(19) URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

(10) **PL 242867 B1**

(12) # Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **436185**
(22) Data zgłoszenia: **2020.12.01**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.06.06 BUP 23/2022**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.05.08 WUP 19/2023**

(51) MKP:
B65G 27/20 *(2006.01)*
B06B 1/16 *(2006.01)*

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM.STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
WITOLD SURÓWKA, Górna Wieś, PL
PIOTR CZUBAK, Kraków, PL
ŁUKASZ BEDNARSKI, Kielce, PL

(74) Pełnomocnik:
Robert Klisowski, Kraków, PL

(54) Tytuł:
Przenośnik wibracyjny oraz sposób sterowania pracą przenośnika wibracyjnego

PL 242867 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest przenośnik wibracyjny oraz sposób sterowania pracą przenośnika wibracyjnego o zmiennej wydajności, z możliwością zatrzymania transportu, mający zastosowanie do transportu materiałów, zwłaszcza w przemyśle wydobywczym i przetwórczym, w ciągach technologicznych wymagających częstego zatrzymywania i zmiany parametrów pracy.

Z amerykańskiego opisu patentowego US3064357A znany jest przenośnik posiadający układ sterowania, który za pomocą układu czujników, analizuje grubość warstwy nadawy i prędkość transportowania. Na tej podstawie obliczana jest ilość materiału, która została przetransportowana i możliwe jest wyłączenie przenośnika w odpowiednim momencie. Po wyłączeniu przenośnika wibracyjnego transport dalej zachodzi przez jakiś czas, na skutek drgań maszyny przy wybiegu. Podobny efekt zachodzi również w rozwiązaniach znanych z amerykańskich opisów patentowych US3053379A lub US4771894A, w których rynna zawieszona na układzie sprężyn wzbudzana jest do drgań za pomocą przeciwbieżnie wirujących samosynchronizujących się wibratorów. Siła wypadkowa pochodząca od układu wibratorów przechodzi przez środek masy układu rynny powodując jej prostoliniowe drgania i jest przekazywana na nadawę powodując jej transport.

Z polskiego opisu patentowego PL425086B1 znany jest wysokowydajny dozujący przenośnik wibracyjny, posiadający możliwość płynnej regulacji wydajności w trakcie pracy. Przenośnik składa się z zawieszenia głównego, drgającej rynny, napędzanej samosynchronizującymi się wibratorami bezwładnościowymi, posiadającymi płynną regulację prędkości obrotowej, których siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości korpusu przenośnika. Ponadto, przenośnik ten zawiera dołączony do drgającej rynny co najmniej jeden dodatkowy układ tłumiący drgania rezonansowe, którego jeden koniec układu tłumiącego dołączony jest do drgającego przenośnika, a drugi koniec utwierdzony jest w sposób nieruchomy. Zatrzymanie prędkości realizuje się poprzez spowolnienie drgań rynny do niskich prędkości, przy których transport ustaje. W trakcie zatrzymania, układ przechodzi przez strefę rezonansową, ale jest wyposażony w specjalne tłumiki, redukujące niepożądane wzbudzenie w tej strefie. Do pewnego stopnia reguluje to przebieg hamowania rynny i prędkość transportu nadawy. Uzyskuje się wtedy charakterystykę pozwalającą na zastosowanie urządzenia, jako dozownika. Również w japońskim opisie patentowym JP6206962 B2 zatrzymanie transportu nadawy na przenośniku, realizuje się na skutek redukcji częstości wymuszenia i w konsekwencji – amplitudy drgań rynny. Punkt pracy oraz zatrzymania przenośnika w powyższym rozwiązaniu ustala się w częstościach nadrezonansowych. Dzięki temu układ jest w stanie stopniowo redukować prędkość transportowania, aż do zatrzymania.

