

Janusz Narkiewicz, Wiesław Lucjanek
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Tomasz Bartler
Instytut Lotnictwa, Warszawa

Jacek Syryczyński
PZL Okęcie, Warszawa

NOWA METODA STEROWANIA RUCHEM ŁOPAT WIRNIKÓW ŚMIGŁOWCÓW

Streszczenie. W referacie przedstawiono metodę aktywnego sterowania wyższymi harmonicznymi (Higher Harmonic Control) skoku łopaty wirnika śmigłowca w celu obniżenia poziomu drgań. Do ogólnego modelu izolowanej łopaty wirnika śmigłowca zastosowano aktywne sterowanie optymalne z kwadratowym wskaźnikiem jakości. Metoda może być zastosowana także do innych obiektów, w których występują powierzchnie nośne.

Резюме. В реферате представлен метод управления высшими гармониками общего шага лопасти несущего винта вертолета для понижения уровня вибрации. Для общей модели изолированной лопасти несущего винта употреблено оптимальное, активное управление с квадратным показателем качества. Метод может употребляться тоже для других объектов с несущими поверхностями.

Summary. The method of active control of higher harmonics (HHC) for helicopter rotor blade pitch angle was developed for vibration reduction. The active optimal control with quadratic quality index was applied to general isolated blade of helicopter rotor. The method can be applied to other devices with rotating lifting surfaces.

1. WSTĘP

W czołowych wytwórniach śmigłowcowych i ośrodkach badawczych od kilkunastu lat trwają prace nad nowymi sposobami sterowania kątem

nastawienia łopat wirników śmigłowców [1]. Celem tych działań jest poprawa własności eksploatacyjnych śmigłowców, obejmująca w szczególności: poprawę osiągów, zmniejszenie poziomu drgań i hałasu oraz uszeregowanie ruchu. Badania te prowadzone są zarówno na podstawie symulacji komputerowej, jak też prac eksperymentalnych w laboratoriach oraz badań w locie.

2. STEROWANIE WYŻSZYMI HARMONICZNYMI KĄTA NASTAWIENIA ŁOPATY

W celu zapewnienia sterowania lotem śmigłowca kąt nastawienia łopat wirnika nośnego powinien zmieniać się okresowo w funkcji azymutu, w rozwiązaniach już klasycznych, kąt ten zmieniany jest sinusoidalnie (rys. 1, krzywa a) z częstością równą prędkości kątowej wału napędowego. Nowe koncepcje sterowania kątem skoku łopat polegają na dodaniu wyższych harmonicznymi (rys.1, krzywa b). Jest to oddziaływanie pośrednie na pracę wirnika. Oczekuje się takich zmian opływu, a więc i obciążeń aerodynamicznych, które poprawią własności wirnika.

3. MODEL OBIEKTU STEROWANIA

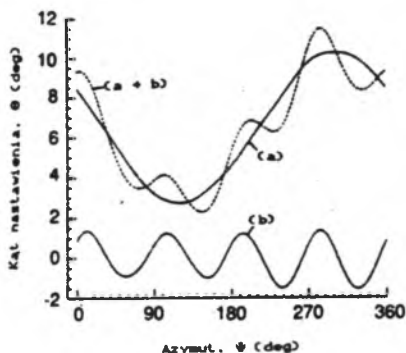
Jako obiekt sterowania wykorzystano ogólny model izolowanej, odkształcalnej łopaty wirnika śmigłowca [2], którego wał napędowy obraca się ze stałą prędkością kątową. Możliwe jest modelowanie różnych zamocowań łopat, tłumienia wiskotycznego i sztywności.

Efekty niestacjonarności opływu uwzględniono przez modelowanie prędkości indukowanej jako "dynamiczny napływ" (ang. dynamic inflow).

