

WPLYW PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH PIASTY NA CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE ŁOPATY WIRNIKA NOŚNEGO ŚMIGŁOWCA*

WIESŁAW SOBIERAJ

WAT

1. Wstęp

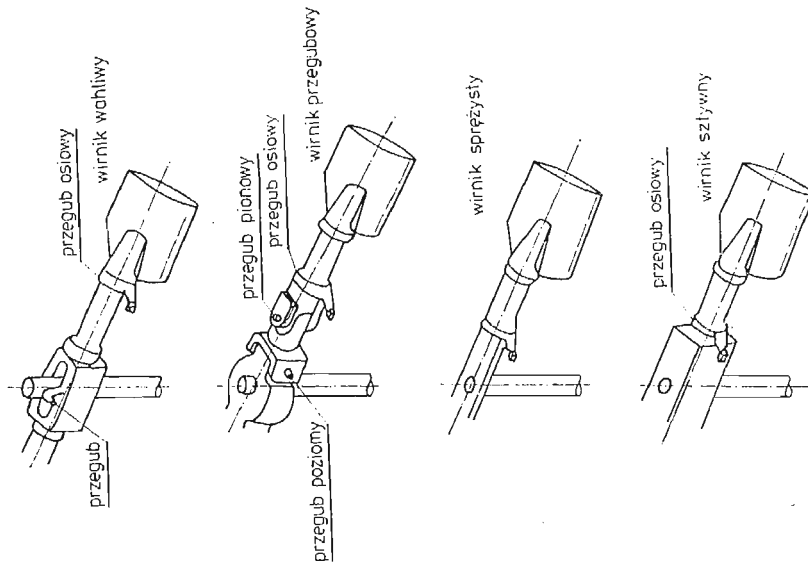
We współczesnych konstrukcjach wirników nośnych śmigłowców stosowane są różne rodzaje piast wirników nośnych. Różnice występujące pomiędzy poszczególnymi rodzajami piast wirników nośnych związane są ze sposobem przenoszenia momentów zginających i momentu skręcającego przez ramię piasty z łopaty na wał wirnika. Rodzaj wirnika nośnego określamy w zależności od rodzaju zastosowanej piasty i liczby łopat. Występujące w praktycznych zastosowaniach wirniki nośne, tj. wirnik wahliwy, przegubowy, sprężysty i sztywny przedstawiono na rys. 1.

Traktując poszczególne elementy konstrukcyjne piasty wirnika nośnego (przeguby) jako warunki brzegowe wirującej łopaty, rozłożone wzdłuż ramienia piasty, można opracować ogólny model obliczeniowy dla łopaty i ramienia piasty dowolnego wirnika nośnego.

W przyjętym modelu obliczeniowym bazujemy na najbardziej skomplikowanym kinematycznie rodzaju wirnika nośnego, tj. na przegubowym wirniku nośnym ze sprężystym układem sterowania kątem ustawienia łopaty i kompensacją wahań pionowych (rys. 2). Pozostałe rodzaje wirników uzyskujemy poprzez eliminację w przyjętym modelu obliczeniowym tych warunków brzegowych, które dla rozpatrywanego typu wirnika nośnego nie występują. W rozważaniach rozpatrujemy skręcanie łopaty wokół osi przekreślenia i zginanie w płaszczyźnie pionowej (patrz [1], [2] i [3]), pomijając zginanie w płaszczyźnie poziomej.

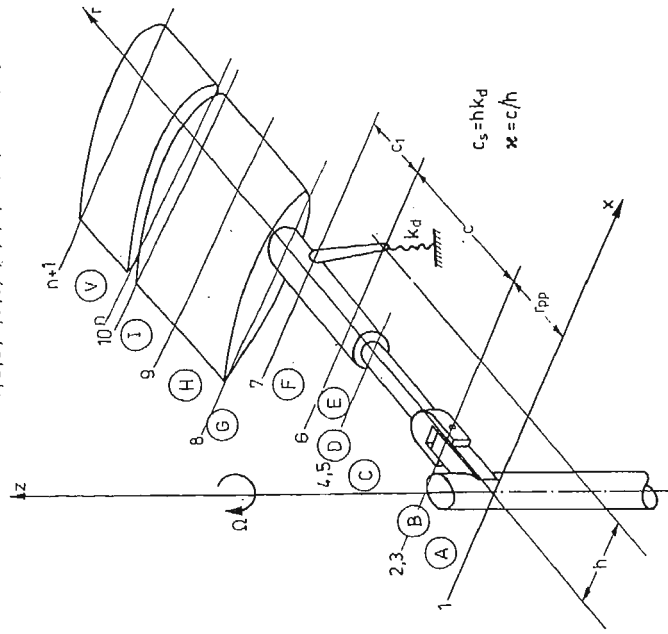
Przedstawiony w [6] dynamiczny model łopaty po uwzględnieniu ramienia piasty stanowi dogodny narzędnik do analizy własności dynamicznych łopaty wirnika nośnego. Opracowany w oparciu o ten model algorytm i program obliczeniowy na EMC pozwala na określenie wpływu rodzaju piasty i jej parametrów konstrukcyjnych na przebieg cha-

