

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242489 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **430432**

(22) Data zgłoszenia: **2019.06.28**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2019.12.02 BUP 25/2019**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.27 WUP 09/2023**

(51) MKP:

**B64C 11/30** (2006.01)

**B64C 11/44** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:  
**KSENIA SIADKOWSKA, Lublin, PL**  
**ZBIGNIEW CZYŻ, Lublin, PL**  
**KRZYSZTOF SKIBA, Przedmieście**  
**Szczebrzeszyńskie, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**Maciej Nowicki, Lublin, PL**

(54) Tytuł:

**Dźwigar łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia**

**PL 242489 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest dźwigar łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia, zwłaszcza do wirników nośnych śmigłowca.

Dotychczas znane są łopaty wykonane z metalowych dźwigarów pokryte kompozytem, łopaty drewniane, łopaty metalowe lub łopaty kompozytowe. Ponadto dostępne łopaty występują w postaci prostokątnej lub zwężanej. Mogą być również skręcone liniowo, podwójnie-liniowo lub nieliniowo. Istnieją różne sposoby zwiększania osiągnięć aerodynamicznych wiroplątów, mające na celu modyfikację łopat ich wirników.

Technologie aktywnego sterowania łopaty (Active Control Rotor Blade) oraz aktywnego skręcania łopaty (Active Twist Rotor Blade) opisywane są głównie w publikacjach naukowych. Z publikacji M. Miller, J. Narkiewicz, W. Kania, T. Czechyra, „The Application of Helicopter Rotor Blade Active Control Systems for Noise and Vibration Reduction and Performance Improvement” no. 184, s. 164–180 znane są rozwiązania konstrukcyjne „inteligentnych” wirników (Smart Rotor) poprzez zastosowanie w aktywnym sterowaniu łopat elementów piezoelektrycznych. Elementy te instalowane są wewnątrz konstrukcji łopaty jako piezo-siłowniki lub piezo-kompozyty. Istnieje możliwość sterowania kątem wychylenia dodatkowej klapki (na krawędzi spływu lub końcówce łopaty) lub odkształcania fragmentu łopaty w celu jej skręcenia. Aktywne sterowanie łopaty może dotyczyć jej fragmentu lub całej jej długości. W pracy J.J. Epps, I. Chopra, „In-flight tracking of helicopter rotor blades using shape memory alloy actuators” Smart Mater. Struct., vol. 10, no. 1, 2001, opisano koncepcję zastosowania drutów SMA jako elementów wzmacniających strukturę nośną łopaty śmigłowca. W pracy Lachenal, S. Daynes, and P. M. Weaver, „Review of morphing concepts and materials for wind turbine blade applications” Wind Energy, vol. 16, pp. 283–307, 2013 zwrócono uwagę na dotychczas prowadzone badania i konsekwencje zastosowania materiałów inteligentnych, a mianowicie zmniejszenie oporu aerodynamicznego łopat, ograniczenie hałasu i wibracji, ale także możliwość pojawienia się turbulencji. Wskazano na możliwość zmniejszenia obciążeń skrętnych łopat śmigłowca z siłownikami piezoelektrycznymi o 10%. Ważny jest brak ruchomych elementów i uproszczenie konstrukcji.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr US 2017036752 (A1) znana jest aktywna łopata śmigła ze stopem z pamięcią kształtu. Przykładowa łopata zawiera korpus śmigła, płytę sprzężoną z korpusem śmigła, człon przenoszący moment obrotowy i siłownik ze stopu z pamięcią kształtu (SMA). Siłownik SMA ma dalszy koniec i bliższy koniec. Dalszy koniec siłownika SMA jest przymocowany do elementu przenoszącego moment obrotowy. Bliższy koniec siłownika SMA jest połączony z korpusem śmigła. Siłownik SMA jest skonfigurowany do przykładania momentu obrotowego do bliższego końca członu przenoszącego moment obrotowy w konsekwencji generowanego ciepła do siłownika SMA. Siłownik SMA jest owinięty spiralą podgrzewającą, na skutek której doznaje odkształcenia.