Znane są ponadto przenośniki wibracyjne, w których do wygaszenia drgań powodujących transport wykorzystuje się dynamiczną eliminację sił wymuszających, działających na rynnę. Przykładowo, z polskiego zgłoszenia patentowego P.425950, znany jest przenośnik wibracyjny, zawierający otwartą co najmniej na jednym końcu rynnę, sprężyście podpartą w zasadniczo poziomym położeniu, oraz napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się, przeciwbieżnych elektrowibratorów, podwieszonych do rynny przenośnika pod takim kątem, że ich siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości rynny, leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny, a osie obrotu elektrowibratorów są do tej płaszczyzny prostopadłe. Za pomocą dodatkowego sprężystego zawieszenia, które mogą stanowić np. sprężyny śrubowe o osiach równoległych do kierunku działania siły wypadkowej elektrowibratorów, do rynny zamocowana jest masa eliminatora w taki sposób, że jej środek ciężkości pokrywa się ze środkiem ciężkości rynny. Masa eliminatora posiada ograniczone stopnie swobody do jednego translacyjnego na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów, które połączone są za pośrednictwem znanych środków przeniesienia napędu z silnikami elektrycznymi wyposażonymi w regulatory prędkości obrotowej.

Przedmiotowy wynalazek zapewnia pracę przenośnika w stanie ustalonym w strefie rezonansowej drugiego rezonansu i rozwiązuje problem techniczny, polegający na połączeniu cech takich jak: możliwość płynnego sterowania wydajnością od 0–100% w trakcie pracy, możliwość natychmiastowego zatrzymania spływu nadawy z przenośnika bez konieczności wyłączenia napędu i bez konieczności przejścia układu przez kolejne strefy rezonansowe, jak również problem zbyt dużych amplitud eliminatora w przypadku pracy w stanie ustalonym przed strefą antyrezonansową.

Istota przenośnika wibracyjnego, zawierającego otwartą co najmniej na jednym końcu rynnę, sprężyście podpartą w zasadniczo poziomym położeniu, oraz napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się przeciwbieżnych elektrowibratorów, posiadających możliwość płynnej regulacji obrotów i podwieszonych do rynny przenośnika pod takim kątem, że ich siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości rynny leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny, a osie obrotu elektrowibratorów są do tej płaszczyzny prostopadłe, a ponadto zawierający masę eliminatora zamocowaną do rynny za

pomocą sprężystego zawieszenia w taki sposób, że masa eliminatora posiada stopnie swobody ograniczone do jednego translacyjnego, na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów, które połączone są za pośrednictwem znanych środków przeniesienia napędu z silnikami elektrycznymi wyposażonych w regulatory prędkości obrotowej, które stanowią falowniki, polega na tym, że środek ciężkości masy eliminatora leży na linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów, zaś sprężyste zawieszenie masy eliminatora, stanowi dodatkowa sprężyna śrubowa o osi pokrywającej się z kierunkiem linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów oraz co najmniej para listew resorująca o osi podłużnej, prostopadłej do kierunku linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów.

Korzystnym jest, gdy sprężyste podparcie rynny stanowią cztery jednakowe, śrubowe sprężyny, rozmieszczone w narożach rynny, w jednakowych odległościach od jej środka ciężkości.

Również korzystnym jest, gdy kierunek działania siły wypadkowej elektrowibratorów, jest nachylony względem powierzchni rynny pod kątem 30 stopni.

Także korzystnym jest, gdy masa eliminatora podparta jest na czterech listwach resorujących, usytuowanych parami po obu jej stronach.

