

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **227628**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **411226**

(22) Data zgłoszenia: **10.02.2015**

(51) Int.Cl.

G01M 7/02 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 11/04 (2006.01)

F16F 15/00 (2006.01)

F16F 15/02 (2006.01)

(54) **Sposób i stanowisko do modelowego badania sprężystych właściwości słupowej konstrukcji wsporczej, zwłaszcza masztu turbiny wiatrowej**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
16.08.2016 BUP 17/16

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.01.2018 WUP 01/18

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PAWEŁ MARTYNOWICZ, Kraków, PL
ZBIGNIEW SZYDŁO, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Robert Klisowski

PL 227628 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i stanowisko do modelowego badania sprężystych właściwości słupowej konstrukcji wsporczej, zwłaszcza masztu turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu wirnika z gondolą generatorową.

Znane są rozwiązania dotyczące badań stanu technicznego wolnostojących słupowych konstrukcji wsporczych, które podczas eksploatacji obciążone oddziaływaniem zabudowanych na ich górnym końcu urządzeń oraz korozją materiału – ulegają zmęczeniu ze skutkiem zmniejszenia wytrzymałości i zagrożeniem katastrofy budowlanej. Przy konstrukcjach o dużej wysokości badania takie polegają w większości na eksploatacyjnym dozorowaniu parametrów wytrzymałościowych na podstawie zmian wychyleń, częstotliwości i amplitudy drgań w wybranych przekrojach konstrukcji. Przykładowo, rozwiązanie przeznaczone do badania stabilności pionowej słupa obciążonego masą na górnym końcu przedstawione jest w europejskim opisie patentowym EP0953147 B1. Badanie polega na pomiarze parametrów przemieszczeń i drgań w niewralgicznych przekrojach słupa i porównaniu uzyskanych wyników z danymi początkowymi eksploatacji. W podobny sposób prowadzone jest dozorowanie stanu technicznego słupów turbin wiatrowych według rozwiązania przedstawionego w międzynarodowym zgłoszeniu wynalazku WO2007003173 A2, gdzie w warunkach plantacji turbin zabudowanych na dużej powierzchni przykładowo morza, przetworzone sygnały czujników przekazywane są transmisją bezprzewodową do układu jednostki analizującej, diagnostycznej i porównywane są z danymi początkowymi.

Znane są również sposoby badania wolnostojących słupów o mniejszej wysokości i różnym przeznaczeniu: energetycznym, oświetleniowym, reklamowym, informacyjnym, polegające na siłowym pobudzeniu drgań mechanicznym zespołem wymuszającym w dowolnie wybranym przekroju poprzecznym słupa sztywno utwierdzonego dolnym końcem w podłożu oraz wykonaniu pomiarów przemieszczeń i przyspieszeń w przekroju wymuszającym oraz w wybranych punktach słupa. Uzyskane dane pomiarów przekazywane są do oprogramowanej elektronicznej jednostki analizującej. Rozwiązania takie przedstawione są między innymi w opisach patentowych EP0638794 B1, EP1630537 B1, DE10008201 A1, DE102009037457 A1.

W japońskim dokumencie patentowym JPS6429585 A ujawniony został układ modelu badawczego słupowej konstrukcji wsporczej, która dolnym końcem utwierdzona jest w podłożu, a na górnym końcu posiada aktywny masowy absorber energii zawierający obciążnik równoważny masie obciążającej słup, zabudowane na poziomej płycie. Drgania konstrukcji rejestrowane są w wybranym przekroju wymuszającym i połączone z elektroniczną jednostką analizującą. Siła tłumienia jest zmienna, zgodnie z zadaniem oprogramowaniem. Słup zawiera ramę fundamentową z elementami utwierdzenia dolnego końca słupa oraz zespół wymuszania drgań połączony ze słupem. Zespół wymuszania drgań jest połączony z pionową płytą platformy poziomej poprzez elementy sprężyste.