* Praca przedstawiona na I Ogólnopolskiej Konferencji „Mechanika w Lotnictwie” — Warszawa 19 I 1984 r.



Rys. 1

A, B, C, D, E, F, G, H, I, ..., V - elementy
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, ..., n, n+1 - węzły



Rys. 2

rakterystyk rezonansowych i postaci drgań dla sprzężonych, giętno-skrętnych drgań własnych łopaty.

2. Metodyka obliczeń

Za podstawę do opracowania algorytmu obliczania częstości własnych i postaci sprzężonych, giętno-skrętnych drgań łopaty przyjęto określone w [1], [2] i [3] zależności, pozwalające na zapisanie macierzowego równania równowagi dynamicznej elementu w postaci:

$$D_j \cdot U_j = F_j, \quad (2.1)$$

gdzie D_j — jest macierzą współczynników d_{klj} będących sumą macierzy mas, sztywności itp, odpowiednich składników

U_j — jest kolumnowym wektorem uogólnionych przemieszczeń j -tego elementu,

F_j — jest kolumnowym wektorem uogólnionych sił krawędziowych.

Macierzowe równanie równowagi dynamicznej łopaty wraz z ramieniem piasty

$$D \cdot U = \sum_{j=1}^n D_j U_j = F, \quad (2.2)$$

gdzie D — jest macierzą struktury łopaty i ramienia piasty,

U — jest kolumnowym wektorem przemieszczeń uogólnionych,

F — jest kolumnowym wektorem sił uogólnionych,

n — jest liczbą elementów na jaką podzielono łopatę i ramię piasty,

otrzymujemy wykorzystując klasyczny sposób budowy macierzy struktury przedstawiony w [7] i [8].

Wprowadzając warunki brzegowe poprzez modyfikację macierzy struktury łopaty (patrz [6]), otrzymamy macierzowe równanie równowagi dynamicznej łopaty i ramienia piasty wirnika nośnego w postaci równania

$$D_M \cdot U = D \cdot U + D_{WB} \cdot U = 0, \quad (2.3)$$

gdzie D_M — jest zmodyfikowaną macierzą struktury,

D_{WB} — jest sumaryczną macierzą warunków brzegowych.

Warunkiem istnienia niezerowych rozwiązań macierzowego układu równań (2.3) jest zerowanie się jego wyznacznika charakterystycznego

$$\det D_M = \det D_M(\omega, \Omega) = 0, \quad (2.4)$$

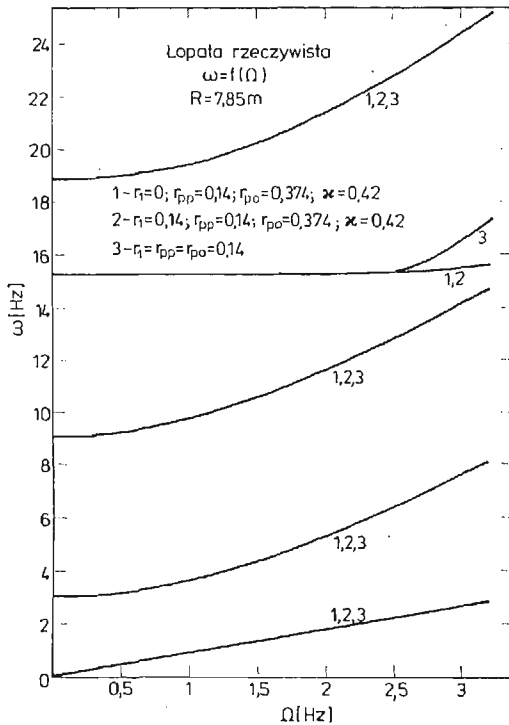
gdzie Ω — jest prędkością obrotową łopaty,

ω — jest częstością sprzężonych, giętno-skrętnych drgań własnych.

