

ANALIZA WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW ŚMIGŁOWCA NA ODPOWIEŹ DYNAMICZNĄ ŁOPATY PODCZAS PODMUCHÓW WIATRU PRZY MAŁYCH PRĘDKOŚCIACH OBROTOWYCH WIRNIKA NOŚNEGO

mgr inż. **Izabela SACEWICZ**
Instytut Lotnictwa

W artykule przedstawiono analizę możliwości wpływu zmian pewnych parametrów śmigłowca na dynamikę ruchu łopaty w przypadku silnych podmuchów atmosferycznych przy małych prędkościach obrotowych wirnika nośnego. Takie warunki sprzyjają powstaniu zjawiska aeroelastycznego zwanego „żeglowaniem łopat” (ang. blade sailing). Głównym zagrożeniem związanym z tym zagadnieniem jest możliwość kolizji łopaty z belką ogonową. Zasadniczym celem powyższej analizy jest odpowiedni dobór wybranych parametrów tak, aby maksymalnie odsunąć końcówkę łopaty znajdującej się na tylnym azymucie od osłony wału transmisji. Dotyczy to takich sytuacji, jak np. rozkręcanie się i zwalnianie wirnika nośnego przy podmuchach wiatru. W artykule rozpatrzono podmuchy poziome, pionowe oraz skośne. Do przeprowadzania obliczeń wykorzystano oprogramowanie komputerowe opracowane w Instytucie Lotnictwa w Warszawie. Na zjawisko żeglowania łopat szczególnie narażone są śmigłowce operujące z pokładów okrętów oraz lądowisk nieosłoniętych jak np. platformy wiertnicze czy dachy wysokich budynków. Analiza została wykonana na przykładzie śmigłowca W-3 Sokół. Może ona stanowić podstawę do przeprowadzenia prób mających na celu wyeliminowanie zagrożenia uderzenia łopaty o belkę ogonową poprzez zmiany odpowiednich parametrów śmigłowca.

1. WSTĘP

Zjawisko żeglowania łopaty jest szczególnie niebezpieczne dla śmigłowców operujących z odsłoniętych lądowisk. Przykładem tego typu obiektów mogą być lądowiska nadmorskie, dachy budynków czy na przykład platformy wiertnicze. Szczególną grupą śmigłowców objętych dużym ryzykiem wystąpienia wspomnianego zjawiska są maszyny operujące z pokładów okrętów. Wówczas oprócz silnych podmuchów wiatru dodatkowym zagrożeniem jest niestabilność płaszczyzny lądowiska ściśle związana z ruchami okrętu wymuszonymi falowaniem wody.

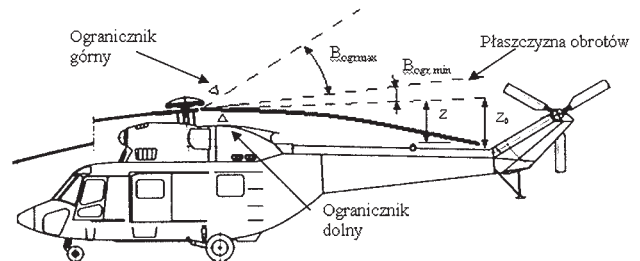
Głównymi drogami przeciwdziałania niebezpiecznemu zjawisku jakim jest żeglowanie łopaty mogą okazać się: wprowadzenie odpowiednich zmian konstrukcyjnych wirnika nośnego jak również opracowanie szczególnych procedur dla pilota tak, by mógł on przewidzieć możliwość zaistnienia niestabilności ruchu wirnika nośnego i odpowiednio wcześniej poczynić odpowiednie działania.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza dynamiki ruchu łopaty śmigłowca W-3 podczas małych prędkości obrotowych wirnika nośnego oraz analiza wpływu zmian różnych parametrów śmigłowca na tor ruchu tej łopaty.

2. ZAŁOŻENIA DO MODELU OBLICZENIOWEGO RUCHU ŁOPATY PODCZAS WOLNYCH PRĘDKOŚCI OBROTOWYCH WIRNIKA NOŚNEGO

Zasymulowanie zjawiska żeglowania łopaty polega na aeroelastycznym rozwiązaniu jej ruchu wokół osi wirnika. W stosowanej metodzie [5] sprężyste umocowana łopata jest odkształcalna giętnie w płaszczyznach ciągu i obrotów oraz skrętnie. Wirnik poddawany jest nieokresowo zmiennym obciążeniom oraz może być sterowany w sposób dowolny. Zakładany model posiada ponadto możliwości wprowadzania zaburzeń opływu ośrodka. Założono, że kadłub śmigłowca, zastąpiony jest nie poruszającym się punktem materialnym ściśle związanym z podłożem.

Model symulacyjny do badań zjawisk żeglowania łopaty uwzględnia także możliwość zmiany warunków brzegowych mocowania łopat. Ma to związek z tym, że w cyklu ruchu łopaty może ona mieć kontakt z ogranicznikami, co zmienia charakter jej utwierdzenia.



Rys. 1. Schemat geometrii układu do oceny zakresy ruchu łopaty (między ogranicznikami) i kolizji łopaty z belką ogonową

Uwzględnienie zmiany warunków brzegowych polega na tym, że w zależności od charakteru utwierdzenia łopaty (łopata z kontaktem lub bez kontaktu z ogranicznikiem) dobieramy odpowiedni zestaw częstości drgań własnych.

Do prawidłowego zasymulowania ruchu łopaty przy wolnych prędkościach obrotowych wirnika nośnego niezbędne jest uwzględnienie zagadnień aeroelastycznych.