W badaniach wytrzymałościowych konstrukcji i elementów o bardzo dużych wymiarach, w tym przykładowo masztów turbin wiatrowych o wysokościach nawet powyżej 100 metrów, na etapie projektowania wykonuje się pomiary na modelach relatywnie odwzorowujących rzeczywiste warunki wymiarowo-obciążeniowe.

Sposób według niniejszego wynalazku – podobnie jak w znanych rozwiązaniach – polega na siłowym wymuszaniu drgań w dowolnie wybranym przekroju poprzecznym modelu słupa sztywno utwierdzonego dolnym końcem w podłożu oraz na wykonywaniu pomiarów czujnikami przemieszczeń i przyspieszeń w wybranych przekrojach słupa, a także pomiaru czujnikami siły dla zespołu wymuszania drgań i elementu tłumiącego w warunkach obciążenia górnego końca słupa masą równoważną masie podpieranej słupem – przykładowo gondoli generatorowej. Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że badania prowadzi się w warunkach tłumienia drgań górnego końca słupa przez zespół tłumienia drgań, ukierunkowany prostopadłe do osi słupa w płaszczyźnie wymuszania drgań. Siła generowana przez zespół tłumienia drgań zmienia się w czasie rzeczywistym według zadanego algorytmu sterowania wbudowanego w elektroniczną jednostkę analizującą, w oparciu o dane z czujników pomiarowych, przy czym pomiary przemieszczeń, przyspieszeń i sił prowadzi się dla drgań wymuszonych lub w fazie drgań swobodnych słupa po odłączeniu zespołu wymuszania drgań.

Stanowisko badawcze realizujące przedstawiony sposób według wynalazku zawiera ramę fundamentową z elementami utwierdzenia dolnego końca słupa, zespół wymuszania drgań poprzecznych połączony przez uchwyt ze słupem posiadającym na swym górnym końcu zamocowaną poziomą płytę platformy z zabudowanym na niej zestawem mas nieruchomych i zespołem tłumienia drgań w postaci

masowego absorbera energii oraz czujniki pomiarowe połączone z elektroniczną jednostką analizującą. Istota stanowiska według wynalazku polega na tym, że zespół tłumienia drgań w postaci masowego absorbera energii złożony jest z zestawu mas ruchomych posadowionych na wózku masy absorbera, mającym możliwość przemieszczania po prowadnicach liniowych w kierunku prostopadłym do osi słupa i w płaszczyźnie drgań zespołu wymuszania, oraz który połączony jest z pionową płytą platformy przez element sprężysty i sterowany element tłumiący.

Korzystnym jest, gdy zespół wymuszania drgań połączony jest z uchwytem słupa przez szybko-rozłączny rygiel elektromagnetyczny wbudowany w układ ciągnowy ukierunkowany prostopadłe do osi słupa.

Również korzystnym jest wykonanie, w którym zespół wymuszania drgań zamocowany jest na ramie fundamentowej poprzez kątowniki oraz podpory kątowników, stanowiące środki umożliwiające zmianę jego pionowego położenia.

Rozwiązania według wynalazku pozwalają prowadzić modelowe badania sprężystych właściwości słupowych konstrukcji wsporczych z szerokim odzwierciedleniem warunków rzeczywistych obciążeń, z masą przytwierdzoną do górnego końca słupa oraz ze sterowanym tłumieniem drgań.

Wynalazek wyjaśniony jest na podstawie opisu konstrukcji przykładowego wykonania stanowiska pokazanego na rysunku, a w zakresie sposobu prowadzenia badania – opisem działania tego stanowiska. Poszczególne figury rysunku przedstawiają:

Fig. 1 – widok z boku stanowiska z częściowym przekrojem przez zespół tłumienia drgań,

Fig. 2 – widok z kierunku „V” na zespół tłumienia drgań,

Fig. 3 – widok z kierunku „W” z Fig. 1,

Fig. 4 – przekrój poprzeczny według linii A-A oznaczonej na Fig. 1.

