

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Aerostrukturalna optymalizacja wirnika nośnego śmigłowca z uwzględnieniem ograniczeń masowych i wytrzymałościowych

W związku z planowanym rozwojem konstrukcji śmigłowców wojskowych w ramach Sojuszu Północnoatlantyckiego, w ramach programu NGRC (*Next Generation Rotorcraft Capability*), rozpisanego przez NSPA (*NATO Support and Procurement Agency*) w 2021, w Wojskowej Akademii Technicznej podjęto badania mające na celu uzyskanie zdolności do projektowania nowoczesnych wiroplątów odpowiadających wymaganiom operacyjno-technicznym przewidywanym do osiągnięcia na lata 2030-2050.

Badania poprzedzone zostały analizą charakterystyk taktyczno-technicznych istniejących konstrukcji śmigłowcowych. W ramach analizy dokonano porównania niemal wszystkich obecnie eksploatowanych wiroplątów. Śmigłowce zostały porównane zarówno pod kątem ich parametrów wymiarowych, jak i osiągowych. Porównawczo zestawiono również wskaźniki odnoszące się do przeznaczenia oraz maksymalnej masy startowej. Do porównania konstrukcji wykorzystano zarówno parametry geometryczne (bezwzględne wymiary zewnętrzne), jak i odpowiednie współczynniki bezwymiarowe. Współczynniki te umożliwiają porównanie osiągow konstrukcji różniących się pod względem geometrycznym, lecz przeznaczonych do realizacji podobnych zadań. Wyniki analizy porównawczej umożliwiają określenie potencjalnych kierunków rozwoju konstrukcji oraz wskazanie deficytów projektowych, które niniejsza praca może wypełnić.

Parametry wyodrębnione w ramach analizy konstrukcji są podstawą do określenia modelu matematycznego optymalizacji wielokryterialnej wirnika nośnego. W pracy przedstawiono proces formułowania modelu matematycznego optymalizacji. Zaproponowano postać funkcjonału optymalizacji wielokryterialnej, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz parametry projektowe traktowane jako niezmiennicze. W dalszej fazie badań zaprezentowano metodę wyznaczania ekstremalnych wartości funkcjonału poprzez użycie metody systematycznego przeszukiwania z wykorzystaniem technik komputerowych.

Podstawą do analizy numerycznej zagadnienia jest przygotowanie parametrycznego modelu pojedynczej łopaty wirnika nośnego. Parametryzacja geometrii łopaty jest realizowana z wykorzystaniem środowiskowego języka programowania GRIP (*Graphics Interactive Programming*). Dzięki użyciu tego języka możliwe jest skryptowe programowanie obiektów geometrycznych z jednoczesną deklaracją parametrów masowych takich jak środek ciężkości, czy momenty bezwładności. Równolegle z wykorzystaniem metod komputerowych

wykonywane są obliczenia analityczne, które pozwalają na wyliczenie trymowania łopat wirnika nośnego tj. określenia funkcji zmiany kątów skoku ogólnego i okresowego w zależności od azymutalnego położenia łopat. Otrzymane wyniki służą typowaniu pożądanych parametrów symulacji, jak również wygenerowaniu modeli parametrycznych wirnika nośnego wraz z odpowiednimi domenami płynowymi oraz ich strukturą wewnętrzną.

W kolejnej fazie badań zrealizowano analizy numeryczne obejmujące:

- analizę zagadnienia stacjonarnego dla jednej łopaty wirnika z opływem symulowanym dla warunków ruchu obrotowego,
- analizę n-łopatowego wirnika z odwzorowaniem zarówno ruchu obrotowego wirnika jak i ruchu postępowego śmigłowca; dodatkowo uwzględniono zmianę skoku okresowego łopat.

Do przygotowania symulacji wykorzystano zapisy parametrów lotu rzeczywistego śmigłowca oraz posłużono się modelem geometrycznym jego łopat. Porównanie wyników obliczeń z rzeczywistymi osiąganymi śmigłowca potwierdziło wiarygodność zastosowanej metody.

W następnym etapie przeprowadzono analizy wytrzymałościowe łopaty wirnika nośnego wykonując stosowne obliczenia analityczne oraz analizy numeryczne MES. Zaprezentowano sposób wstępnej optymalizacji struktury z wykorzystaniem języka GRIP. Do zadania obciążeń wykorzystano rozkład sił będący wynikiem symulacji CFD z poprzedniego etapu.

W kolejnej fazie badań modelowych dokonano powiązania obliczeń numerycznych poprzez zastosowanie metody FSI (*Fluid-Structure Interaction*). Wyniki analiz CFD były transferowane do modelu strukturalnego. Następnie odkształcenia spowodowane obciążeniami były zwrótnie przekazywane do modelu CFD i uwzględniane w modyfikacji siatki obliczeniowej. Proces realizowany był iteracyjnie w określonych krokach czasowych. Odwzorowano w ten sposób wpływ odkształceń łopat wirnika na generowaną siłę nośną.

Modele aproksymujące własności aerodynamiczne i strukturalne wirnika nośnego wykorzystane zostają potem do optymalizacji wielokryterialnego funkcjonu. Parametry zmienne w symulacji są jednocześnie zmiennymi decyzyjnymi. Algorytm uruchamiany jest iteracyjnie do momentu uzyskania zbioru rozwiązań optymalnych. Ostatecznie wybierane są rozwiązania najbardziej użyteczne zgodnie z narzuconą funkcją preferencji.

W podsumowaniu wskazano na przydatność i oryginalność metody w zastosowaniu do projektowania wirnika śmigłowca. Wykazano, że otrzymane wyniki obliczeń analitycznych i komputerowych są wiarygodne i mają zastosowanie w kontekście poszukiwania nowych rozwiązań projektowych. Modele geometryczne mogą zostać wykorzystane w dalszych etapach projektowania i posłużyć jako baza dla kolejnych etapów rozwojowych. Podkreślono także aspekt oryginalności metody ze względu na sposób realizacji zadania przy jednoczesnej

redukcji czasu obliczeń wskutek rozdzielenia symulacji na dwa etapy. Wskazano również dalsze możliwe kierunki rozwoju i możliwości aplikacyjnego wykorzystania wyników.