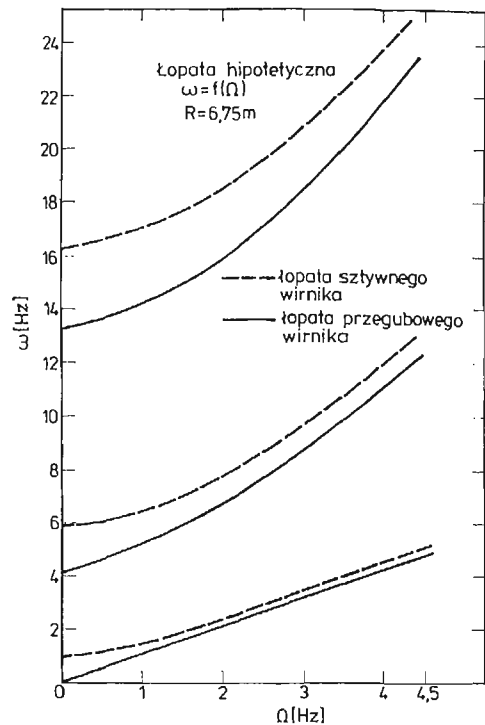
Równania (2.1), (2.2) i (2.3) wraz z zależnościami określonymi w pracach [1], [2], [3] i [6], określają metodykę analizy sprzężonych, giętno-skrętnych drgań własnych łopaty i ramienia piasty dowolnego wirnika nośnego śmigłowca, stanowiąc algorytm numerycznej analizy częstości własnych i odpowiadających im postaci drgań. W oparciu o powyższe rozważania opracowano program obliczeniowy na EMC pozwalający na obliczenie częstości własnych i postaci drgań własnych łopaty dla określonej prędkości obrotowej wirnika Ω .

3. Przykładowe wyniki analizy numerycznej

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki obliczeń dotyczą dwóch łopaty o różnych charakterystykach geometrycznych, łopaty rzeczywistego wirnika nośnego o promieniu $R = 7,85 \text{ m}$ i zmiennych wzdłuż długości parametrach oraz hipotetycznej łopaty wirnika nośnego o promieniu $R = 6,75 \text{ m}$ i stałych wzdłuż długości parametrach. Dla obydwu łopat obliczenia wykonywano dla różnych rodzajów wirnika nośnego, a więc różnych warunków brzegowych.



Rys. 3



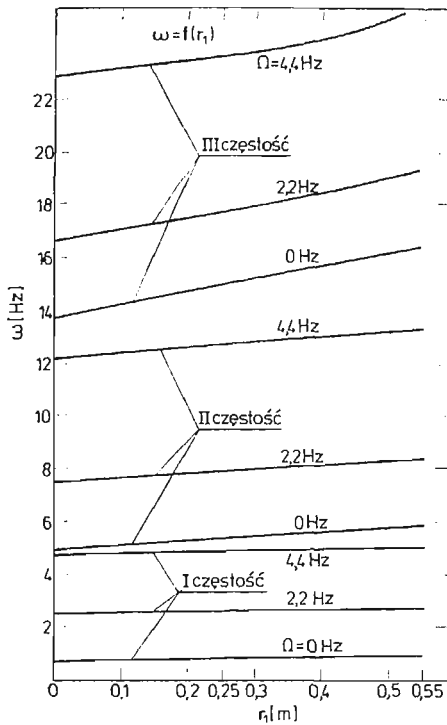
Rys. 4

Dla łopaty rzeczywistego wirnika nośnego obliczono między innymi przedstawione na rys. 3 charakterystyki rezonansowe, dla trzech modeli obliczeniowych (model 1, 2 i 3), Model 1 jest wiernym odzwierciedleniem łopaty i ramienia piasty wirnika przegubowego, w modelu 2 pominięto odcinek ramienia piasty od osi obrotu do przegubu poziomego, a w modelu 3 sprowadzono wszystkie warunki brzegowe do jednego węzła. Jak wynika z przedstawionej na rys. 3 charakterystyki, rozbieżności pomiędzy modelem 1 i 2 są pomijalne. Natomiast przy sprowadzonych do jednego węzła warunków brzegowych (model 3), różnice w przebiegu charakterystyk rezonansowych są już istotne gdyż zmiana charakteru drgań dla III i IV częstości własnej, występująca dla $\Omega > 3 \text{ Hz}$ (model 1 i 2) w tym modelu występuje już dla $\Omega = 2,5 \text{ Hz}$.

