RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241641**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **435954**

(22) Data zgłoszenia: **10.11.2020**

(51) Int.Cl.
G01M 3/00 (2006.01)
G01M 3/08 (2006.01)

(54) **Robot do kontroli rurociągu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
16.08.2021 BUP 20/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
14.11.2022 WUP 46/22

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL
INSTYTUT NISKICH TEMPERATUR I BADAŃ STRUKTURALNYCH IM. WŁODZIMIERZA TRZEBIATOWSKIEGO POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Wrocław, PL
INSTYTUT AUTOMATYKI SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Wrocław, PL
ZBM ULTRA SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Nadolice Małe, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
TOMASZ BURATOWSKI, Kraków, PL
MICHAŁ PYZA, Garwolin, PL
PIOTR ROSZKOWSKI, Sosnowiec, PL
JACEK CHMIELOWIEC, Wrocław, PL
GRZEGORZ PAŚCIAK, Wrocław, PL
BARTŁOMIEJ BORKOWSKI, Wrocław, PL
TADEUSZ MĄCZKA, Wrocław, PL
WOJCIECH SZUBERT, Wrocław, PL
PIOTR MACHAŁA, Wrocław, PL
PATRYK UCHROŃSKI, Krzyków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Ryszard Delinowski

PL 241641 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest robot do kontroli rurociągu, którego działanie wymaga wykonywania ruchu prostoliniowego, po zakrzywionych kanałach, ruchu obrotowego, pokonywania przeszkód, w szczególności, łączeniowych kołnierzy, standaryzowanych kolan, zawiesi, podpór czy innych przeszkód technologicznych.

Dla przemysłowych instalacji rurowych, w szczególności energetycznych, ocena stanu technicznego instalacji do transportu materiałów erozyjnych i korozyjnych jest bardzo utrudniona, a czasami wręcz niemożliwa. Wynika to przede wszystkim z utrudnionego dostępu do instalacji, jej geometrii i rozmiarów, długości instalacji, wielowarstwowej budowy systemu rurociągów, wysokich temperatur, nieprzyjaznego otoczenia, niemożności prowadzenia inspekcji wewnątrz rurociągu, szczególnie podczas pracy takiej instalacji. Weryfikacja stanu technicznego obiektów narażonych na uszkodzenia jest niezwykle istotna ze względu na straty finansowe w przypadku wystąpienia nagłej awarii oraz występowanie poważnych zagrożeń dla obsługi. W większości przypadków wykrywanie uszkodzenia elementów możliwe jest jedynie podczas remontów i postojów instalacji. Inspekcje stanu rurociągu przeprowadzane przez robota podczas normalnej eksploatacji instalacji w czasie rzeczywistym, bez jednoczesnego narażania personelu na oddziaływanie niekorzystnych warunków, będąc potrzebą chwili, stanowią wyzwanie dla specjalistów na całym świecie zajmujących się robotami mobilnymi i ich pracą diagnostyczną, w tym pomiarami NDT.

Znany jest z koreańskiego opisu patentowego KR20120058872 robot poruszający się wzdłuż zewnętrznej strony obiektów w kształcie kolumny, takich jak rura, słup, latarnia uliczna, sygnalizacja świetlna, słup energetyczny, drzewo. Robot umożliwia pokonywanie przeszkód, takich jak gałęzie, kołnierze i innych, które utrudniają jazdę wzdłuż przyjętego kierunku. Robot składa się z dwóch identycznych chwytaków, wyposażonych po cztery moduły ruchu z kołami typu mecanum, połączonych konstrukcją z łącznikiem nożycowym, która umożliwia pokonywanie przeszkód. Chwytak posiada budowę zdolną do utrzymania całej konstrukcji robota na obiekcie w kształcie kolumny. Wielokrotne koła typu mecanum umieszczone na chwytaku generują siłę ruchu w celu przemieszczenia się robota.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego US9400263 robot do kontroli rurociągu, który porusza się po zewnętrznej powierzchni rurociągu, umożliwia wykonywanie ruchów w górę i w dół, ruchów obrotowych w miejscu oraz ruchów pozwalających przekroczyć przeszkodę, przykładowo takich jak kołnierze, kolana rurociągów. Robot składa się z części korpusowej pełniącej role głównej ramy robota i składającej się z korpusu, ramienia robota oraz sterownika. Ramię robota zawiera pierwsze ramię robota przeznaczone do prowadzenia robota w linii prostej wzdłuż zewnętrznej powierzchni rurociągu oraz drugie ramię robota skonfigurowane do prowadzenia robota wzdłuż zewnętrznej powierzchni obwodowej rurociągu. Robot posiada dwie symetryczne części korpusowe robota, które połączone są za pomocą łącznika i części przekładniowej, co umożliwia pokonywanie przeszkód na rurociągu podczas ruchu w kierunku wzdłużnym rurociągu. Wykonawczy układ pomiarowy robota zawiera sterownik połączony z silnikami przekazującymi moc do: pierwszego i drugiego ramienia robota, pierwszej i drugiej części ruchowej robota oraz do złącza, jak i czujniki pomiarowe z prowadnicami.