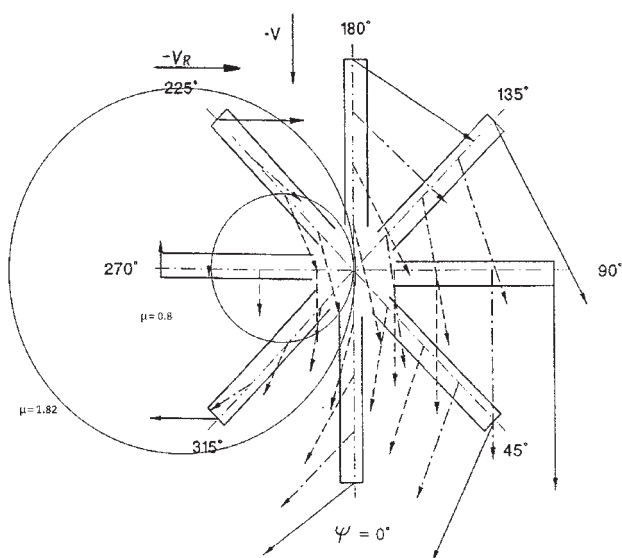
Z uwagi na charakter badanego zjawiska możemy przyjąć model jednołopatowy, gdyż pomijamy oddziaływanie wirnika na kadłub i wpływ pozostałych łopatek na badaną. Uściślenia natomiast wymaga model opływu łopaty. Model ten różni się od ogólnego przypadku tym, że opływy zachodzą w dużym zakresie kątów natarcia (w praktyce w zakresie 360°), występują znaczne skosy napływu strumienia na łopatę, jak również opływ odwrotny. Fakt występowania opływu w zakresie dużych kątów natarcia wymaga znajomości odpowiednio przygotowanych charakterystyk aerodynamicznych profilu łopaty.

Na poniższym rysunku przedstawiono wielkości i kierunki opływu łopatek w różnych przekrojach (na różnych promieniach) i przy różnych położeniach azymutalnych. Wartość współczynnika prędkości $\mu = 0,8$ otrzymano ze wzoru:

$$\mu = \frac{V}{\omega \cdot R} = \frac{9}{1,4 \cdot 7,85} \cong 0,8 \quad (1)$$

I dla prędkości opływu 20 m/s:

$$\mu = \frac{V}{\omega \cdot R} = \frac{20}{1,4 \cdot 7,85} \cong 1,82 \quad (2)$$



Rys. 2. Wielkości i kierunki opływu łopatek w różnych przekrojach (na różnych promieniach) i przy różnych położeniach azymutalnych

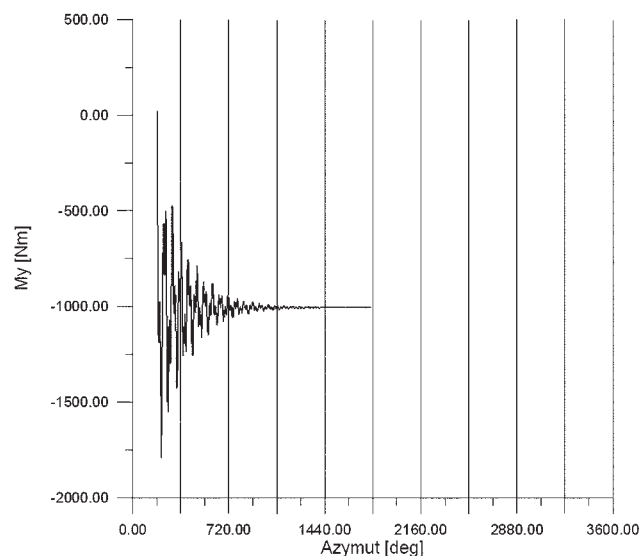
5. SYMULACJA ZRZUTU ŁOPATY NA OGRANICZNIK

Najprostszym odwzorowaniem zjawiska uderzeń łopaty o ograniczniki zdarzające się podczas żeglowania jest próba zrzutu łopaty na ogranicznik.

Międzynarodowe, wspólne przepisy budowy śmigłowców JAR 27 wymagają sprawdzenia wytrzymałości struktury łopaty wirnika nośnego na uderzenie o ogranicznik w warunkach pracy na ziemi. W tym celu wykonuje się próbę zrzutu łopaty na ogranicznik.

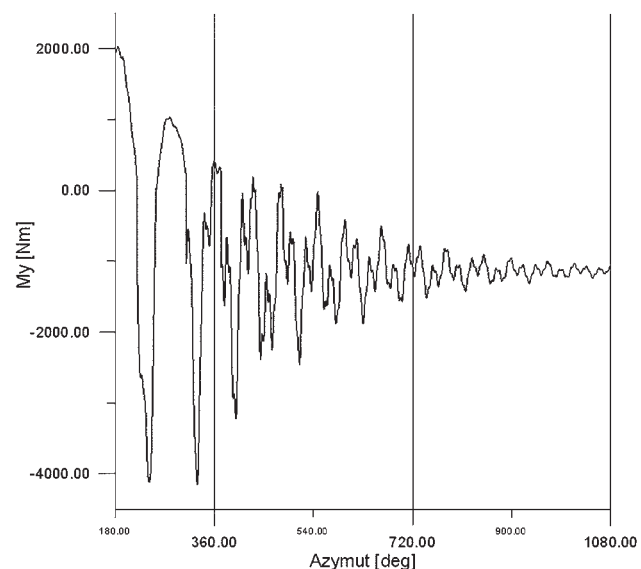
Odrębne przepisy mówią, że po swobodnym zrzucie łopaty na ogranicznik, dopuszczalne przeciążenie nie powinno być większe niż trzykrotne w porównaniu z wielkością obciążeń łopaty opartej o ogranicznik podczas zwisu. Przeprowadzono odpowiednie analizy w celu sprawdzenia parametrów wytrzymałościowych przy zrzucie łopaty z odpowiednich kątów. Wyniki analiz pokazano na poniższych wykresach.

Jako pierwszy przypadek zostaje obliczony moment gnący w płaszczyźnie ciągu w sytuacji swobodnego zwisu łopaty. Moment ten stanowić będzie wartość odniesienia w późniejszych analizach.