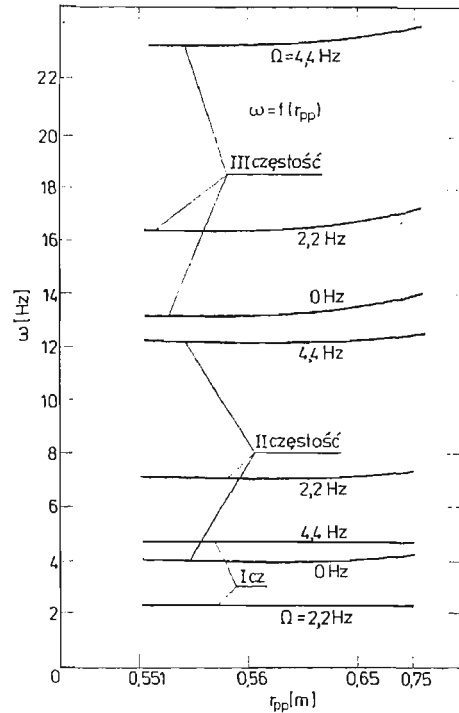
Ze względu na czasochłonność obliczeń dla łopaty rzeczywistej, wynikającą z konieczności podziału łopaty na co najmniej 29 elementów dla wiernego odtworzenia jej para-

metrów, większość obliczeń wykonano dla łopaty hipotetycznej, dla której wystarczający był jej podział na 10 elementów.

Na rys. 4 przedstawiono charakterystyki rezonansowe dla hipotetycznej łopaty wirnika sztywnego i przegubowego. Prezentowane charakterystyki mają przebieg zgodny z porównywalnymi charakterystykami łopatek przedstawionymi w opracowaniach innych autorów (np. [3]).



Rys. 5

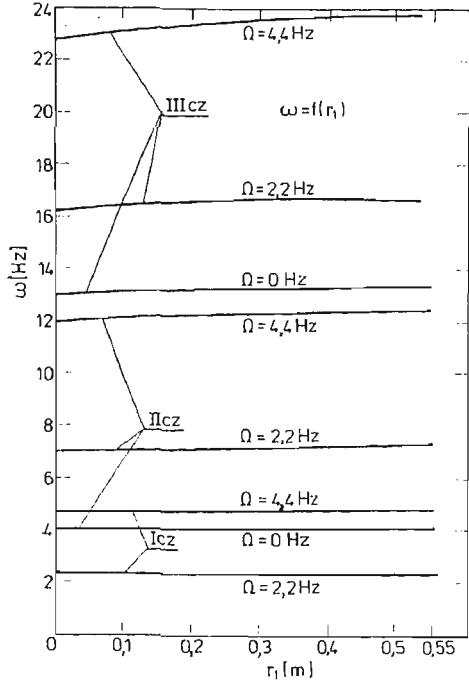


Rys. 6

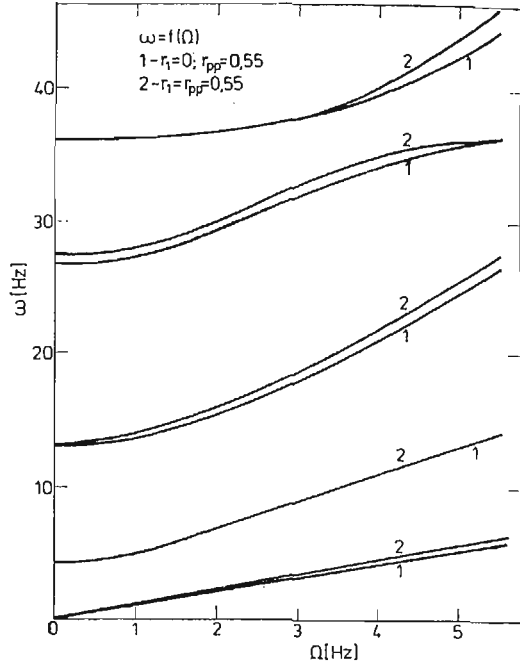
Wpływ zmiany położenia punktu zamocowania łopaty w zakresie $0 < r_1 < 0,55$, dla łopaty o promieniu $R = 6,75$ m i przegubie osiowym znajdującym się na $r_{po} = 0,55$ m oraz $c_s = 1 \cdot 10^{12}$ Nm/rad przedstawiono na rys. 5. Widzimy, że dla wzrastającej wartości r_1 mamy do czynienia ze wzrostem wartości częstoty własnej, rosnącym dla wyższych częstoty i większych prędkości obrotowych.