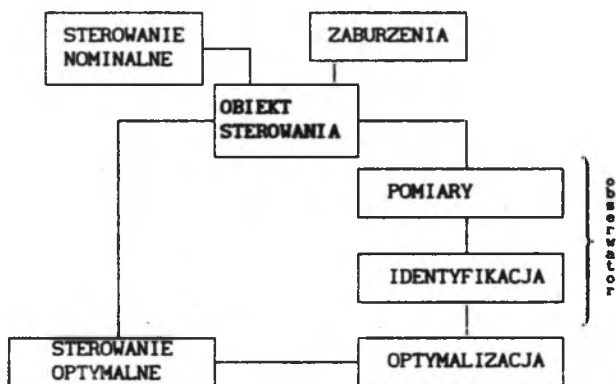
Opis matematyczny ruchu łopaty stanowi układ równań różniczkowych zwyczajnych z prawymi stronami zależnymi okresowo od czasu.

4. METODA STEROWANIA

Zastosowano metodę aktywnego sterowania z kwadratowym wskaźnikiem jakości w skończonym czasie, zgodnie ze schematem podanym na rys. 2



Rys. 1. Kąt skoku łopaty w funkcji azymutu
Fig. 1. Blade pitch angle as azimuth function



Rys. 2. Schemat metody sterowania optymalnego
Fig. 2. Scheme of optimal control method

Ze względu na wstępny charakter pracy nie zajmowano się problemem doboru obserwatora.

Zastosowana metoda dotyczy układu równań różniczkowych zwyczajnych

$$\dot{z} = A(t)z + B(t)u. \quad (1)$$

dla którego dobierany jest wskaźnik jakości.

$$J = 0.5 \int_{t_0}^{T+t_0} [\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}] dt. \quad (2)$$

Po rozwiązaniu równania macierzowego Ricattiego

$$\dot{\mathbf{S}} + \mathbf{S} \mathbf{A} - \mathbf{S} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{S} + \mathbf{A}^T \mathbf{S} + \mathbf{Q} = 0 \quad (3)$$

z założonymi warunkami końcowymi:

$$\mathbf{S}(T) = \mathbf{E} \mathbf{P} \mathbf{S}, \quad (4)$$

zmienne sterujące wyznaczane są z zależności

$$\mathbf{u} = -\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{S} \mathbf{x}. \quad (5)$$

Dobór macierzy wagowych \mathbf{Q} i \mathbf{R} wynika z przeprowadzanej wstępnie analizy własności układu otwartego.

5. WYNIKI OBLICZEŃ

Przeprowadzone wstępne obliczenia wskazują na możliwość oddziaływania na ruch łopat zaproponowaną metodą. Jej skuteczność zależy w dużym stopniu od wartości elementów macierzy \mathbf{Q} i \mathbf{R} dobieranych, jak dotychczas, heurystycznie.

6. WNIOSKI

Praca stanowi pierwszy etap programu badawczego, prowadzącego do opanowania metodyki sterowania wyższymi harmonicznymi kąta skoku łopat wirników. Otrzymane wyniki są zachęcające.

Podobna metoda postępowania może być stosowana do innych urządzeń, w których występują wirujące sterowane powierzchnie nośne (sprężarki wirnikowe, turbiny, wentylatory, wiatraki).

Praca została wykonana w ramach grantu MEN.

LITERATURA

- [1] Polychroniades M.: Generalized Higher Harmonic Control Ten Years of Aerospatiale Experience. XVI European Rotorcraft Forum, Glasgow 1990, Pap. No. III.7.2.
- [2] Narkiewicz J., Lucjanek W.: General model of isolated helicopter blade for stability investigation. XVI European Rotorcraft Forum, Glasgow, UK, 1990, Paper No. III.8.2.

A NEW METHOD OF THE CONTROL OF HELICOPTER ROTOR BLADE MOTION

The investigation of new method of control of helicopter rotor blade pitch angle is being developed since several years. The most common way of rotor blade pitch control is a harmonic one (Fig. 1, curve a) with frequency equal to angular velocity of rotor shaft rotation. Now the higher harmonic control (HHC) of pitch angle is investigated extensively.

This paper summarizes the first part of research concerning application of HHC to suppression of helicopter rotor vibrations.

The method of active optimal control with quadratic performance index (Eqs. 1 - 5) has been applied to general model of helicopter rotor blade [2]. The algorithm efficiency depends strongly on values of matrix Q and R in Eq.2. They are usually chosen after analysis of the open system properties.

The results obtained show the possibility of changing system behavior using control method reported in this paper.