

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242670 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **430439**

(22) Data zgłoszenia: **2019.06.28**

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

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.04.03 WUP 14/2023**

(51) MKP:

**B64C 11/30** (2006.01)

**B64C 11/44** (2006.01)

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

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

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

(54) Tytuł:

**Łopata o regulowanym kącie skręcenia**

**PL 242670 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest łopata o regulowanym kącie skrzywienia, 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 skrzycone 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 skrzywania łopaty (Active Twist Rotor Blade) opisywane są głównie w publikacjach naukowych. Z publikacji M. Miller, J. Narkiewicz, W. Kania, T. Czechyry, "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 skrzywienia. 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 kolumnowych składa się z wielu piezoelektrycznych elementów ceramicznych połączonych ze sobą w pojedyncze kolumny. Napięcie różnicowe przyłożone do kolumn powoduje wydłużenie różnicowe siłowników kolumnowych, co powoduje, że rura siłownika obraca się wokół osi prostopadle do czubków siłowników kolumnowych. 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 łopata o regulowanym kącie posiadającej dźwigar, wypełnienie, poszycie i elementy z materiału z pamięcią kształtu jest to, że powierzchnia zewnętrzna dźwigara w przekroju poprzecznym posiada kształt okręgu, a na dźwigarze od strony okucia zamocowane są obrotowo panewki które połączone są na stałe swoimi zewnętrznymi powierzchniami z wypełnieniem łopaty. Pierwsze panewki posiadają w przekroju kształt zbliżony do krzyża. Drugie panewki posiadają w przekroju kształt podwójnego teownika. Pomiędzy poziomą belką pierwszych panewek a górnymi i dolnymi poprzeczkami drugich panewek znajdują się elementy z materiału pamięcią kształtu odkształcające się w kierunku ich osi.

Korzystnie dźwigar w przekroju poprzecznym posiada kształt pierścienia, w którego wnętrzu znajdują się przewody elektryczne połączone z elementami z pamięcią kształtu wywołujące moment skręcający albo dźwigar w przekroju poprzecznym posiada kształt koła.

Korzystnym skutkiem łopaty o regulowanym 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. Łopata o regulowanym 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 – przedstawia przekrój wzdłużny łopaty z dźwigarem o przekroju poprzecznym w kształcie koła,
- fig. 2 – przedstawia przekrój poprzeczny łopaty z dźwigarem o przekroju poprzecznym w kształcie koła,
- fig. 3 – widok izometryczny łopaty z dźwigarem o przekroju poprzecznym w kształcie pierścienia.
- fig. 4 – widok izometryczny łopaty z dźwigarem o przekroju poprzecznym w kształcie koła.

Łopata o regulowanym kącie skręcenia w przykładach wykonania posiada dźwigar 1a, 1b, który w przekroju poprzecznym posiada kształt okręgu i na którym od strony okucia 2 zamocowane są obrotowo panewki 3a, 3b, 3c, 3d, które połączone są na stałe swoimi zewnętrznymi powierzchniami z wypełnieniem łopaty. Pierwsze panewki 3a, 3c posiadają w przekroju kształt zbliżony do krzyża, zaś drugie panewki 3b posiadają w przekroju kształt podwójnego teownika. Pomiędzy poziomą belką pierwszych panewek 3a, 3c a górnymi i dolnymi poprzeczkami drugich panewek 3b znajdują się elementy 4 z materiału pamięcią kształtu odkształcające się w kierunku ich osi. Dźwigar 1a łopaty w pierwszym przykładzie wykonania w przekroju poprzecznym posiada kształt pierścienia, w którego wnętrzu znajdują się przewody elektryczne 5 połączone z elementami z pamięcią kształtu 4 wywołujące moment skręcający. Dźwigar 1b łopaty w drugim przykładzie wykonania w przekroju poprzecznym posiada kształt koła.

Zasada działania urządzenia według wynalazku polega na tym, że poprzez zmianę temperatury elementów 4 wykonanych z materiału z pamięcią kształtu następuje zmiana ich długości w ten sposób,

że elementy 4 wykonanych z materiału z pamięcią kształtu naprzeciwległe ułożone na pierwszej cięciwy A wydłużają się zaś elementy 4 wykonanych z materiału z pamięcią kształtu ułożone na drugiej cięciwie B skracają się.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Łopata o regulowanym kącie skręcenia posiadająca dźwigar, wypełnienie, poszycie i elementy z materiału z pamięcią kształtu **znamienna tym**, że powierzchnia zewnętrzna dźwigara (1) w przekroju poprzecznym posiada kształt okręgu, a na dźwigarze (1) od strony okucia (2) zamocowane są obrotowo panewki (3a), (3b), (3c), (3d), które połączone są na stałe swoimi zewnętrznymi powierzchniami z wypełnieniem łopaty, **przy czym** pierwsze panewki (3a, 3c) posiadają w przekroju kształt zbliżony do krzyża, **zaś** drugie panewki (3b) posiadają w przekroju kształt podwójnego teownika, **natomiast** pomiędzy poziomą belką pierwszych panewek (3a, 3c) a górnymi i dolnymi poprzeczkami drugich panewek (3b) znajdują się elementy (4) z materiału pamięcią kształtu odkształcające się w kierunku ich osi.
2. Łopata wg zastrz. 1 **znamienna tym**, że dźwigar (1a) w przekroju poprzecznym posiada kształt pierścienia, w którego wnętrzu znajdują się przewody elektryczne (5) połączone z elementami z pamięcią kształtu (4) wywołujące moment skręcający.
3. Łopata wg zastrz. 1 **znamienna tym**, że dźwigar (1b) w przekroju poprzecznym posiada kształt koła.