Istota sposobu sterowania pracą przenośnika wibracyjnego, zawierającego otwartą co najmniej na jednym końcu rynnę, sprężyście podpartą w zasadniczo poziomym położeniu, oraz napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się przeciwbieżnych elektrowibratorów, posiadających możliwość płynnej regulacji obrotów i podwieszonych do rynny przenośnika pod takim kątem, że ich siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości rynny leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny, a osie obrotu elektrowibratorów są do tej płaszczyzny prostopadłe, a ponadto zawierający masę eliminatora zamocowaną do rynny za pomocą sprężystego zawieszenia w taki sposób, że masa eliminatora posiada stopnie swobody ograniczone do jednego translacyjnego, na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów, które połączone są za pośrednictwem znanych środków przeniesienia napędu z silnikami elektrycznymi wyposażonymi w regulatory prędkości obrotowej, które stanowią falowniki, oraz w którym środek ciężkości masy eliminatora leży na linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów, zaś sprężyste zawieszenie masy eliminatora stanowi dodatkowa sprężyna śrubowa o osi pokrywającej się z kierunkiem linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów oraz co najmniej para listew resorująca o osi podłużnej, prostopadłej do kierunku linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów, polega na tym, że w celu ustawienia trybu pracy przenośnika w stan transportu z ustaloną wydajnością, za pomocą falowników, nastawia się częstość wymuszenia, silników elektrycznych elektrowibratorów w punkcie pracy, znajdującym się na zboczu narastającym drugiego rezonansu, zaś w celu zmiany wydajności przenośnika, w trakcie jego pracy, za pomocą falowników, dostosowuje się częstość wymuszenia tak, aby punkt pracy osiągnął wymaganą amplitudę drgań rynny i znajdował się nadal na zboczu narastającym drugiego rezonansu, natomiast w celu zatrzymania transportu, przy włączonym napędzie wibracyjnym, za pomocą falowników zmniejsza się częstość wymuszenia do wartości równej lub bliskiej częstości własnej masy eliminatora na swoim zawieszeniu tak, aby punkt pracy znalazł się w kotlinie antyrezonansowej, poprzedzającej drugi rezonans.

Przykład realizacji wynalazku został zobrazowany za pomocą schematycznego rysunku, na którym fig. 1 przedstawia uproszczony rysunek przenośnika, zaś fig. 2 – charakterystykę amplitudową pracy jego rynny zaznaczoną kotliną antyrezonansową i punktem pracy na zboczu wznoszącym drugiego rezonansu.

Przenośnik wibracyjny (fig. 1), zawiera otwartą obustronnie rynnę (1), sprężyście podpartą tak, że jej powierzchnia robocza znajduje się w poziomym położeniu. Podparcie rynny (1) stanowią cztery jednakowe, śrubowe sprężyny (4) rozmieszczone w narożach rynny w taki sposób, że miejsca podparcia znajdują się w jednakowych odległościach od środka ciężkości (9) rynny (1). Do rynny (1), w części dolnej korpusu, stanowiącego integralną jej część, podwieszony jest napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się przeciwbieżnych elektrowibratorów (3), wyposażonych w regulatory prędkości obrotowej, które stanowią falowniki (7). Kierunek działania wymuszającej siły wypadkowej elektrowibratorów (3) przechodzi przez środek ciężkości rynny (1), leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny (1) i jest nachylony względem powierzchni rynny (1) pod kątem (β) = 30°. Osie obrotu elektrowibratorów (3) są do tej płaszczyzny prostopadłe. Wewnątrz zintegrowanego z rynną (1) korpusu, znajduje się masa eliminatora (2), tak że jej środek ciężkości leży na kierunku działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3). Masa eliminatora (2) posiada stopnie swobody ograniczone do jednego translacyjnego, na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów (3), w wyniku tego, że zawieszona jest wewnątrz korpusu rynny (1) za pomocą sprężystego zawieszenia, które stanowi dodatkowa sprężyna śrubowa (5) o osi pokrywającej się z kierunkiem linii działania

siły wypadkowej elektrowibratorów (3) oraz dwie pary listew resorujących (6) o osi podłużnej, prostopadłej do kierunku linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (6), usytuowane parami, symetrycznie po obu stronach masy eliminatora (2).