W podobny sposób zachowują się częstoty własne dla łopaty przegubowego wirnika nośnego przy przemieszczaniu przegubu poziomego w zakresie $0,55 < r_{pp} < 0,75$ m co co przedstawiono na rys. 6. Zmieniające się położenie zamocowania łopaty przegubowego wirnika nośnego przy stałym usytuowaniu przegubu poziomego (rys. 7), wywiera nieznaczny wpływ na wielkość częstoty własnych, jednakże dla wyższych częstoty i większych prędkości obrotowych wpływ ten rośnie.

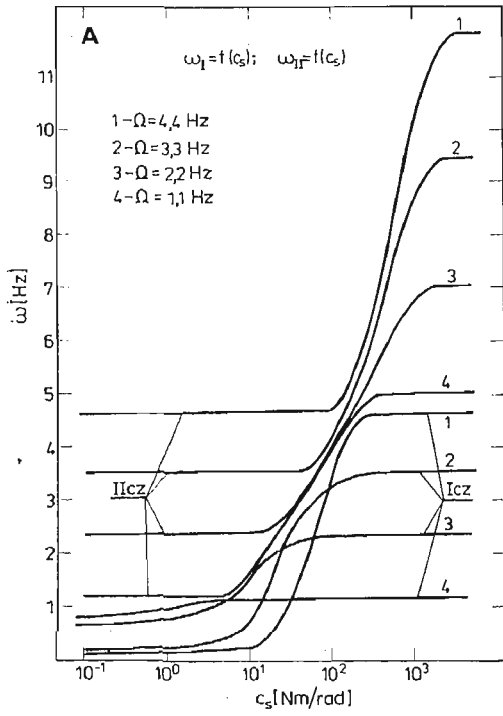
Na rys. 8 przedstawiono charakterystyki rezonansowe dla łopaty przegubowego wirnika nośnego z uwzględnieniem ramienia piasty (1) i bez ramienia piasty (2). Dla roz-



