

## **Sterowiec o zmiennej objętości oraz sposób zmiany położenia sterowca w pionie**

Przedmiotem wynalazku jest sterowiec stratosferyczny o zmiennej objętości i sposób zmiany położenia sterowca w pionie.

Dotychczas wykorzystywane sterowce stratosferyczne posiadają całkowicie sztywną, półsztywną lub podatną (elastyczną) konstrukcję i są wypełnione gazem lżejszym niż otaczające powietrze, takim jak hel lub wodór. Sterowiec unoszony jest dzięki różnicy pomiędzy siłą wyporu zależną od jego objętości i zewnętrznego ciśnienia oraz siłą ciężkości. W miarę wzrostu wysokości sterowca zmniejsza się zewnętrzne ciśnienie powietrza, co powoduje spadek generowanej siły wyporu oraz utrudnia lub uniemożliwia kontynuację procesu wznoszenia. Zjawisku temu można przeciwdziałać poprzez stopniowe zmniejszenie masy własnej sterowca (np. poprzez upuszczanie wypełniającego go gazu) lub stopniowe zwiększenie jego objętości. Zwiększenie objętości wraz ze wznoszeniem może następować samoistnie na skutek podatności materiału lub być wynikiem kontrolowanego mechanicznie (np. przy pomocy aktywnych węzłów) rozkładania aerostatu. W żadnym ze znanych rozwiązań technicznych zwiększanie objętości aerostatu nie jest jednak wywoływane przez precyzyjnie kontrolowane zmiany wewnętrznego ciśnienia gazu, realizowane z wykorzystaniem balonety, sprężarki i elektrozaworu.

Z patentu US6793180B2 znane jest rozwiązanie sterowca, którego powłoka wyposażona jest w sprężyste listwy, które po naprężeniu i odkształceniu oraz nałożeniu odpowiednich więzów nadają powłoce jej eliptyczny kształt. Rozwiązanie to umożliwia uzyskanie półsztywnej powłoki, która może być złożona po usunięciu z jej wnętrza gazu. Patent nie przewiduje sterowania objętością powłoki w czasie lotu sterowca.

W publikacji WO2014/096559 A1 przedstawiono rozwiązanie sterowca o zmiennej objętości, który przeznaczony jest do lotów z dużymi prędkościami poziomymi. Kadłub sterowca wykonany jest ze sztywnych, nachodzących na siebie powłok metalicznych połączonych przy pomocy deformowalnych kołnierzy w kształcie litery S. Zmiana objętości sterowca w celu osiągnięcia zadanej wysokości lotu następuje poprzez wzajemne rozsunięcie sztywnych segmentów kadłuba w poziomie, które kompensowane jest przez deformację kołnierzy.

Z publikacji WO 2007/062440 A1 znany jest sterowiec o zmiennej objętości składający się ze sztywnej gondoli oraz elastycznej powłoki o zmiennej objętości, która w stanie nienapełnionym umieszczona jest całkowicie w gondoli. Zmiana objętości części nośnej sterowca następuje poprzez napełnianie powłoki gazem lżejszym od powietrza oraz kontrolę jej kształtu poprzez sieć ortogonalnych lin mocowanych do sztywnej gondoli.

W zgłoszeniu FR2856654 A1 przedstawiono koncepcję sterowca o powłoce z elastycznego materiału, który podzielony jest na część przednią, część tylną oraz określoną liczbę sekcji pośrednich, które mogą być składane lub rozkładane w celu zapewnienia zmian objętości użytkowej sterowca. Rozwiązanie proponujące podział sterowca na wiele połączonych ze sobą elastycznie zamkniętych sekcji zawarto w zgłoszeniu GB2264092A. Rozwiązanie to ma na celu umożliwienie wydzielenia pojedynczej sekcji sterowca w celu dokonania jej naprawy na ziemi.

Ze zgłoszenia CN103803049 (A) znane jest rozwiązanie zapewniające kontrolę objętości sterowca, w którym zastosowano układ wewnętrznego cięgna ze sprężyną. Zgodnie z opisem rozwiązanie to nie pozwala na aktywną zmianę objętości a jedynie zapewnia przeniesienie nadmiernych obciążeń wywołanych zmianami temperatury i ciśnienia gazu.