Z opisu patentowego nr US 6220550 (B1) znane jest urządzenie służące do odkształcania i poruszania powierzchniami aerodynamicznymi lub hydrodynamicznymi, w tym powierzchniami łopat wirników. Elementy zginane są i blokowane w jednym z co najmniej trzech stabilnych położeń, w którym urządzenie, a zatem powierzchnie aerodynamiczne lub hydrodynamiczne, są utrzymywane przez siłę wytworzoną przez sprężyste odkształcenie zginanych członów. Ponieważ elementy zginane są zawsze elastycznie odkształcane, urządzenie zatrzymuje się pomiędzy dyskretnymi, stabilnymi pozycjami i jest mocno trzymane w każdym z nich. W innym przykładzie wykonania można zastosować więcej elementów zginających w celu zapewnienia dodatkowych stabilnych pozycji. W jednym zastosowaniu, urządzenie aktywne jest wykorzystywane jako tylna zakładka krawędziowa dla łopaty wirnika śmigłowca lub śmigła ogonowego do tłumienia drgań. Urządzenie może być uruchamiane ręcznie lub elektrycznie za pomocą drutów ze stopu z pamięcią kształtu, aby zapiąć elementy giętkie w ich różnych stabilnych położeniach.

Z opisu patentowego nr US 6135713 (A) znana jest aktywnie sterowana łopata wirnika śmigłowca zawierająca klapę z krawędzią spływu, uruchamianą przez szybko działający siłownik. Lekki, wytrzymały, szybko działający siłownik odpowiedni do stosowania jako siłownik klapowy składa się z pary siłowników kolumnowych wykonanych z inteligentnego materiału, takiego jak piezoelektryczny, magnetostrykcyjny, ze stopu z pamięcią kształtu lub innego materiału, który wykazuje zmianę kształtu pod wpływem bodźca zewnętrznego. Każdy z siłowników kolumn składa się z wielu piezoelektrycznych elementów ceramicznych połączonych ze sobą w pojedyncze kolumny. Napięcie różnicowe przyłożone do kolumn powoduje wydłużenie różnicowe siłowników kolumny, co powoduje, że rura siłownika obraca

się wokół osi prostopadle do czubków siłowników kolumny. Ruch rury siłownika jest sprzężony przez połączenie z klapą łopaty wirnika. Przeguby sferyczne są rozmieszczone pomiędzy siłownikami kolumny a rurą siłownika, aby zapobiec przenoszeniu znacznych obciążeń zginających na siłowniki kolumny, a dla każdego z siłowników kolumny przewidziane jest również podparcie środkowe w celu ograniczenia wielkości przyspieszeń wywołanych obciążeniami zginającymi, co w przeciwnym razie prowadziłyby do zniszczenia na skutek rozciągania ceramicznych elementów siłownika.

Z opisu patentowego nr PL 208709 (B1) znana jest łopata turbiny wiatrowej oraz sposób montażu laminowanego profilu łopaty, których istota polega na tym, że belka ma co najmniej jedną pierwszą część i co najmniej jedną drugą część. Pierwsza część ma co najmniej jedną część korpusu połączoną z co najmniej jedną powierzchnią montażową i z co najmniej jedną ścianką wsporczą. Części są dopasowane za pomocą środków dopasowywania wysokości i połączone ze sobą powierzchniami montażowymi, a laminowane profile są zamontowane dookoła belki i przyklejone do odpowiednich ścianek wsporczych.

Istotą dźwigara łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia posiadającego dźwigar, wypełnienie łopaty, elementy z pamięcią kształtu jest to, że wewnątrz łopaty znajduje się dźwigar składający się z belki pionowej oraz połączonej z nią w jej środkowej części belki poziomej. Z górnym końcem belki pionowej połączona jest połączeniem odkształcalnym środkowa część górnej poprzeczki, natomiast z dolnym końcem belki pionowej połączona jest połączeniem odkształcalnym w środkowej części dolna poprzeczka. Pomiedzy skrajnymi końcami belki poziomej a górną poprzeczką i pomiedzy skrajnymi końcami belki poziomej i dolną poprzeczką znajdują się elementy z materiału z pamięci kształtu. Elementy z pamięcią kształtu znajdujące się po jednej stronie belki poziomej osadzone są na prowadnicy, zaś każda z prowadnic osadzona jest w otworze znajdującym się w belce poziomej.

Korzystnym skutkiem dźwigara łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia według wynalazku jest to, że umożliwia ona sterowanie każdej sekcji oddzielnie (niezależnie). Taka łopata jest uniwersalna pod względem dostosowania kształtu (kąta skręcenia) do fazy lotu (zawis, lot z prędkością przelotową itp.), co wpływa bezpośrednio na zwiększenie operacyjności wiroplata wykorzystującego proponowane rozwiązanie. Dźwigar łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia zwłaszcza do wirników nośnych śmigłowca umożliwia optymalizację ilorazu współczynnika siły nośnej do współczynnika siły oporu celem maksymalizacji doskonałości aerodynamicznej. Optymalizacja cech aerodynamicznych pozwala zredukować obciążenia generowane cyklicznie przez wirnik, w zależności od fazy lotu. Szczególnie istotny wpływ będzie to miało na efekt oderwania strug powietrza od powierzchni łopaty w lotach postępowych. Obniżenie amplitud obciążeń zmiennych znacząco podnosi wytrzymałość zmęczeniową konstrukcji, a tym samym obniża masę zespołów współpracujących, takich jak popychacze, pierścienie stałe i obrotowe tarczy sterującej. Zastosowanie odpowiednio zaprogramowanych metastruktur materiałów z pamięcią kształtu zmniejszy zapotrzebowanie na moc, dzięki czemu zwiększy się zasięg statku powietrznego i/lub wydłuży czas zawisu.

