3 składającego się z 37 elementów belkowych programem SAP6 oraz wynikach pomiarów laboratoryjnych [2] i obliczeniach analitycznych [3]. Badano 5 pierwszych częstości własnych dla wolnonośnej łopatki nieruchomej i wirującej z prędkością obrotową 3600 obr/min.

T a b l i c a 2

Częstości własne łopatki turbinowej (przypadek braku ruchu)

Kolejne częstości własne (Hz)				
	Model 1 (el. powłok.)	Model 2 (el. przest.)	Model 3 (el. belkowe)	Pomiary
1	63,6	59,8	58,4	61,6 - 62,8
2	178,1	161,5	163,4	172,5
3	329,6	305,8	282,7	220,0
4	488,1	488,7	456,3	427 - 435
5	557,1	529,5	-	535,0

T a b l i c a 3

Częstości własne łopatki turbinowej (przypadek 3600 obr/min)

Kolejne częstości własne (Hz)				
	Model 1 (el. powłok.)	Model 2 (el. przest.)	Model 3 (el. belkowe)	Obl. analit.
1	122,2	119,5	120,8	121,3
2	221,5	215,2	219,7	-
3	383,6	365,8	336,1	-
4	540,8	525,9	543,8	-
5	591,8	560,0	-	-

Analiza wyników dla modeli 1 i 2 dowodzi, że w przypadku modelu, którego głównym składnikiem są elementy powłokowe, wyniki są bliższe wynikom pomiarów i wynikowi analitycznemu niż w przypadku elementów przestrzennych. Powyższe uwagi dotyczą przede wszystkim ważnych z punktu widzenia praktyki pierwszych częstości własnych.

Przyjmujemy następujący wniosek końcowy. Stosując do modelowania różnych części łopatk elementy o adekwatnie zróżnicowanych własnościach oczekiwac można uzyskania wyników bliższych rezultatom eksperymentalnym. Wynika to oczywiście z lepszego reprezentowania rzeczywistego obiektu.

LITERATURA

- [1] Kubiak J.A., Zboiński G.: Application of the Thick Shell and Transition Elements for Analysis of Long Turbine Blades: Part II - A Computer Program. W: Latest Advances in Steam Turbine Design, Blading, Repairs, Condition Assessment and Condenser Interaction. ASME, New York 1989.
- [2] Kubiak J.A. et al: Analysis of the Last Stage Blade Group. W: Bladed Disk Assemblies. ASME, New York 1987.
- [3] Левин М. В. Лопатки и диски турбомашин. Госенериздат, Москва 1953.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ, ОБОЛОЧЕЧНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ПРОГРАММА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Резюме

Представляется программа для статического и динамического анализа стационарных и вращательных лопаток турбомашин. Сравниваются результаты для лопаток моделированных пространственными а потом оболочечными и переходными конечными элементами.

TURBOMACHINERY BLADE MODELLING WITH SOLID, THICK SHELL AND TRANSITION FINITE ELEMENTS. PROGRAM AND RESULTS

Summary

The paper presents a computer program for static and dynamic 3D analysis of stationary and rotating turbine blades. The results for blades modeled with solid and then thick shell and transition elements are compared.