W patencie US 7261255 B2 przedstawiony został sterowiec przeznaczony do lotów na dużych wysokościach, który posiada możliwość zmiany objętości poprzez radialną transformację geometrii jego przekroju. Transformacja elastycznych powłok przy użyciu wewnętrznego szkieletu prowadzona jest od początkowego kształtu zbliżonego do formy krzyża do kształtu końcowego, który jest pełnym kołem. Przy zmianie geometrii sterowca wykorzystywany jest system sterowania ciśnieniem wewnątrz powłoki.

W patencie US 9108712 B2 przedstawiono rozwiązanie sterowca wypełnianego gazem lżejszym od powietrza z elastyczną powłoką zewnętrzną, której kształt i objętość może być zmieniana poprzez układ wewnętrznych cięgien. Zmiana objętości sterowca ma na celu optymalizację profilu aerodynamicznego jednostki, kontrolę wznoszenia i opadania oraz umożliwia przechowywanie jednostki na ziemi w hangarach o ograniczonym rozmiarze.

Patent US5005783 przedstawia statek powietrzny o zmiennej geometrii i objętości, który może być transformowany z układu aerostatu (sterowca) do układu aerodyny (samolotu) poprzez rozkładanie powłoki o dużej objętości przy kontroli ciśnienia gazu lżejszego od powietrza oraz układu cięgien.

Rozwiązanie przedstawione w zgłoszeniu wynalazku numer PL419786 przedstawia aerostat, który może zwiększać swoją objętość poprzez wysuwanie części bocznych (co najmniej dwóch) z części cylindrycznej. Kontrola objętości odbywa się za pomocą zewnętrznych węzłów adaptacyjnych umieszczonych na wręgach.

Zgodnie z wynalazkiem konstrukcja sterowca posiada dwie części w postaci kopuł, przy czym walcowa część pierwszej kopuły jest umieszczona przesuwnie w walcowej części drugiej kopuły. Wnętrze sterowca zaopatrzone jest w środki do zachowania szczelności wewnątrz kopuł i w urządzenie do zmiany ciśnienia gazu wewnątrz kopuł, a ponadto sterowiec jest wyposażony w mechanizm ustalający rozsunięcie kopuł.

Korzystnie powłokę kopuł stanowi elastyczny materiał syntetyczny rozpostarty na stelażu wykonanym z prętów.

Korzystnie powłokę kopuł stanowi sztywny materiał wzmocniony wręgami.

Korzystnie środek do zachowania szczelności wewnątrz sterowca stanowi elastyczny balon.

Wariantowo środek do zachowania szczelności wewnątrz sterowca stanowi fartuch.

Korzystnie mechanizm do ustalania rozsunięcia kopuł zestawiony jest z co najmniej z dwóch prowadnic zamocowanych jednym końcem do szkieletu pierwszej kopuły, wewnątrz których są umieszczone suwliwie listwy, zamocowane drugim końcem do szkieletu drugiej kopuły.

Korzystnie pomiędzy prowadnicą a listwą są łożyska kulkowe, a na prowadnicy jest zacisk, w postaci piezoelektrycznego aktywatora połączonego ze sterownikiem.

Korzystnie mechanizm ustalający rozsunięcie kopuł jest we wnętrzu tych kopuł.

Korzystnie urządzenie do zmiany ciśnienia zestawione jest z trójpołożeniowego elektromagnetycznego zaworu, sprężarki połączonej z układem sterującym, połączonej z

wypełnionym zbiornikiem ciśnienia, oraz z dwóch zaworów zwrotnych leżących na drugiej i trzeciej gałęzi.

Wariantowo urządzenie do zmiany ciśnienia jest umieszczone za zewnątrz aerostatu .

Rozwiązanie pozwala na utrzymywanie odpowiednio małych różnic ciśnienia gazu zarówno podczas wznoszenia jak i opadania aerostatu, co przyczynia się do niskoenergetycznego działania sterowca. Przyjęty układ pneumatyczny pozwala także na redukcję wartości różnicy ciśnień, jaka może powstawać na skutek zmian wysokości aerostatu bez zmiany jego wysokości.

Wykorzystanie zbiornika ze sprężonym gazem oraz sprężarki zapewnia dużą mobilność pionową aerostatu wynikającą z możliwości uzyskania większej, niż potrzeba dla danej wysokości objętości balonu, co skutkuje większą prędkością wznoszenia a przy zbliżaniu się do docelowej wysokości umożliwia zmniejszenie objętości balonu.

Zastosowanie sprężarki umożliwia ruch pionowy aerostatu bez strat masy używanego gazu. Nadmiar gazu jest magazynowany w dodatkowym zbiorniku.