Przedmiot według wynalazku został bliżej objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

- fig. 1 – widok izometryczny dźwigara z płatem nośnym,
- fig. 2 – przekrój poprzeczny łopaty z dźwigarem,
- fig. 3 – przekrój poprzeczny dźwigara w pozycji wejściowej,
- fig. 4 – przekrój poprzeczny dźwigara w pozycji odkształconej.

Dźwigar łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia w przykładzie wykonania składa się z belki pionowej 2a oraz połączonej z nią w jej środkowej części belki poziomej 2b. Z górnym końcem belki pionowej 2a połączona jest połączeniem odkształcalnym środkowa część górnej poprzeczki 2c, natomiast z dolnym końcem belki pionowej 2a połączona jest połączeniem odkształcalnym w środkowej części dolna poprzeczka 2d. Pomiedzy skrajnymi końcami belki poziomej 2b a górną poprzeczką 2c i pomiedzy skrajnymi końcami belki poziomej 2b i dolną poprzeczką 2d znajdują się elementy z materiału z pamięci kształtu 1a, 1b, 1c, 1d w postaci sprężyny wykonanej ze stopu metalicznego niklu i tytanu. Elementy z pamięcią kształtu od strony krawędzi natarcia łopaty wirnika 1a, 1d znajdujące się po jednej stronie belki poziomej 2a i osadzone są na prowadnicy 3a. Elementy z pamięcią kształtu od strony krawędzi spływu łopaty wirnika 1b, 1c znajdujące się po jednej stronie belki poziomej 2a i osadzone są na prowadnicy 3b.

Zasada działania urządzenia według wynalazku polega na tym, że poprzez zmianę temperatury elementów z materiału z pamięcią kształtu 1a, 1b, 1c, 1d dźwigar 2 składający się z belki poziomej 2b,

belki pionowej 2a, górnej poprzeczki 2c oraz dolnej poprzeczki 2d doznaje skręcenia. Elementy z materiału z pamięcią kształtu 1a i 1c poprzez podłączenie ich do zasilania wykazują właściwości sprężyny naciskowej, natomiast elementy z materiału z pamięcią kształtu 1d i 1b wykazują właściwości sprężyny naciągowej. Górna poprzeczka 2c zostaje odkształcona względem położenia wyjściowego, będąc od strony elementu z materiału z pamięcią kształtu 1a odpychana od belki poziomej 2b i przyciągana drugim końcem od strony elementu z materiału z pamięcią kształtu 1b. Podczas gdy górna poprzeczka 2c jest odpychana od belki poziomej 2b, to dolna poprzeczka 2d jest przyciągana jednym końcem od strony elementu z materiału z pamięcią kształtu 1d i odpychana drugim końcem od strony elementu z materiału z pamięcią kształtu 1c. Poprzez zastosowanie elementów z materiału z pamięcią kształtu 1a, 1b, 1c, 1d o różnej charakterystyce i właściwościach, a także poprzez zróżnicowanie ich zasilania, następuje skręcenie łopaty na jej długości. Elementy z pamięcią kształtu 1a, 1d i 1b, 1c znajdujące się po jednej stronie belki poziomej 2a osadzone są na prowadnicy 3a, 3b, które łączą ze sobą górną poprzeczkę 2c oraz dolną poprzeczkę 2d, gwarantując tym samym ich zmianę położenia o taki sam kąt. Każda z prowadnic 3a i 3b osadzona jest w otworze znajdującym się w belce poziomej 2b.