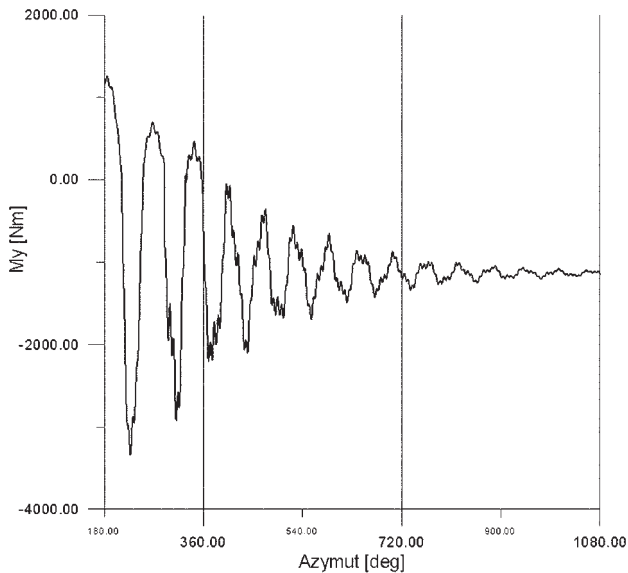


Rys. 3. Rozwiązanie symulacyjne zwisu łopaty opartej o dolny ogranicznik (0°)

Mimo, że na powyższym rysunku przedstawiono próbę swobodnego zwisu łopaty, to w początkowych kątach azymutu widać dużą oscylację. Ma to związek z zanikaniem w rozwiązaniu symulacyjnym założonych przybliżonych warunków początkowych. Bowiern program rozpoczynając symulację zakłada, że koniec łopaty znajduje się na wysokości 0 w stosunku do płaszczyzny obrotu wirnika nośnego. Ponieważ w czasie zwisu łopata pozostaje ugięta, toteż w pierwszych chwilach symulacji następuje wyrównanie się warunków równowagi. Wprawdzie próba powinna być przeprowadzana na nieruchomym wirniku, to jednak ze względu na specyfikę programu obliczeniowego wymagane było wprowadzenie niewielkiej prędkości obrotowej (1,4 rad/s) i przedstawienie wyników w funkcji azymutu.



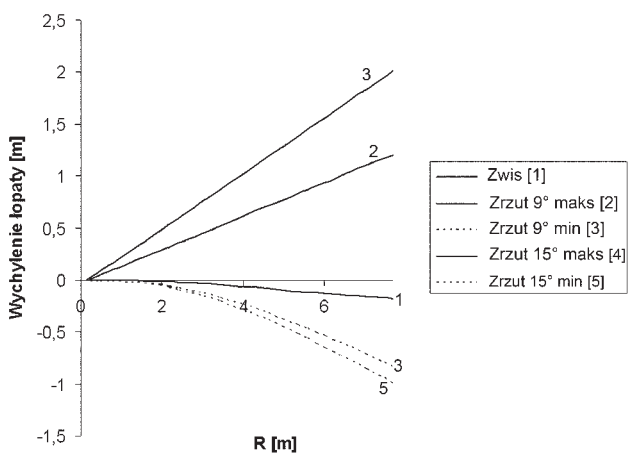
Rys. 4. Próba zrzutu łopaty dla wartości kąta ogranicznika górnego równego 15° i kąta ogranicznika dolnego równego 0° (wyniki symulacji)



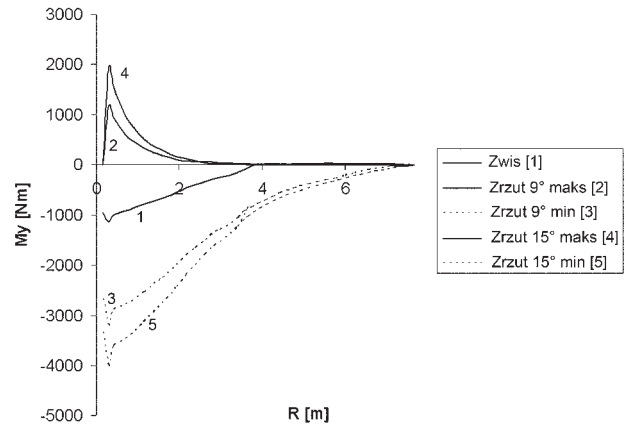
Rys. 5. Próba zrzutu łopaty dla wartości kąta ogranicznika górnego równego 9° i kąta ogranicznika dolnego równego 0° (wynik symulacji)

Do analizy przeciążenia należy porównać maksymalną wartość momentu gnącego z wartością momentu w chwili gdy łopaty pozostaje w równowadze. Sytuacji tej odpowiada moment, którego wartość nie zmienia się już w funkcji azymutu. Przy zrzucie łopaty z kąta początkowego 15° widać, że przeciążenie wynosi około 4, co przekracza już założone ograniczenia. Jest to o tyle niebezpieczne, gdyż wartość ta jest zbliżona do wartości przeciążenia 4,5, która to wartość uznawana jest za warunki niszczące.

W przypadku zrzucenia łopaty z kąta 9° wartość przeciążenia spadła do nieco powyżej 3 i jest to poziom zadowalający.



Rys. 6. Wychylenia łopaty w próbie rzutu na ogranicznik

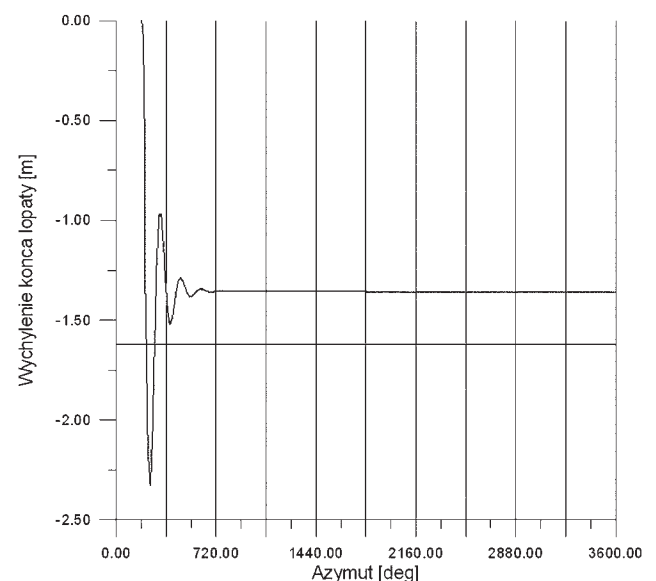


Rys. 7. Momenty gnące w płaszczyźnie ciągu w próbie zrzutu łopaty na ogranicznik

6. ANALIZA WPLYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH I KONSTRUKCYJNYCH NA ODPOWIEDZ DYNAMICZNĄ ŁOPATY

Zjawisko żeglowania łopaty jest charakterystyczne dla przypadków gdy wiatr wieje ze znaczną prędkością. Instrukcja użytkownika śmigłowca PZL W-3 Sokół dopuszcza możliwość operowania gdy wiatr w rejonie lądowiska nie przekracza 18 m/s więcej z czoła oraz 8 m/s więcej z boku. Chcąc zasymulować powstanie tego zjawiska, zbadano następujące przypadki: podmuch z przodu z prędkością 20 m/s , podmuch z boku z prędkością 10 m/s .