Sterowiec według wynalazku, w przykładowym wykonaniu został pokazany na Fig. 1, gdzie przedstawiono schemat szkieletu sterowca w postaci wydłużonej z prowadnicami wewnątrz oraz na Fig. 2 w postaci wydłużonej z prowadnicami na zewnątrz. Na Fig. 3 przedstawiono przekrój poprzeczny przez sterowiec wraz z powłoką. Odpowiednio, na Fig. 4 pokazano schemat układu pneumatycznego w pozycji zamkniętej, na Fig. 5 schemat układu pneumatycznego w pozycji napełniania balonu, Fig. 6 schemat układu pneumatycznego w pozycji napełniania zbiornika ciśnieniowego. Na Fig. 7 przedstawiono wycinek przekroju poprzecznego, w mniejszej skali, krawędzi kopuł wraz z fartuchem, a na Fig. 8 uproszczony schemat układu pomiarowo-sterującego. Na Fig. 9 zamieszczono przekrój mechanizmu blokowania wysunięcia.

Aerostat składa się z dwóch kopuł **1** i **2** wykonanych z części cylindrycznej oraz wypukłej różniących się od siebie średnicą części cylindrycznej tak, że część cylindryczna kopuły **1** znajduje się wewnątrz części cylindrycznej kopuły **2**. Powłoka kopuły **1** i **2** jest wykonana z różnych materiałów w zależności od wariantu wykonania zarówno z materiałów elastycznych jak i sztywnych, na przykład przy zastosowaniu tkaniny lub powłoki elastycznej wykonanej z materiałów syntetycznych. Powłoka kopuł **1** i **2** wzmocniona jest

cienkimi prętami 16 i 17 wykonanymi z tworzyw sztucznych w formie stelaża nadającego odpowiedni kształt. Do kopuły 1 przymocowana jest prowadnica 4, a do kopuły 2 listwa wewnętrzna 3 mechanizmu blokady wysunięcia. Mechanizm blokady wysunięcia składa się z zacisku 5, który jest złączony z prowadnicą 4 i jest wykonany w formie wzmocnionego piezoelektrycznego aktywatora, pozwalającego na ograniczenie ruchu względnego pomiędzy listwą 3 i prowadnicą 4 poprzez skasowanie luzu 10. Do listwy 3 przymocowany jest materiał ścierny 9, który umożliwia zwiększenie siły tarcia powstającej w mechanizmie blokady wysunięcia. Pomiędzy listwą 3 a prowadnicą 4 są kulki 11 łożyskujące.

Aerostat wyposażony jest w lekki zbiornik wysokociśnieniowy 7 połączony z trójpołożeniowym elektromagnetycznym zaworem 6. W środkowym położeniu zaworu 6 (Fig. 4) przepływ pomiędzy zbiornikiem wysokociśnieniowym 7, a balonem 12 nie jest możliwy przez gałąź układu pneumatycznego 18 ani 19. W położeniu górnym zaworu 6 (Fig. 5) możliwy jest przepływ sprężonego gazu ze zbiornika 7 przez gałąź 18 oraz zawór zwrotny 13a do balonu 12 lub do przestrzeni wewnętrznej pomiędzy kopułami 1 i 2. Dolna pozycja położenia zaworu 6 (Fig. 6) umożliwia tłoczenie przez sprężarkę 8 gazu z balonu 12, i dalej przez gałąź 19 i zawór zwrotny 13b do zbiornika wysokociśnieniowego 7. Pracą układu pneumatycznego i układu mechanizmu blokady wysunięcia steruje elektroniczny układ pomiarowo-sterujący 14. Do układu pomiarowo-sterującego 14 podłączone są sensory: system nawigacji 20 satelitarnej GPS służący do wyznaczenia pozycji i wysokości aerostatu, różnicowy czujnik ciśnienia 21 mierzący różnicę ciśnień gazu w balonie 12 lub w przestrzeni pomiędzy kopułami 1 i 2, a ciśnieniem atmosferycznym, czujnik temperatury 22 gazu w balonie 12 lub w przestrzeni pomiędzy kopułami 1 i 2 oraz akcelerometr 23. Układ pomiarowo-sterujący 14 steruje pracą: zacisku 5 mechanizmu blokady wysunięcia, sprężarki 8 oraz modułu łączności 24 pozwalającego na zdalne sterowanie sterowcem lub, gdy jest autonomiczny, monitorowanie parametrów jego pracy. Wymienione podzespoły mogą znajdować się wewnątrz lub na zewnątrz sterowca.