Sposób sterowania pracą przenośnika wibracyjnego polega na tym, że po włączeniu napędu, za pomocą falowników (7) zwiększa się częstość wymuszenia (ω) tak, że przenośnik przechodzi przez pierwszy rezonans (fig. 2) przy ω = 35 rad/s (5,6 Hz) oraz przez kotlinę antyrezonansową (V), w zakresie ω =110 ÷ 120 (17,5 Hz ÷19,1 Hz) w otoczeniu częstości dynamicznej eliminacji, która ma miejsce przy $\omega = \omega_{el}$ =115 rad/s (18,3 Hz), osiągając punkt pracy (W) z ustaloną wydajnością, znajdujący się na zboczu narastającym drugiego rezonansu. W przykładzie realizacji, osiągnięty punkt pracy (W) na charakterystyce amplitudowej przenośnika A(ω), opisującej zależność amplitudy (A) rynny (1) od częstości wymuszenia (ω), posiada współrzędne ω = 157 rad/s (25 Hz) i A=0,0026 m. Zapewnia to odpowiednią amplitudę, właściwą dla zakładanego współczynnika podrzutu, oraz dla zakładanej prędkości transportowania. Przy tych parametrach, rozpoczyna się podawanie nadawy na przenośnik i następuje transport z ustaloną wydajnością. W celu zmiany wydajności przenośnika, w trakcie jego pracy, za pomocą falowników (7) dostosowuje się częstość wymuszenia (ω) zwiększając ją albo zmniejszając tak, aby punkt pracy (W) osiągnął inną, wymaganą amplitudę drgań (A) rynny (1) i znajdował się nadal na zboczu narastającym drugiego rezonansu. W ten sposób można płynnie regulować wydajnością przenośnika. Z kolei, w celu zatrzymania transportu, przy włączonym napędzie wibracyjnym, za pomocą falowników (7) zmniejsza się częstość wymuszenia (ω) tak, aby punkt pracy (W) znalazł się w kotlinie antyrezonansowej (V), poprzedzającej drugi rezonans, co odpowiada zrównaniu się lub zbliżeniu się częstości wymuszenia (ω) do częstości własnej ω_{el} masy eliminatora (2) na swoim zawieszeniu, na kierunku wypadkowej siły wymuszającej. Masa eliminatora (2) przy tej częstości wymuszenia działała jako eliminator dynamiczny masy rynny (1), podobnie jak eliminator Frahma. Dodatkowo, masa eliminatora (2), dla zapewnienia pożądanego ruchu, prowadzona jest zestawem listew resorujących (6), o wysokiej sztywności wzdłużnej. Zapewnia to oscylacje masy eliminatora (2) wzdłuż prostej wymuszenia.

Jeśli masa eliminatora (2) wynosi m_{el}, a sumaryczna sztywność jej zawieszenia na kierunku działania siły wymuszającej wynosi k_{el}, to częstość własna ω_{el}, tzw. parcjalna na tym kierunku określona jest poniższym wzorem:

$$\omega_{el} = \sqrt{\frac{k_{el}}{m_{el}}}$$

Przy częstości wymuszenia (ω) równej lub zbliżonej do częstości własnej ω_{el} drgania masy eliminatora (2) ustalają się w ten sposób, że siła w elementach sprężystych równoważy – w przypadku braku tłumienia w układzie – siłę wymuszającą $P_0 \sin \omega t$, wygaszając drgania masy rynny (1). Zjawisko to zachodzi niezależnie od częstości drgań własnych układu podstawowego przed dołączeniem eliminatora (2).

Układ eliminatora Frahma działa w tym przypadku w kotlinie antyrezonansowej otoczonej z dwóch stron obszarami rezonansowymi, przy czym szerokość tej kotliny zależy od stosunku masy eliminatora (2) do masy rynny. Zatrzymanie drgań rynny, a co za tym idzie transportu nadawy, może być osiągnięte w krótkim czasie, a wygaszenie drgań rynny niemal całkowite. Należy zaznaczyć, iż transport nadawy jest zatrzymany nawet przy małych drganiach rynny jeszcze przed ich całkowitym wygaszeniem, gdy tylko współczynnik podrzutu będzie mniejszy od jedności.

Przenośnik ten nadaje się bardzo dobrze do precyzyjnego dozowania nadawy zwłaszcza w trybie częstego zatrzymania transportu. Zaletą tego rozwiązania jest również fakt, że nadawa (8) na rynnie (1) podczas zatrzymania transportu rozkłada się równomiernie wzdłuż jej długości. Wznowienie transportu następuje gdy częstość wymuszenia (ω) mas niewyważonych elektrowibratorów wzrośnie do częstości bliskiej rezonansu układu związanego z drugą strefą rezonansową. Wtedy drgania masy eliminatora (2) nie będą znacząco wpływać na drgania masy rynny (1) i transport będzie się odbywał z prędkością typową dla danej klasy maszyn.