Obliczenia przeprowadzone zostały przy użyciu programu, którym wykonano obliczenia dla dziesięciu obrotów wirnika nośnego. Wstępnie obliczono położenie końca łopaty w funkcji azymutu przy zerowej prędkości podmuchu i przy ustawieniu drążka sterowania w neutrum (rys. 8). Do analiz wybrano trzy ostatnie obroty, z uwagi na zaburzenia występujące w fazie zanikania przybliżonych warunków początkowych. Obrazują one najlepiej tor końca łopaty, jak i moment gnący w płaszczyźnie ciągu. Linia pozioma na odległości -1.6 m odpowiada położeniu belki ogonowej.

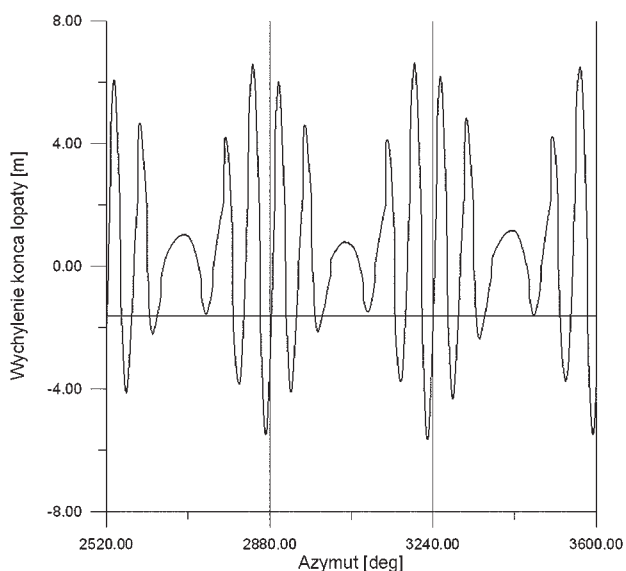


Rys. 8. Wykres toru końca łopaty dla dziesięciu obrotów wirnika nośnego przy zerowym podmuchu wiatru i prędkości kątowej równej $1,4 \text{ rad/s}$ w zależności od azymutu

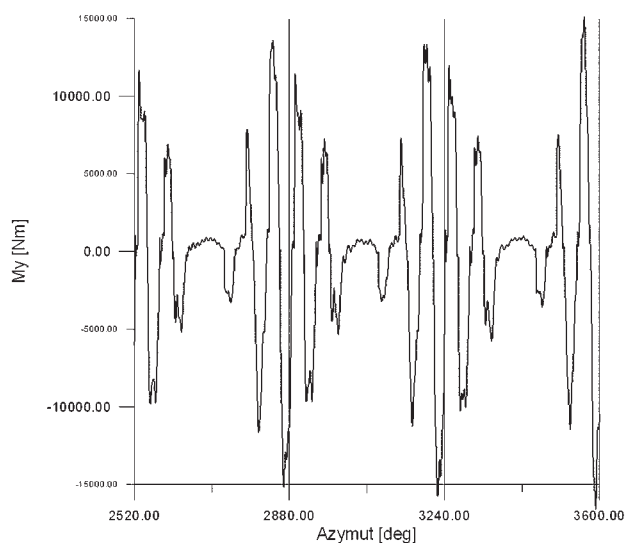
Dla lepszego zobrazowania zagrożenia jakie niesie ze sobą zjawisko żeglowania łopaty przeprowadzono analizę, przy której następuje hipotetyczne uderzenie łopaty o belkę ogonową (tor końca łopaty przechodzi przez przecięcie linii pionowych odpowiadających azymutom belki ogonowej i linii poziomej obrazującej wysokość osłony wału napędowego wirnika ogonowego). Dodatkowo w analizie tej udało się uzyskać uderzenia łopaty zarówno o ogranicznik dolny jak i górny co widać na wykresie momentów gnących w postaci obustronnych skoków wartości. Zjawiska te wystąpiły przy podmuchu wiatru z przodu z prędkością 23 m/s.

Tab. 1. Dane wejściowe do wykresu

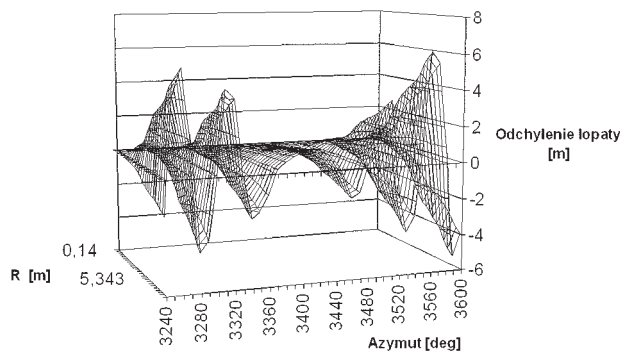
Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	23	



Rys. 9. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego śmigłowca w zależności od azymutu



Rys. 10. Wykres momentu gnącego w płaszczyźnie ciągu w zależności od azymutu



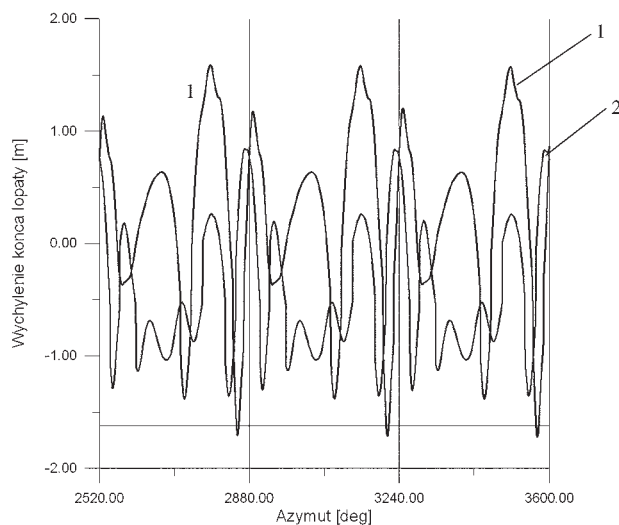
Rys.11. Wykres powierzchniowy dla danych zawartych w tabeli 2

Wpływ zmian skoku ogólnego na dynamikę ruchu łopaty wirnika nośnego śmigłowca

Z wykresów pokazanych wcześniej wynika, że zjawisko żeglowania łopaty najbardziej widoczne jest przy prędkości obrotowej 1,4 rad/s. Dlatego też, aby zbadać wpływ zmian skoku ogólnego na dynamikę ruchu łopaty, wybrano ten przypadek. Na początek zostanie przedstawiona sytuacja, w której wiatr wieje z czoła śmigłowca. Aby przedstawić tendencje zmian dynamiki ruchu łopaty przeanalizowane zostanie zarówno zwiększenie jak i zmniejszenie skoku ogólnego. Skok ogólny będzie się zmieniał w zakresie wartości określonych w aktualnych danych dotyczących śmigłowca W-3 Sokół czyli od 9,76° do 19,1°.