Balon 12 zapewnia szczelność wnętrza pomiędzy kopułami 1 i 2. Wariantowo szczelność przestrzeni wewnętrznej kopuł 1 i 2 uzyskuje się poprzez zastosowanie fartucha uszczelniającego 15, którego brzegi są połączone między krawędziami kopuł 1 i 2, wykonanego z elastycznego materiału.

Według wynalazku w początkowym etapie, podczas startu, aerostat na poziomie ziemi ma najmniejszą objętość, gdyż część cylindryczna kopuły 1 znajduje się wewnątrz części cylindrycznej kopuły 2 i objętość przestrzeni pomiędzy kopułami jest najmniejsza. Objętość początkowa może być tak dobrana, aby siła wznoszenia będąca różnicą siły wyporu i ciężaru aerostatu wraz z ładunkiem była zbliżona do zera lub większa. Sterowiec może się wznieść na wysokość, na jakiej siła wznoszenia będzie równa zero. Podzespoły zawór elektromagnetyczny zawór 6, lekki zbiornik wysokociśnieniowy 7, sprężarka 8, zawory zwrotne 13a i 13b tworzą wraz z balonem 12 lub przestrzenią pomiędzy kopułami 1 i 2 układ pneumatyczny, który umożliwia sterowanie ciśnieniem gazu w sterowcu, co wraz z zaciskiem 5 pozwala na zmianę objętości w sposób kontrolowany.

Przedmiotem wynalazku jest także sposób zmiany wysokości sterowca względem ziemi, który charakteryzuje się tym, że dokonuje się zmiany objętości poprzez wzajemne przemieszczenie dwóch połówek sterowca w kształcie kopuł, a szczelność połączenia dwóch połówek zapewnia się poprzez umieszczenie wewnątrz pokrycia rozciągliwego balonu lub fartucha. Po uzyskaniu nadciśnienia lub podciśnienia pozwalającego na pokonanie sił tarcia i zwolnieniu zacisku w mechanizmie blokady wysunięcia następuje zmiana objętości sterowca, co prowadzi do zmiany siły wyporu i zmiany wysokości.

### **Przykład**

Przed lotem sprawdzono stan równowagi sterowca wyposażonego w balon znajdujący się wewnątrz kopuł. Następuje przełączenie zaworu elektromagnetycznego w położenie górne powodujące przepływ gazu o zredukowanym ciśnieniu ze zbiornika wysokociśnieniowego wypełnionego sprężonym gazem do balonu lub przestrzeni wewnątrz kopuł sterowca. Po rozsunięciu się kopuł i uniesieniu się aerostatu sterownik wylicza na podstawie wskazań czujnika przyspieszeń wysokość aerostatu i kontroluje różnicę ciśnień. W przypadku uzyskania odpowiedniej wysokości sterownik powoduje zablokowanie zacisku pomiędzy listwą a prowadnicą, a jednocześnie zawór elektromagnetyczny przełączany jest w położenie środkowe, odcinając wypływ gazu ze zbiornika. Prowadzi to do unoszenia się sterowca na zadanej wysokości. W przypadku, gdy wysokość nie została osiągnięta cykl weryfikacji wysokości i kontroli różnicy ciśnień powtarza się aż do uzyskania przez sterowiec zaprogramowanej wysokości lotu.

Podczas obniżania wysokości lotu następuje przełączenie zaworu elektromagnetycznego w pozycję dolną, co otwiera gałąź łączącą zbiornik ze sprężarką, która jednocześnie zostaje uruchomiona. Następnie, blokada mechanizmu pozwalającego na zsunięcie się kopuł jest wyłączana, co powoduje zmniejszenie objętości. Po rozpoczęciu opadania sterownik kontroluje wysokość i różnicę ciśnień, po czym cykl opadania powtarza się aż do osiągnięcia zadanej wysokości lub wylądowania sterowca. W przypadku uzyskania zadanej wysokości sterownik ustawia zawór elektromagnetyczny w położeniu zamkniętym (położenie środkowe), blokuje mechanizm zaciskowy i wyłącza sprężarkę.

Odpowiednia wartość różnicy ciśnień przy wzajemnym ruchu kopuł aerostatu zarówno przy wznoszeniu i opadaniu realizowana jest przez sterownik poprzez otwarcie odpowiednie lub przyknięcie zaworu elektromagnetycznego.

Rzecznik patentowy

Anna Belz