Rysunki

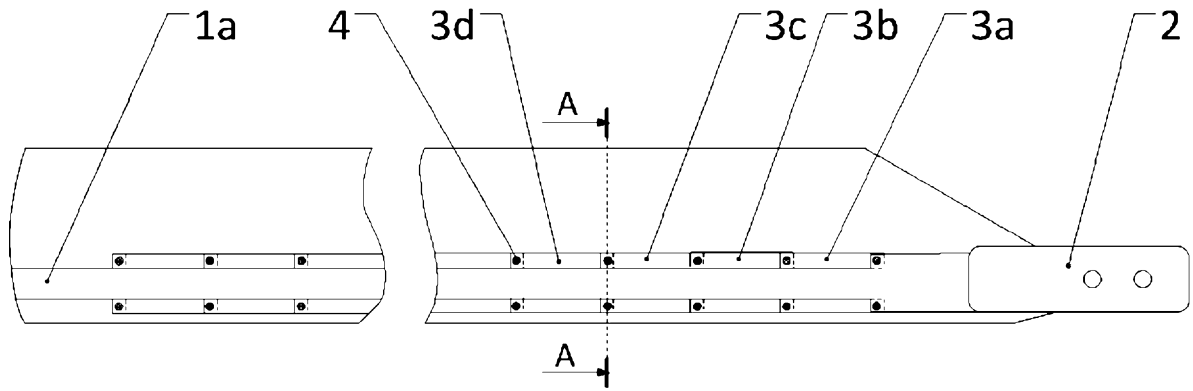


Fig. 1

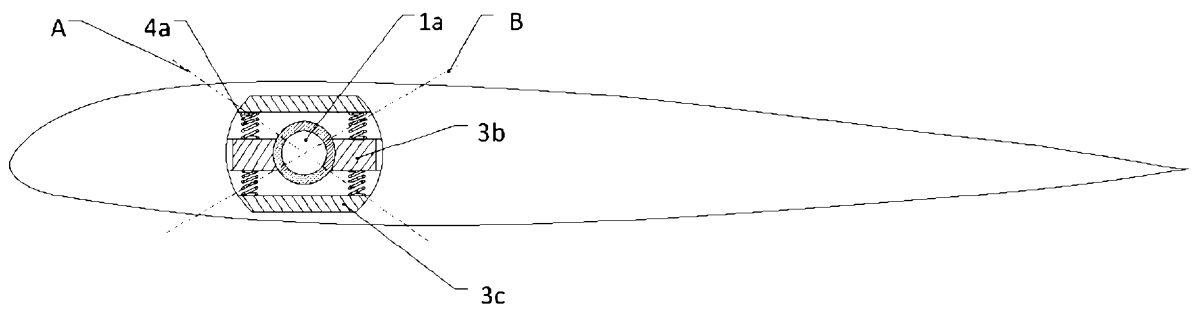


Fig. 2

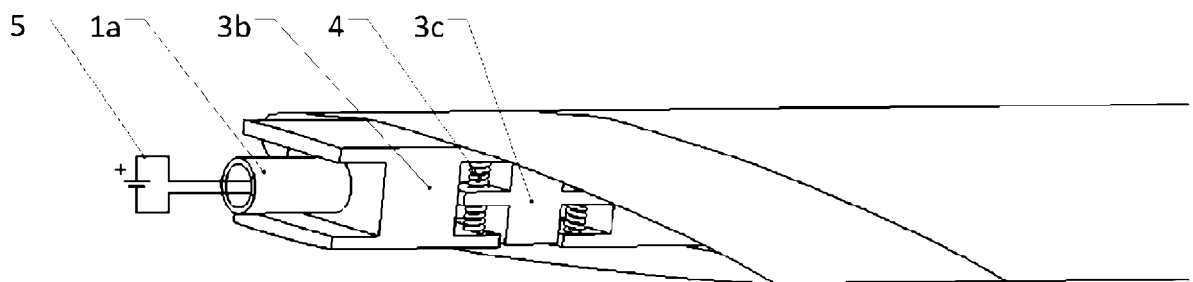


Fig. 3

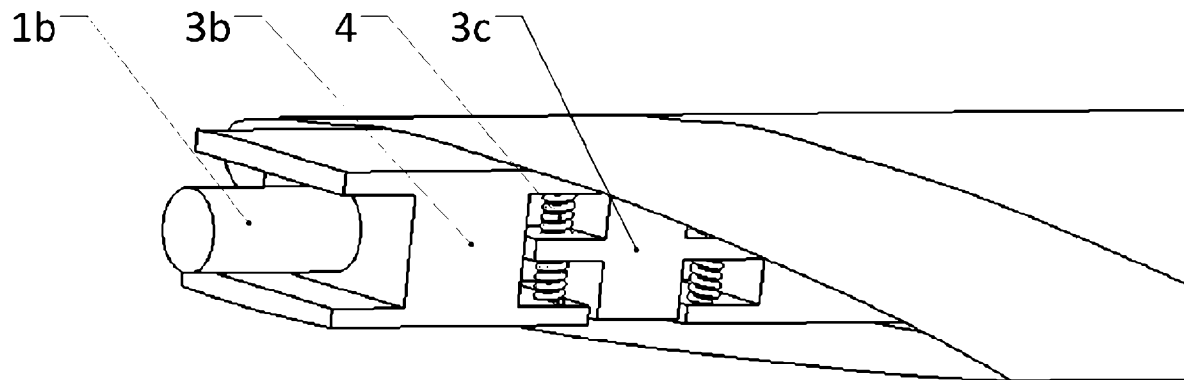


Fig. 4