Tab. 2. Dane wejściowe do analizy

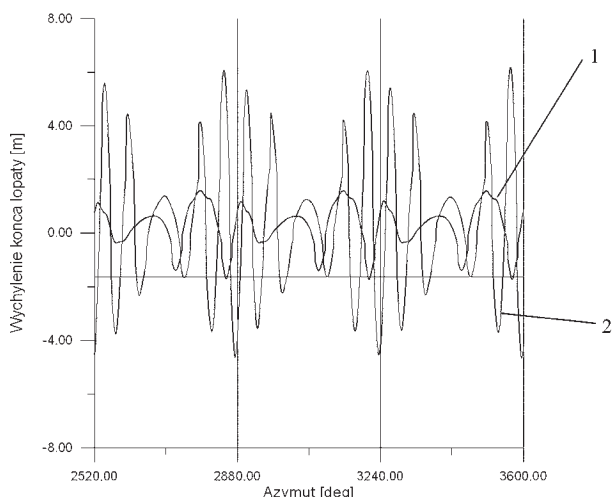
Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17(1); 9,76(2)	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	20	



Rys. 12. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego śmigłowca przy zmniejszonym skoku ogólnym w odniesieniu do warunków początkowych w zależności od azymutu

Tab. 3. Dane wejściowe do analizy

Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17(1); 19,1(2)	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	20	



Rys. 13. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego śmigłowca przy zwiększonym skoku ogólnym w odniesieniu do warunków początkowych w zależności od azymutu

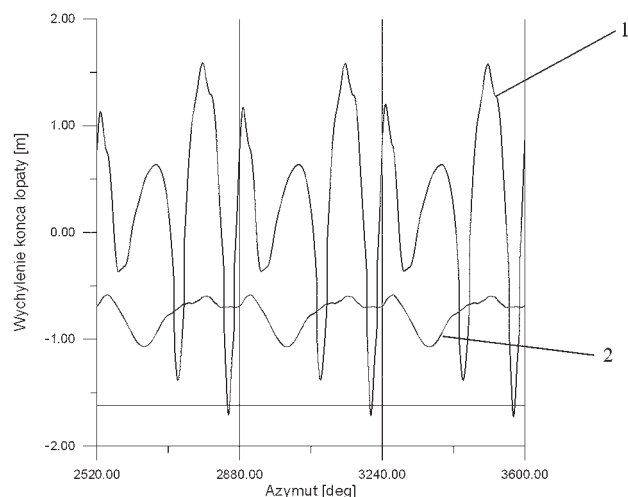
Przedstawiona analiza wskazuje na to, że lepszą drogą na zwiększenie odległości końca łopaty od belki ogonowej jest zmniejszenie skoku ogólnego. Zwiększenie skoku powoduje odwrotny efekt tj. zwiększenie amplitudy wahań łopaty podczas zjawiska żeglowania. Może to mieć związek z tym, że przy zwiększonym skoku ogólnym zachodzą gwałtowniejsze zmiany siły nośnej podczas przechodzenia łopaty przez kolejne stopnie azymutu.

Wpływ zmian skoku cyklicznego na dynamikę ruchu łopaty śmigłowca

Kolejnym etapem analizy jest zbadanie wpływu skoku cyklicznego na zmiany dynamiki ruchu łopaty. W analizie tej przebadane zostaną dwa przypadki, a mianowicie podmuch wiatru z czoła śmigłowca, jak i z boku. Założone zmiany skoku cyklicznego obejmują pochylenie tarczy wirnika nośnego do przodu w przypadku podmuchu z czoła oraz pochylenie tarczy wirnika do przodu jak również przechylenie w kierunku wiatru w przypadku podmuchów bocznych.

Tab. 4. Dane wejściowe do analizy

Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0(1); -7(2)
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	20	

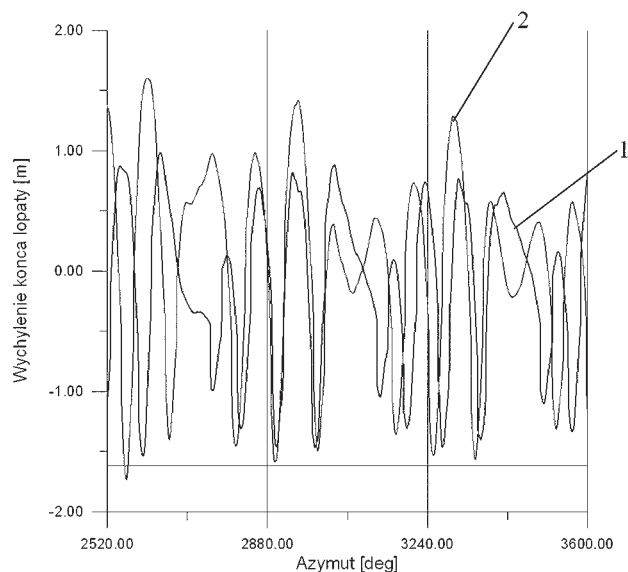


Rys. 14. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego przy pochyleniu tarczy sterującej w odniesieniu do warunków początkowych w zależności od azymutu

Na powyższym wykresie można zauważyć diametralną różnicę w charakterze wahań łopaty. Ruchy mają mniejszą amplitudę i są mniej gwałtowne. Końcówka łopaty podniosła się ponad pół metra, co znacznie zwiększyło margines bezpieczeństwa przy występowaniu zjawiska żeglowania łopaty.