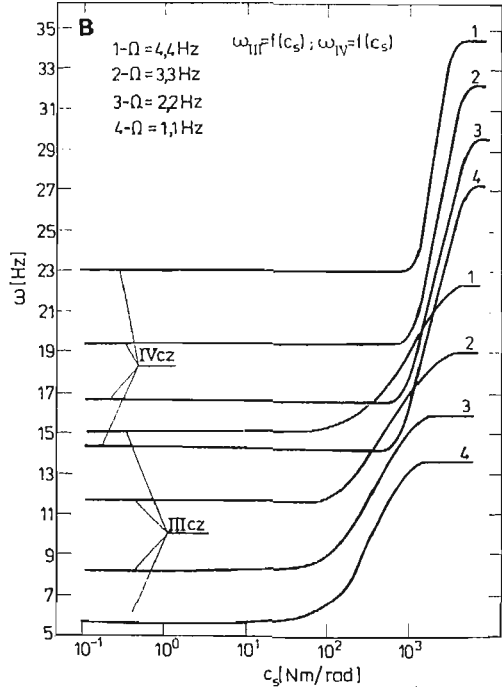
Rys. 7



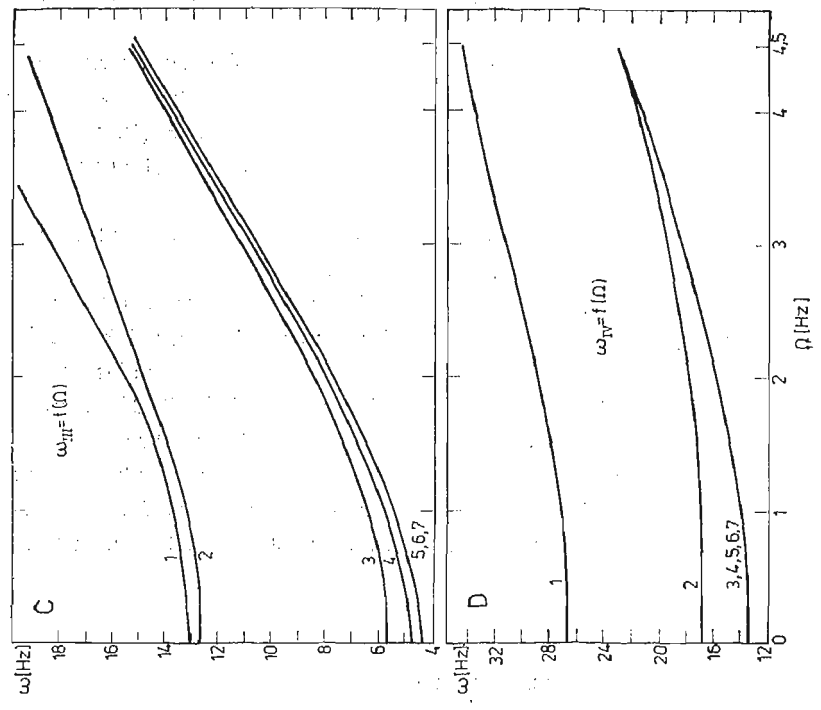
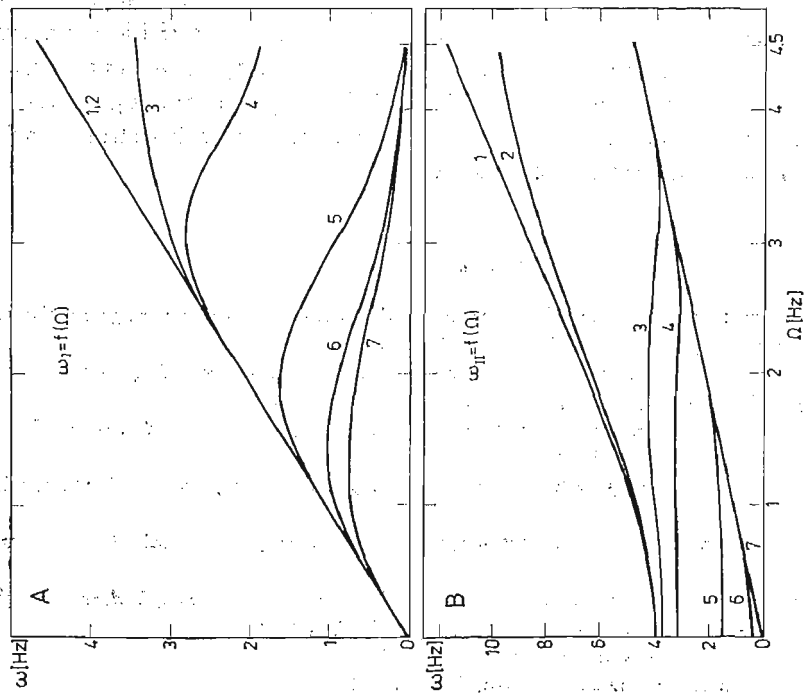
Rys. 8



Rys. 9a



Rys. 9b



Rys. 10 — 1 — $c_3 = 6,5 \cdot 10^3 \text{ Nm/rad}$

- 2 — $c_3 = 10^3$
- 3 — $c_3 = 10^2$
- 4 — $c_3 = 5 \cdot 10^1$
- 5 — $c_3 = 10^1$
- 6 — $c_3 = 10^0$
- 7 — $c_3 = 10^{-1}$

patrywanej łopaty ramię piasty stanowi 8,1% promienia wirnika i jego wpływ jest wyraźnie widoczny.

Z przedstawionych na rys. 8 charakterystyk rezonansowych wynika, że znaczące różnice występują dla III, IV i V częstości własnej. Dla IV częstości występujące różnice zanikają przy $\Omega = 5,5 \text{ Hz}$, kiedy częstość ta staje się częstością drgań skrętnych. Pojawiają się natomiast na V częstości gdy ta częstość zmienia swą postać ze skrętnej na giętą przy $\Omega \approx 3,3 \text{ Hz}$.

Ciekawy wpływ na wielkość częstości własnych łopaty wywiera wielkość współczynnika sprężystości układu sterowania kątem ustawienia łopaty — c_s .