Podstawowym elementem stanowiska jest model słupa 1, osadzony ciasno w tulei utwierdzenia 2, stanowiącej część płyty 3 przymocowanej do ramy fundamentowej 4. Słup 1 wykonany jest korzystnie z materiału o wysokiej wytrzymałości i możliwie niskim współczynniku sprężystości. Przekrój słupa 1 może być dowolny, korzystnie okrągły, kwadratowy lub prostokątny. Na górnym końcu słup 1 posiada czop o mniejszej średnicy, na którym osadzony jest zespół tłumienia drgań Zg. Na płycie platformy 5 umieszczony jest zestaw płyt masy nieruchomej 6 i zestaw płyt masy ruchomej 7 połączone z platformą za pośrednictwem elementu sprężystego 8 i sterowanego, elementu tłumiącego 9. Element sprężysty 8 przymocowany jest z jednej strony do pionowej płyty 11 za pośrednictwem tulei z nacięciami śrubowymi 10, a z drugiej strony – do wózka masy absorbera 12. Sterowany element tłumiący 9 przymocowany jest niezależnie od elementu sprężystego 8 – z jednej strony bezpośrednio do płyty 11, a z drugiej – do wózka masy absorbera 12 za pośrednictwem czujnika siły tłumienia 13. Wózek masy absorbera 12 jest posadowiony na prowadnicach liniowych 14 i może przemieszczać się w kierunku osi zespołu tłumienia drgań Zg. Zmiana położenia wózka masy absorbera 12 jest mierzona za pomocą czujnika przemieszczenia 15.

Ruch drgający słupa 1 jest wymuszany za pomocą zespołu wymuszania drgań Zd, siłowo działający od wzbudnika 16, korzystnie elektromagnetycznego, modalnego wzbudnika drgań, umieszczonego na płycie 17 przymocowanej do kątowników 18, które połączone są z podporami 19 konstrukcji nośnej 20 zamocowanej do podłoża niezależnie od ramy fundamentowej 4. Trzpień ruchomy wzbudnika 16 jest połączony za pomocą układu ciągnowego 21 z dźwignią trójkątną 22, obrotowo osadzoną w uchwycie sworzniowym 23, który przymocowany jest do słupa 24. Dzięki takiej konstrukcji ruch trzpienia wzbudnika 16 jest przekazywany przez układ ciągnowy 25 do zaczepu elektromagnetycznego rygla 26, przymocowanego do uchwytu 27 zamocowanego na słupie 1. Konstrukcja uchwytu 27 umożliwia jego skuteczne mocowanie w dowolnym położeniu na wysokości słupa 1. Podpory kątownika 19 posiadają pionowe wycięcia przesuwu pionowego kątowników 28 umożliwiające przesuw kątowników 18 wraz z całym zespołem wymuszania drgań słupa 1. Połączenie przesuwu zespołu wymuszania drgań Zd z przesuwem uchwytu 27 umożliwia przyłożenie siły wymuszającej w dowolnym przekroju słupa 1, w celu wywołania drgań układu o pożądanej charakterystyce.

Sposób badania dynamiki konstrukcji wsporczej według wynalazku polega na wywołaniu drgań modelu słupa 1 przez zespół wymuszenia drgań Zd. Drgania są wytwarzane za pomocą generatora drgań o dowolnej zasadzie działania i przenoszone na słup 1 za pomocą układu mechanicznego, który zapewnia przyłożenie siły wymuszającej w kierunku prostopadłym do osi słupa 1. Konstrukcja ciągnowego układu wymuszania drgań umożliwia pobudzenie dowolnego przekroju słupa 1 siłą jednostronnie działającą w kierunku wzbudnika 16. W zamocowanym na górnym końcu słupa 1 zespole tłumienia drgań Zg sterowany, element tłumiący 9 i element sprężysty 8 połączone z zestawem mas rucho-