Tab. 5. Dane wejściowe do analizy

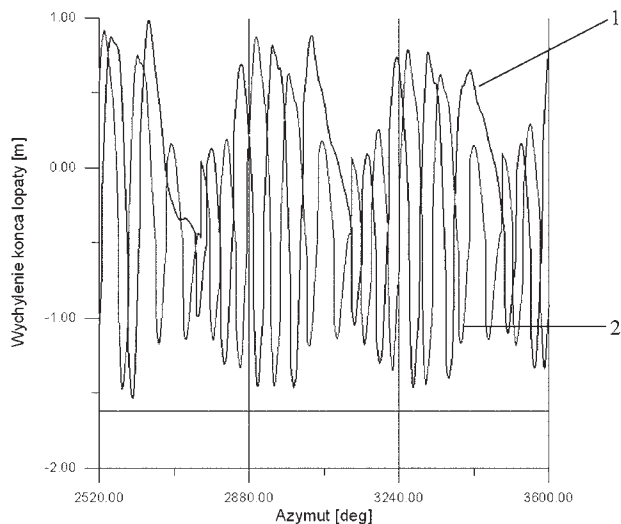
Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0(1); -7(2)
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	20	



Rys. 15. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego przy pochyłonej tarczy w odniesieniu do przypadku początkowego w zależności od azymutu

Tab. 6. Dane wejściowe do analizy

Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0(1); -5(2)
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4	
Prędkość wiatru [m/s]	10	



Rys. 16. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego śmigłowca przy przechylonej tarczy sterującej w odniesieniu do warunków początkowych w zależności od azymutu

Z powyższej symulacji wynika, że sterowanie wyłącznie skokiem cyklicznym w przypadku bocznych podmuchów wiatru nie daje oczekiwanych efektów. Zarówno amplituda jak i częstość drgań pozostała bez zmian bądź zmieniła się niekorzystnie.

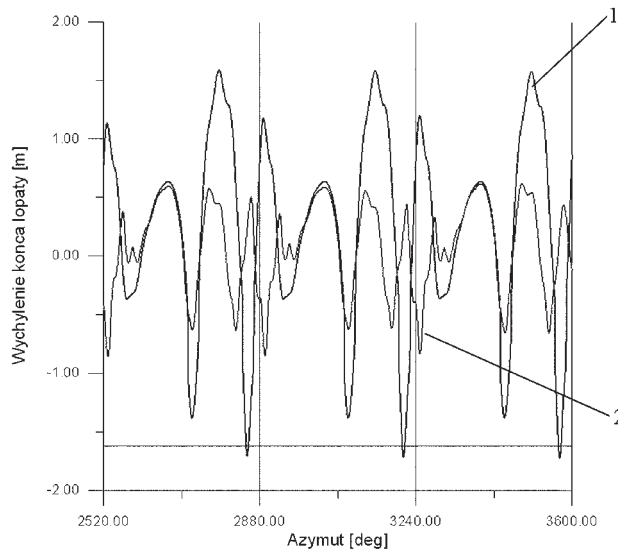
Wpływ zmian kąta ogranicznika dolnego na dynamikę ruchu łopaty wirnika nośnego

Ogranicznik dolny jest biernym mechanizmem, który wysuwa się i chowa poprzez działanie sił odśrodkowych na odważnik. Podczas małych prędkości obrotowych wirnika nośnego i podczas jego postoju urządzenie to odciąża przegub poziomy od wahań poniżej kąta ogranicznika. Tak więc szczególnymi przypadkami, podczas których wysunie się ogranicznik jest rozkręcanie i zwalnianie wirnika nośnego. Co więcej, obie powyższe sytuacje muszą być zamodelowane aby uzyskać prawidłowe działanie ogranicznika. Podczas rozkręcania wirnika nośnego łopata może być w kontakcie z ogranicznikiem dolnym aż do uzyskania odpowiedniej prędkości obrotowej (wtedy ogranicznik się schowa). Ogranicznik nie schowa się dopóki nie dojdzie do rozłączenia z nim łopaty. Podczas zwalniania wirnika nośnego kąt wzniosu łopaty może być poniżej ogranicznika dolnego aż do momentu uzyskania odpowiedniej prędkości obrotowej, przy której ogranicznik zadziała.

Ogranicznik górny hamuje wahaniami w płaszczyźnie ciągu (do góry) podczas małych prędkości obrotowych wirnika nośnego na tej samej zasadzie jak ogranicznik dolny. Kąt wzniosu, podczas którego dochodzi do kontaktu łopaty z ogranicznikiem oraz prędkość obrotowa, przy której następuje wysunięcie ogranicznika bądź jego schowanie, nie zależą od ogranicznika dolnego.

Tab. 7. Dane wejściowe do analizy

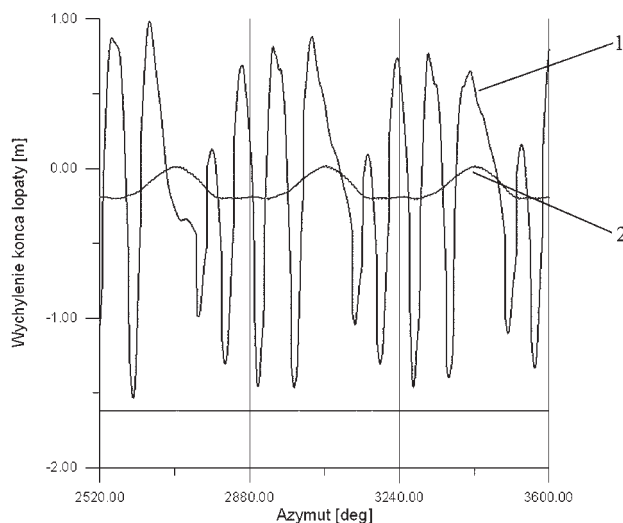
Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4(1); 0(2)	
Prędkość wiatru [m/s]	20	



Rys. 17. Wykres toru końca łopaty wirnika nośnego przy zmienionym kącie ogranicznika dolnego w odniesieniu do danych początkowych w zależności od azymutu

Tab. 8. Dane wejściowe do analizy

Prędkość kątowna [rad/s]	1.4	
Skok ogólny [deg]	17	
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]	-4(1); 0(2)	
Prędkość wiatru [m/s]	10	



Rys. 18. Wykres toru końca łopaty przy zmianie kąta ogranicznika dolnego w odniesieniu do danych wejściowych w zależności od azymutu

Nominalna prędkość kątowna wirnika nośnego wynosi 27 rad/s. Oznacza to, że ruchomy ogranicznik zacznie działać w chwili gdy prędkości obrotowe spadną poniżej 11 rad/s. Możemy więc z pewnością przyjąć, że przy prędkości kątowej równej 1,4 rad/s ogranicznik zwisu łopaty będzie aktywny.