Na rys. 9a i rys. 9b przedstawiono zależność I, II, III i IV częstości własnej od wartości tego współczynnika dla czterech prędkości obrotowych łopaty $\Omega = 1,1; 2,2; 3,3; 4,4 \text{ Hz}$. Z wykresów tych wynika, że wpływ podatności układu sterowania jest zróżnicowany i największa wrażliwość częstości własnych występuje dla $c_s = 8 \cdot 10^9 \div 3 \cdot 10^3 \text{ Nm/rad}$. Charakterystyki rezonansowe wykonane dla czterech kolejnych częstości własnych przedstawione na rysunkach: rys. 10a ÷ rys. 10d przy różnych wartościach c_s , pozwalają wyciągnąć dalsze wnioski dotyczące już nie tylko wrażliwości poszczególnych częstości na zmianę c_s , a nawet na określenie kiedy dana częstość zmienia swą postać z giętej na skrętną lub na odwrót.

4. Wnioski końcowe

Ze względu na ograniczoną objętość niniejszej pracy, nie zostały włączone do analizy wpływu parametrów konstrukcyjnych piasty na charakterystyki dynamiczne łopat postaci drgań odpowiadające obliczonym częstościom własnym. Kształt postaci i jego zmiany w funkcji prędkości obrotowej oraz poszczególnych parametrów piasty pozwala na obszerniejszą analizę własności dynamicznych łopaty. Odpowiednio opracowane wyniki takiej analizy mogą stanowić podstawę do określania optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych łopaty (i piasty) dla której wykonywano obliczenia.

Literatura

1. Z. DŻYGADŁO, W. SOBIERAJ, *Analiza giętno-skrętnych drgań własnych łopat wirnika nośnego śmigłowca za pomocą elementów skończonych*. Biul. WAT, XXVI, 11, 1977.
2. Z. DŻYGADŁO, W. SOBIERAJ, *Analiza samowzbudnych drgań łopat wirnika nośnego śmigłowca metodą elementów skończonych*. Biul. WAT, XXIX, 10, 1980.
3. Z. DŻYGADŁO, W. SOBIERAJ, *Dynamiczny model łopaty wirnika nośnego śmigłowca do analizy drgań za pomocą metody elementów skończonych*, Mechanika i komputer, tom 2, 1980.
4. J. LIPKA, *Częstość drgań własnych wirujących łopat wirników nośnych śmigłowca*, Arch. Bud. Maszyn 3, 4, 1956.
5. R. ŁĄCZKOWSKI, *Skrętno-giętne drgania własne prętów o jednej płaszczyźnie symetrii*. Arch. Bud. Maszyn, 14, 1, 1967.
6. W. SOBIERAJ, *Dynamiczny model łopaty wirnika śmigłowca do analizy charakterystyk dynamicznych z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków brzegowych*, Biul. WAT, 9, 1983.
7. J. SZMELTER, *Metody komputerowe w mechanice*, Warszawa 1980.
8. O. C. ZIENKIEWICZ, *Metoda elementów skończonych*, Warszawa 1972.

Р е з ю м е

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВТУЛКИ НЕСУЩЕГО ВИНТА
ВЕРТОЛЕТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТИ НЕСУЩЕГО ВИНТА
ВЕРТОЛЕТА

Представлен численный анализ позволяющий определить динамические свойства лопасти несущего винта вертолета. Используя представленную в [6] динамическую модель лопасти с учетом разных граничных условий и метод конечных элементов в перемещениях, разработаны алгоритм и программа для численного анализа динамических свойств лопасти и втулки несущего винта. Анализируя результаты расчетов, определено влияние отдельных конструкционных параметров втулки на динамические характеристики лопасти несущего винта вертолета.

S u m m a r y

INFLUENCE OF CONSTRUCTIONAL PARAMETERS OF THE MAIN ROTOR HUB ON THE
DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE HELICOPTER ROTOR BLADE

A numerical analysis is presented permitting us to determine the of constructional parameters of the main rotor hub on the dynamic characteristics of the helicopter rotor blade. Making use of the dynamic model of a blade, presented in Ref [6], and taking into account different boundary conditions, and the displacement method of finite elements, the algorithm and the program were elaborated for a numerical analysis of the dynamic properties of the rotor hub and blade. By the analysis of the results of the calculations the influence has been determined of the respective constructional parameters of the rotor hub on the dynamic characteristics of the helicopter rotor blade.

Praca została złożona w Redakcji dnia 12 lutego 1985 roku.