Manipulując częstotliwością pracy silników w zakresie 20–25Hz można osiągnąć pełny zakres wydajności (0–100%). Urządzenie pozwala zatem na szybkie i płynne zmiany wydajności, włącznie z zatrzymaniem, oraz pozwala na sprawne wznowienie transportu, ponieważ nie ma konieczności wyłączania i włączania silników.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przenośnik wibracyjny, zawierający otwartą co najmniej na jednym końcu rynnę, sprężyście podpartą w zasadniczo poziomym położeniu, oraz napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się przeciwbieżnych elektrowibratorów, posiadających możliwość płynnej regulacji obrotów i podwieszonych do rynny przenośnika pod takim kątem, że ich siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości rynny leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny, a osie obrotu elektrowibratorów są do tej płaszczyzny prostopadłe, a ponadto zawierający masę eliminatora zamocowaną do rynny za pomocą sprężystego zawieszenia w taki sposób, że masa eliminatora posiada stopnie swobody ograniczone do jednego translacyjnego, na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów wyposażonych w regulatory prędkości obrotowej, które stanowią falowniki, **znamienny tym**, że środek ciężkości masy eliminatora (2) leży na linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3), zaś sprężyste zawieszenie masy eliminatora (2) stanowi dodatkowa sprężyna śrubowa (5) o osi pokrywającej się z kierunkiem linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3) oraz co najmniej jedna para listew resorujących (6) o osi podłużnej, prostopadłej do kierunku linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3).
2. Przenośnik wibracyjny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sprężyste podparcie rynny (1) stanowią cztery jednakowe, śrubowe sprężyny (4) rozmieszczone w narożach rynny w jednakowych odległościach od środka ciężkości (9) rynny (1).
3. Przenośnik wibracyjny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że kierunek działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3), jest nachylony względem powierzchni rynny (1) pod kątem (β) = 30°
4. Przenośnik wibracyjny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że listwy resorujące (6) usytuowane są parami po obu stronach masy eliminatora (2).
5. Sposób sterowania pracą przenośnika wibracyjnego, zawierającego otwartą co najmniej na jednym końcu rynnę, sprężyście podpartą w zasadniczo poziomym położeniu, oraz napęd wibracyjny w postaci pary samosynchronizujących się przeciwbieżnych elektrowibratorów, posiadających możliwość płynnej regulacji obrotów i podwieszonych do rynny przenośnika pod takim kątem, że ich siła wypadkowa przechodzi przez środek ciężkości rynny leżący na pionowej płaszczyźnie poprowadzonej przez oś wzdłużną rynny, a osie obrotu elektrowibratorów są do tej płaszczyzny prostopadłe, a ponadto zawierający masę eliminatora zamocowaną do rynny za pomocą sprężystego zawieszenia w taki sposób, że masa eliminatora posiada stopnie swobody ograniczone do jednego translacyjnego, na kierunku zgodnym z kierunkiem siły wypadkowej elektrowibratorów, które połączone są za pośrednictwem znanych środków przeniesienia napędu z silnikami elektrycznymi wyposażonymi w regulatory prędkości obrotowej, które stanowią falowniki, oraz w którym środek ciężkości masy eliminatora (2) leży na linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3), zaś sprężyste zawieszenie masy eliminatora (2) stanowi sprężyna śrubowa (5) o osi pokrywającej się z kierunkiem linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3) oraz co najmniej jedna para listew resorujących (6) o osi podłużnej, prostopadłej do kierunku linii działania siły wypadkowej elektrowibratorów (3).
   znamienny tym, że:
   - w celu ustawienia trybu pracy przenośnika w stanie transportu z ustaloną wydajnością, za pomocą falowników (7) nastawia się częstość wymuszenia (ω), silników elektrycznych elektrowibratorów (3) w punkcie pracy (W), znajdującym się na zboczu narastającym drugiego rezonansu, charakterystyki przenośnika A(ω), opisującej zależność amplitudy drgań (A) rynny (1) od częstości wymuszenia (ω), zaś
   - w celu zmiany wydajności przenośnika, w trakcie jego pracy, za pomocą falowników (7) dostosowuje się częstość wymuszenia (ω) tak, aby punkt pracy (W) osiągnął wymaganą amplitudę drgań (A) rynny (1) i znajdował się nadal na zboczu narastającym drugiego rezonansu, charakterystyki A(ω), natomiast
   - w celu zatrzymania transportu, przy włączonym napędzie wibracyjnym, za pomocą falowników (7) zmniejsza się częstość wymuszenia (ω) do wartości równej lub bliskiej częstości własnej ω_{el} masy eliminatora (2) na swoim zawieszeniu, zwanej częstością parcjalną, tak aby punkt pracy (W) znalazł się w kotlinie antyrezonansowej (V), poprzedzającej drugi rezonans.