Wyniki analiz przedstawione na rysunkach 23 i 24 wskazują jednoznacznie, że zastosowanie ruchomego ogranicznika daje wyraźne, pożądane efekty. Tor końca łopaty jest bardziej wypłaszczony, częstość drgań mniejsza i praktycznie znikome niebezpieczeństwo kontaktu końcówki z belką ogonową. Widoczne załamania toru świadczą o kontakcie łopaty z powierzchnią ogranicznika, który jest nieunikniony.

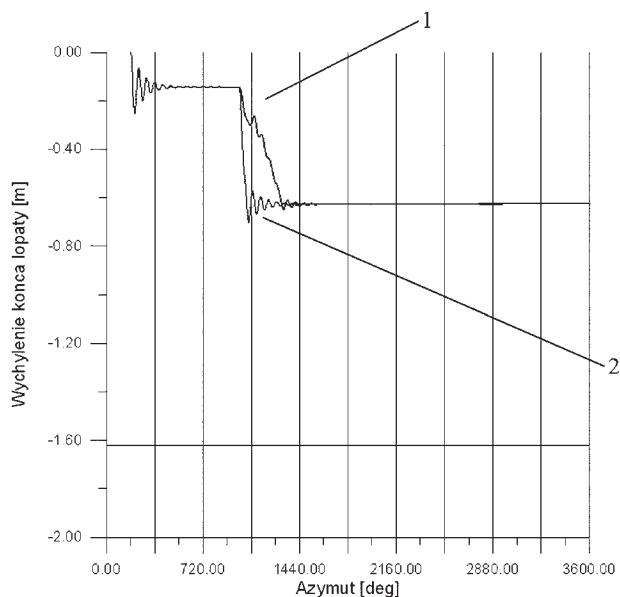
Spośród wymienionych do tej pory metod złagodzenia skutków żeglowania łopaty podniesienie ogranicznika dolnego jest najbardziej efektywne.

Wpływ podmuchów wiatru z góry na dynamikę ruchu łopaty wirnika nośnego śmigłowca

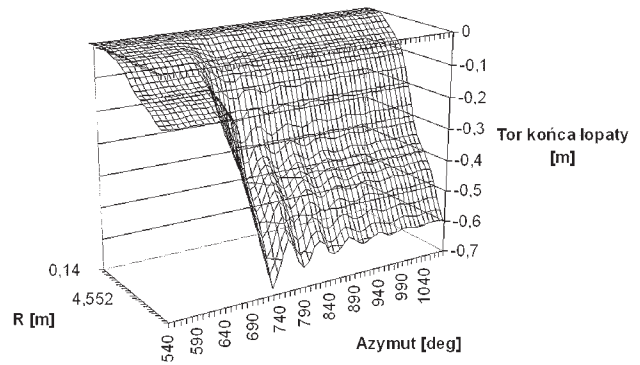
Warunki atmosferyczne nie są jedyną przyczyną powstania zjawiska żeglowania łopaty. Notowane były przypadki, gdy do uszkodzeń śmigłowca dochodziło przy podmuchu z góry. Podmuch ten generowany był z wirnika nośnego innego śmigłowca przelatującego nad wolno obracającym się wirnikiem maszyny stojącej na ziemi. Z uwagi na duże prawdopodobieństwo zaistnienia wyżej opisanej sytuacji przypadek ten również zostanie przeanalizowany w niniejszym artykule.

Tab. 9. Dane wejściowe do analizy

Prędkość kątowna [rad/s]		1.4
Skok ogólny [deg]		17
Skok cykliczny [deg]	Przód/tył	0
	Lewo/Prawo	0
Kąt ogranicznika dolnego [deg]		-4(1); 0(2)
Prędkość wiatru [m/s]		20
Gradient podmuchu [m/s ²]		5(1); 30(2)



Rys. 19. Wykres toru końca łopaty śmigłowca w zależności od azymutu w odniesieniu do parametrów przedstawionych w powyższej tablicy



Rys. 20. Wykres powierzchniowy do sytuacji przedstawionej powyżej

7. PODSUMOWANIE

Na drodze przeprowadzonych analiz zauważyć można, że zagrożenie powstania zjawiska żeglowania łopaty jest realne. Ruch łopaty podczas małych prędkości obrotowych wirnika nośnego w niesprzyjających warunkach atmosferycznych może okazać się bardzo niestabilny.

Zasadniczym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu zjawiska żeglowania łopaty jest okresowa zmienność wymuszenia związana z wolno obracającym się wirnikiem w otoczeniu powietrza poruszającego się ze stałą prędkością w określonym kierunku. Warunki te powodowały cykliczne zmiany sił aerodynamicznych powstających na łopatach wirnika nośnego i w rezultacie wywoływały ich periodyczny ruch. Jednym z głównych celów przeprowadzonych analiz było zbadanie wpływu określonych parametrów (zarówno konstrukcyjnych jak i sterowania) na charakter ruchu łopaty. Z otrzymanych wyników można wywnioskować, że istnieje możliwość wpływu na dynamikę ruchu wirnika nośnego śmigłowca manipulując odpowiednimi wielkościami.

Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych i sposobów reakcji pilota, zmniejszających ryzyko kolizji łopaty z belką ogonową w przypadku podmuchów wiatru, przedstawiono w poniższej tabeli.