### Zastrzeżenie patentowe

1. Dźwigar łopaty wirnika nośnego o zmiennym kącie skręcenia posiadający dźwigar, wypełnienie łopaty oraz elementy z materiału z pamięcią kształtu **znamienny tym**, że wewnątrz łopaty znajduje się dźwigar (2) składający się z belki pionowej (2a) oraz połączonej z nią w jej środkowej części belki poziomej (2b), **zaś** z górnym końcem belki pionowej (2a) połączona jest połączeniem odkształcalnym środkowa część górnej poprzeczki (2c), natomiast z dolnym końcem belki pionowej (2a) połączona jest połączeniem odkształcalnym w środkowej części dolna poprzeczka (2d), **przy czym** pomiędzy skrajnymi końcami belki poziomej (2b) a górną poprzeczką (2c) i pomiędzy skrajnymi końcami belki poziomej (2b) i dolną poprzeczką (2d) znajdują się elementy z materiału z pamięcią kształtu (1a, 1b), (1c, 1d) **przy czym** elementy z pamięcią kształtu (1a, 1d), (1b, 1c) znajdujące się po jednej stronie belki poziomej (2a) osadzone są na prowadnicy (3a), (3b), **zaś** każda z prowadnic (3a), (3b) osadzona jest w otworze znajdującym się w belce poziomej (2b).

### Rysunki

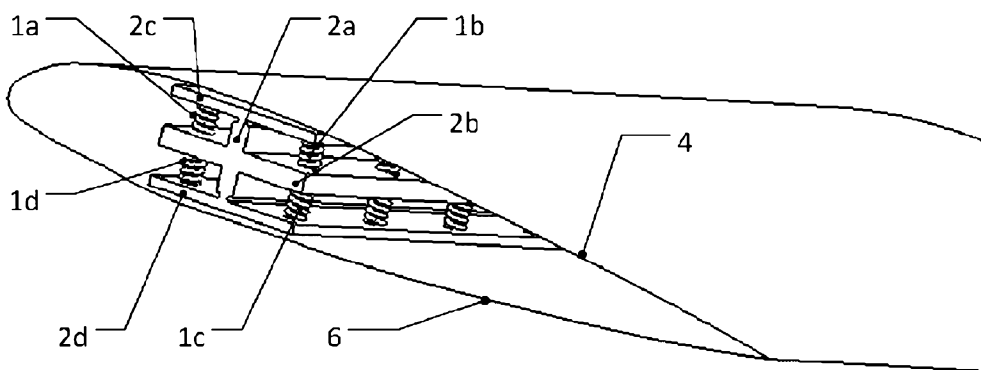


Fig. 1

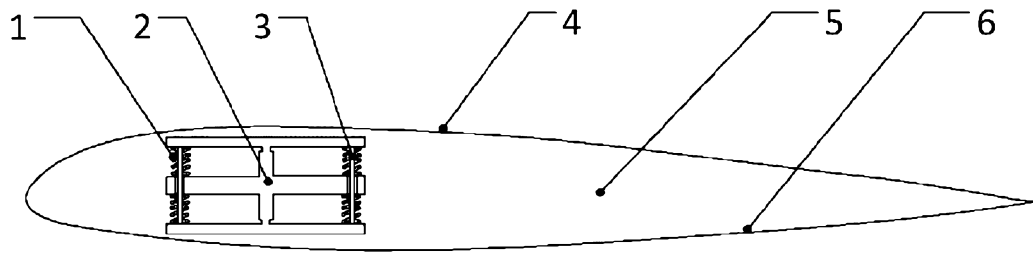


Fig. 2

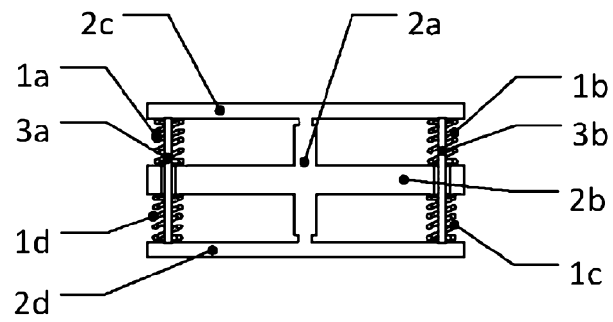


Fig. 3

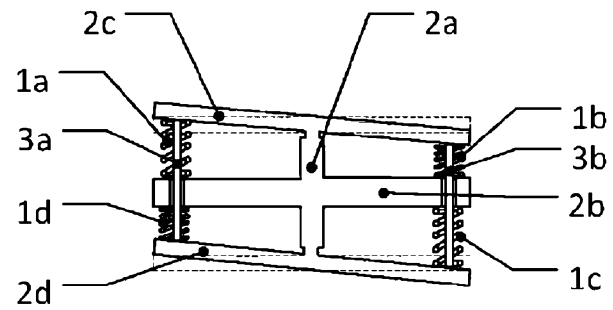


Fig. 4