Rysunki

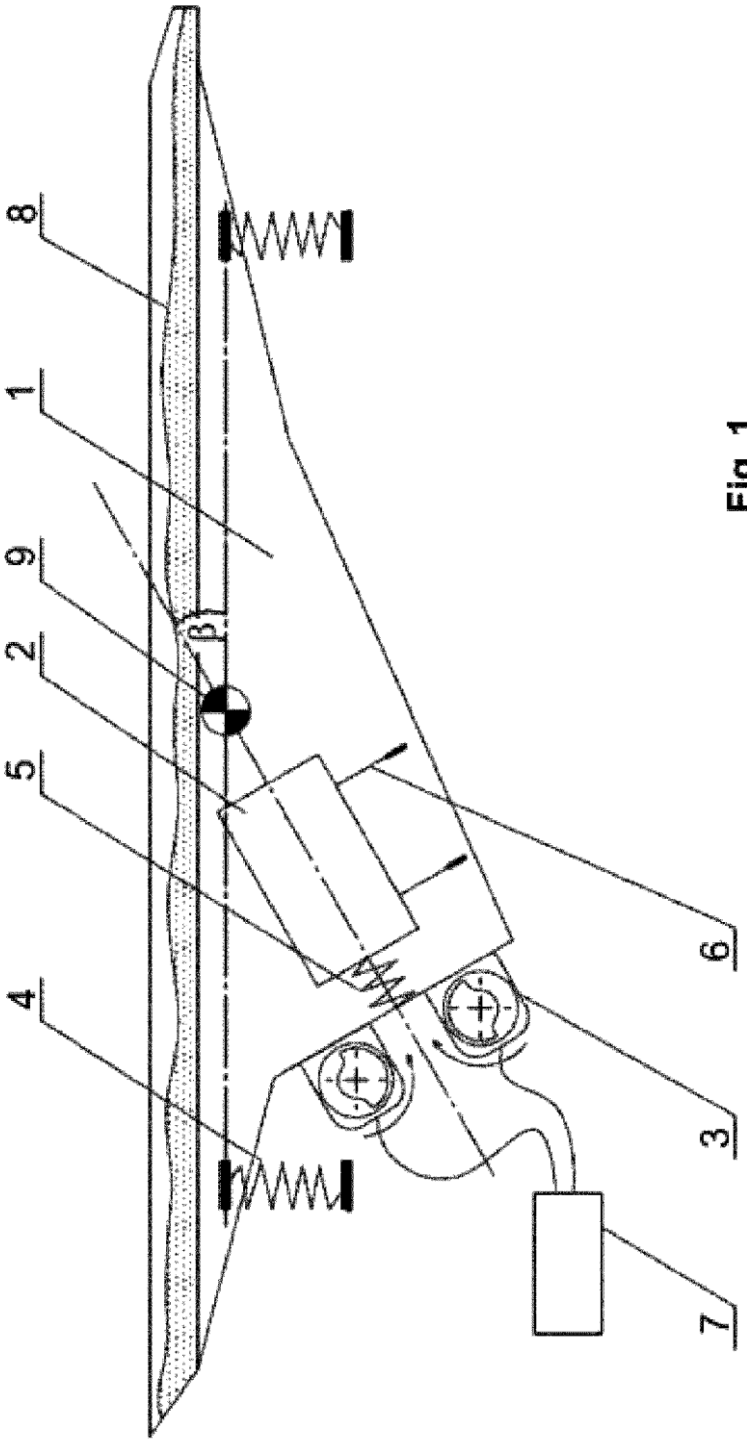

Fig. 1

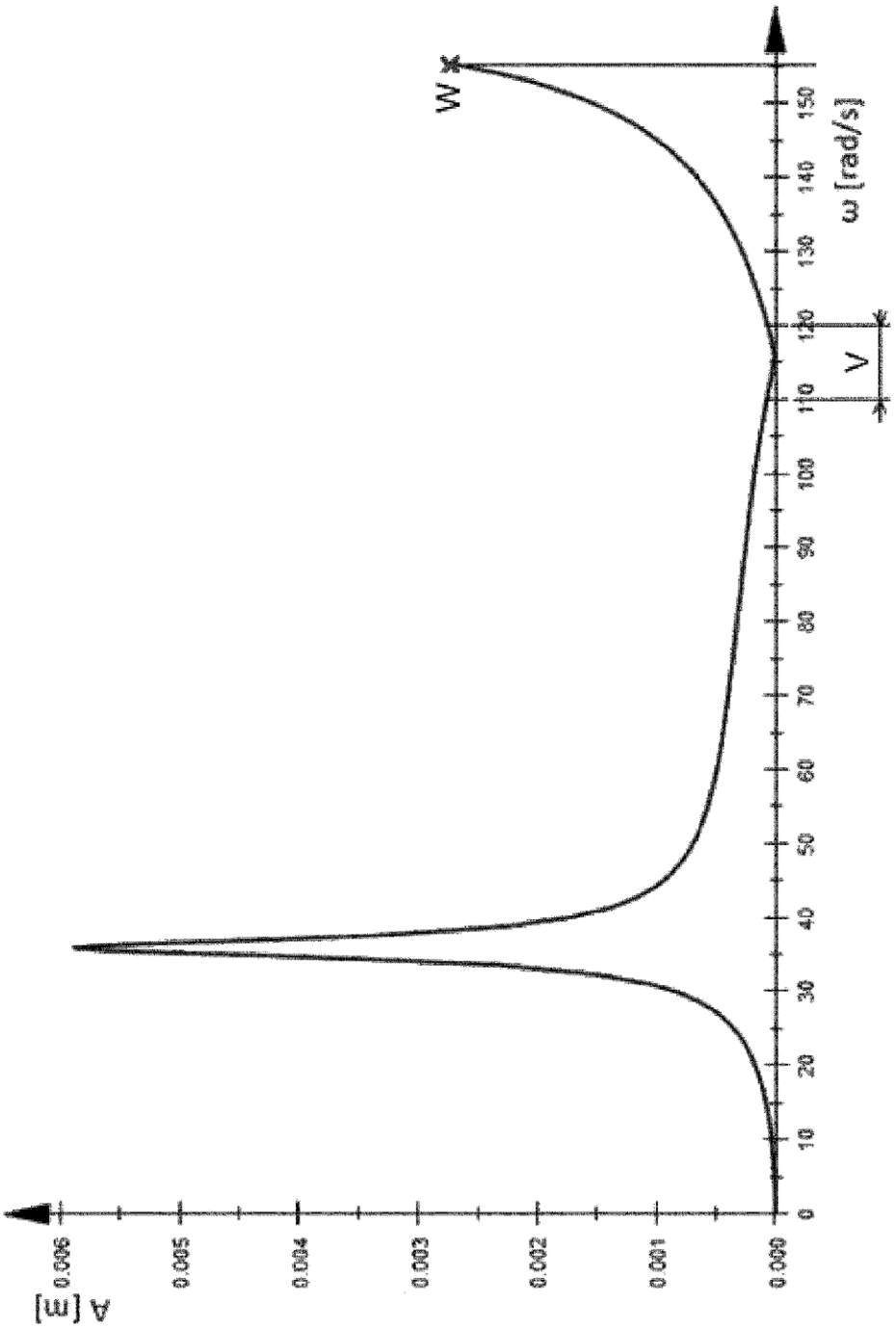
A [m]
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.000
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
ω [rad/s]
W
V

Fig. 2