Tab. 10. Zestawienie wyników analiz

PRZYPADEK	SPOSÓB REAKCJI	UZYSKANY REZULTAT
Podmuch z przodu z prędkością 20 m/s	Skok ogólny [deg]	↓ ↑
	Pochylenie tarczy sterującej do przodu (pod wiatr) o kąt 7 deg	↑
	Ustawienie kąta ogranicznika dolnego na wartość 0 deg (podniesienie ogranicznika)	↑
Podmuch z boku z prędkością 10 m/s	Pochylenie tarczy sterującej do przodu o kąt 7 deg	↓
	Przechylenie tarczy sterującej w bok (pod wiatr) o kąt 5 deg	BRĄK WPLYWU
	Ustawienie kąta ogranicznika dolnego na wartość 0 deg (podniesienie ogranicznika)	↑

Bardzo dobre rezultaty udało się uzyskać zmieniając nieco konstrukcję piasty wirnika. Zmiany te dotyczyły dodania do układu kinematycznego zamocowania łopaty ruchomego ogranicznika, który zmieniał kąt jej przyporu w zależności od prędkości obrotowej. Ogranicznik ten zapewniał

pełny zakres ruchu łopaty płaszczyźnie ciągu przy roboczych prędkościach obrotowych wirnika, zaś w zakresie małych prędkości zanik siły odśrodkowej powodował włączanie urządzenia, które blokowało minimalny kąt przyporu na wysokości 0 deg. Rozwiązanie to w większości badanych przypadków okazało się skuteczne. W sytuacjach krytycznych tor końca łopaty podniósł się o ponad 1,5 metra. Można także zauważyć podobną skuteczność zapobieganiu kolizyjności łopaty i belki ogonowej w wyniku zmniejszania skoku ogólnego i wychylenia drążka sterowego do przodu po ustawieniu śmigłowca nosem pod wiatr.

Przeprowadzone analizy mogą stanowić podstawę do sporządzenia pewnego rodzaju instrukcji dla pilotów śmigłowców operujących w różnych, często niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Ze względu na to, że pilot obsługujący śmigłowiec musi w czasie rzeczywistym odbierać i analizować dużą ilość informacji, toteż obliczenia wykonane w niniejszej pracy miały charakter bardziej jakościowy niż ilościowy. Pozwoliłoby to pilotowi na szybka ocenę zagrożenia i prawidłowe dobranie czynności przeciwdziałających. Nie zawsze bowiem pilot dysponować będzie precyzyjnymi informacjami na przykład na temat prędkości wiatru. Sytuacje takie mogą nastąpić na przykład w czasie lądowania w terach przygodnych podczas takich misji jak chociażby misje ratunkowe.

Wykonane analizy wymagają potwierdzeń empirycznych. Badania doświadczalne można przeprowadzić na modelu takim jak ten przedstawiony w rozdziale pierwszym – w tunelu aerodynamicznym lub na wieży do badań wirników w skali naturalnej. Badając zagrożenie uderzenia łopaty o strukturę śmigłowca belkę ogonową można zastąpić promieniem lasera. Wówczas jednoznacznie będzie można określić moment kolizji, który nastąpi w chwili, gdy obracająca się łopata przerwie wiązkę promieniowania. Badania te jak i wyciągnięte na ich podstawie wnioski mogą mieć znaczący wpływ na podniesienie bezpieczeństwa użytkowania śmigłowców w różnych warunkach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Bronowicz J.:** *Analiza możliwości kolizji łopaty wirnika nośnego z belką ogonową śmigłowca PZL Sokół*. Prace Instytutu Lotnictwa 2000, nr 1(160).
- [2] **Sacewicz I.:** *Wpływ parametrów łopaty wirnika nośnego śmigłowca na jej widmo drgań własnych*. Praca przejściowa, Lublin 2007.
- [3] **Stępniewski W.:** *Ciche wiroplaty*. Biblioteka Naukowa Instytutu Lotnictwa, Warszawa 2002.
- [4] **Szabelski K. i in.:** *Wstęp do konstrukcji śmigłowców*. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [5] **Szumański K.:** *Model symulacyjny dynamiki wirnika śmigłowca w granicznych, nieustalonych stanach lotu*. Prace Instytutu Lotnictwa 1982, nr 89.

I. Sacewicz

ANALYSIS OF THE IMPACT OF HELICOPTER SELECTED PARAMETERS ON ROTOR BLADE DYNAMIC RESPONSE DURING WIND GUSTS AT THE LIFTING ROTOR LOW SPEEDS

Summary

This paper analyzes the influence of changes of certain helicopter parameters on the dynamics of rotor blade motion in the case of severe atmospheric gusts at low speeds of the lifting rotor. Such conditions favor the formation of aeroelastic phenomenon called "blade sailing". The main risk associated with this issue is the possibility of rotor blade collision with tailrotor boom. The primary objective of this analysis is an appropriate choice of selected parameters to maximally separate the tip of blade located at the rotor rear azimuth from the transmission shaft guards. This applies to such situations, like the lifting rotor winding up or winding down with the occurrence of the wind gusts. In the paper are examined horizontal gusts, vertical gusts and sloping gusts. The calculations used computer software developed at the Institute of Aviation in Warsaw, Poland. On the sailing blades phenomenon are particularly vulnerable helicopters operating from the decks of ships and unshaded landing pads such as drilling platforms or roofs of tall buildings. The analysis was performed on the example of the W-3 Sokół helicopter. It may be the basis for a future investigations to eliminate the risk of impact of the rotor blade with tailrotor boom by altering the relevant helicopter parameters.

И. Сацевичь

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗБРАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТОЛЁТА НА ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТВЕТ ЛОПАСТИ ВО ВРЕМЯ ПОРЫВОВ ВЕТРА ПРИ МАЛЫХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ НЕСУЩЕГО ВИНТА

Резюме

В статье представлен анализ возможности влияния изменений некоторых параметров вертолётa на динамику движения лопасти, в случае сильных порывов ветра, при малых частотах вращения несущего винта. В таких условиях может выступать аэроэластическое явление называемое „плаванием лопастей” (ang. Blade sailing). Главная опасность связанная с этим явлением это возможность коллизии лопасти с хвостовой балкой. Главная цель предусмотренного анализа заключается в правильном подборе избранных параметров, так чтобы максимально отодвинуть конец лопасти находящейся на заднем азимуте от крышки вала трансмиссии. Относится это к таким случаям как: раскрутка и торможение несущего винта при порывах ветра. В статье рассматриваются порывы горизонтальные, вертикальные и под углом. Для проведения вычислений была использована компьютерная программа, разработанная в Институте Авиации в Варшаве. На явление плавления лопастей подвергаются в основном вертолётy маневрирующие на палубных кораблях и на незащищенных от ветра посадочных площадок таких как, на морских нефтяных платформах или на крышах высоких зданий. Анализ был проведён на примере вертолётa W-3 Sokół. Этот анализ может служить базой для проведения испытаний нацеленных на устранение опасности удара лопасти в хвостовую балку, путём изменения некоторых параметров вертолётa.