mych 7 przemieszczanym po prowadnicach liniowych 14 i absorbującym energię – umożliwia zmianę charakterystyki tłumienia i sztywności w czasie rzeczywistym, zgodnie z zadaniem algorytmu sterowania wbudowanym w elektronicznej jednostce analizującej. Po przetworzeniu danych z czujników pomiarowych, opracowany wyjściowy sygnał sterujący wysyłany jest do sterownika prądowego i dalej do elementu tłumiącego 9. Sposób połączenia zaczepu rygla elektromagnetycznego 26 z układem ciągnowym 25 umożliwia odłączenie słupa 1 od zespołu wymuszania drgań Zd podczas pracy stanowiska i badanie przebiegów charakterystycznych dla drgań swobodnych słupa 1, również przy oddziaływaniu elementu tłumiącego 9 i elementu sprężystego

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób modelowego badania sprężystych właściwości słupowych konstrukcji wsporczych, zwłaszcza masztu turbiny wiatrowej, polegający na siłowym wymuszaniu drgań w dowolnie wybranym przekroju poprzecznym słupa sztywno utwierdzonego dolnym końcem w podłożu oraz wykonaniu pomiarów czujnikami przemieszczeń i przyspieszeń w wybranych przekrojach słupa w warunkach obciążenia górnego końca słupa masą równoważną masie podpieranej słupem oraz w warunkach tłumienia drgań górnego końca słupa przez zespół tłumienia drgań w postaci masowego absorbera energii ukierunkowany prostopadle do osi słupa w płaszczyźnie wymuszania drgań, **znamienny tym**, że siła wytwarzana przez zespół tłumienia drgań (Zg) zmienia się w czasie rzeczywistym według zadanego algorytmu sterowania wbudowanego w elektronicznej jednostce analizującej, w oparciu o dane z czujników pomiarowych, a pomiary przemieszczeń, przyspieszeń i sił prowadzi się dla drgań wymuszonych lub w fazie drgań swobodnych słupa (1), po odłączeniu zespołu wymuszania drgań (Zd).
2. Stanowisko do modelowego badania właściwości sprężystych słupowych konstrukcji wsporczych, zwłaszcza masztu turbiny wiatrowej, zawierające ramę fundamentową z tuleją utwierdzenia oraz płytą, stanowiącymi elementy utwierdzenia dolnego końca słupa, a także zawierający zespół wymuszania drgań sztywno połączony przez uchwyt ze słupem, posiadającym na swym górnym końcu zamocowaną poziomą płytę platformy z zabudowanym na niej zestawem mas nieruchomych i zespołem tłumienia drgań w postaci masowego absorbera energii, a ponadto wyposażone w czujniki pomiarowe połączone z elektroniczną jednostką analizującą, **znamiennie tym**, że masowy absorber energii zawiera zestaw mas ruchomych (7) posadowionych na wózku masy absorbera (12), mającym możliwość przemieszczania po prowadnicach liniowych (14) w kierunku prostopadłym do osi słupa (1) i w płaszczyźnie drgań (O-O) zespołu wymuszania (Zd), oraz który połączony jest z pionową płytą (11) platformy (5) przez element sprężysty (8) i sterowany element tłumiący (9).
3. Stanowisko według zastrz. 2, **znamiennie tym**, że zespół wymuszania drgań (Zd) połączony jest z uchwytem (27) słupa (1) poprzez szybkorozłączny rygiel elektromagnetyczny (26) wbudowany w układ ciągnowy (25) ukierunkowany prostopadle do osi słupa (1).
4. Stanowisko według zastrz. 2 albo 3, **znamiennie tym**, że zespół wymuszania drgań (Zd) zamocowany jest na ramie fundamentowej (4) poprzez kątownik (18) oraz podpory kątownika (19), umożliwiające zmianę jego pionowego położenia.

Rysunki