Robot do kontroli rurociągu o budowie modułowej według wynalazku zawiera ramę oraz wykonawczy układ pomiarowy ze sterownikiem nadzorującym za pomocą serwomechanizmów elektrycznych pracę układów, w tym ruchowych i pomiarowych robota, oraz elementy prowadzące. Robot charakteryzuje się tym, że jest zbudowany z dwóch zespołów mechanizmu zaciskowo-napędowego połączonych ramą przegubową w którym, w każdym zespole znajdują się szczęki zaciskowe, których główne elementy są połączone z przekładniami zębatymi wywołującymi ruch obwodowy głowic pomiarowych z mechanizmem docisku wokół rurociągu. Głowice pomiarowe wraz z listwami zębatymi poruszają się wokół rurociągu po prowadnicy, która posiada w przekroju poprzecznym co najmniej jedną oś symetrii. W szczególności przekrój poprzeczny prowadnicy stanowi przekrój „jaskółczego ogona". W przekładni zębatej zespołu mechanizmu zaciskowo-napędowego wzajemny ruch względny między sobą listew zębatych po prowadnicy jest realizowany poprzez przenoszenie ruchu obrotowego każdego koła zębatego na współpracującą z nim listwę zębatą. W szczególności jedna z listew zębatych jest wyposażona w dwie głowice pomiarowe, zaś druga z listew zębatych jest wyposażona w jedną głowicę pomiarową. W odmianie wykonania głowica pomiarowa jest umieszczona w samonastawnej osłonie. Mechanizm docisku zawiera sprężynę współpracującą z napędem mechanizmu docisku, zapewniając regulowany docisk głowicy pomiarowej do rurociągu w zakresie od 4 kPa do 12 kPa, korzystnie 8 kPa. Zespół mechanizmu zaciskowo-napędowego jest wyposażony w trzy zespoły napędowe ruchu wzdłużnego robota

oraz w napęd liniowy generujący zacisk szczypcowy, umieszczony w obudowie mechanizmu zaciskowo-pomiarowego. Korzystnym jest gdy symetralne odcinka wyznaczonego przez punkty styku elementu zespołu napędowego ruchu wzdłużnego robota z rurociągiem leży w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś symetrii przekroju poprzecznego prowadnicy podczas ruchu obwodowy listew zębatych wokół rurociągu. Rama przegubowa składa się z pierwszego i drugiego elementu ramy połączonych przegubem z napędem do konfiguracji ustawienia ramy.

Robot do kontroli rurociągu według wynalazku zapewnia ocenę stanu technicznego infrastruktury przemysłowej w postaci rurociągów poprzez poruszanie się pionowe, poziome i pod dowolnym kątem po przewodach rurowych, z możliwością omijania standardowych przeszkód oraz wykonywaniem pomiarów diagnostycznych NDT, w szczególności metodami ultradźwiękowymi.

Robot do kontroli rurociągu według wynalazku został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunkach, na którym:

Fig. 1 jest schematycznym, ukośnym widokiem podstawowych części robota – dwóch zespołów zaciskowo-napędowych połączonych ramą przegubową,

Fig. 2 jest schematycznym, ukośnym widokiem z tyłu mechanizmu napędowo-zaciskowego,

Fig. 3 jest schematycznym, ukośnym widokiem z przodu mechanizmu napędowo-zaciskowego,

Fig. 4 jest schematycznym, ukośnym widokiem z przodu konstrukcji mechanicznej ramy robota,

Fig. 5 jest schematycznym, ukośnym widokiem z przodu mechanizmu docisku,

Fig. 6 jest schematycznym, ukośnym widokiem z tyłu mechanizmu docisku.

Robot do kontroli rurociągu według wynalazku w przykładzie wykonania posiada modułową, zwartą budowę, w której dwa zespoły mechanizmu zaciskowo-napędowego 1 z wykonawczym układem pomiarowym 2 są połączone za pomocą ramy przegubowej 3. Taka konstrukcja zapewnia możliwość utrzymania zadanej pozycji i orientacji robota na przewodzie rurowym oraz pokonywania horyzontalnie i wertykalnie przeszkód takiego typu jak: kołnierze, zawiesia, podpory czy kolana o różnym promieniu gięcia od 2D do 5D, gdzie D – stanowi średnicę rurociągu. W skład zespołu mechanizmu zaciskowo-napędowego 1 wchodzi obudowa 11 mechanizmu zaciskowo-napędowego, szczęki zaciskowe, z których każda zawiera element główny 122 oraz ramię 121, korzystnie o regulowanej długości, prowadnicę jezdną 13, napędy listwy zębatej 14, listwy zębate 151, prowadnicę 152, elementy prowadzące 16. Utrzymanie się robota na zewnętrznej części rurociągu jest realizowany z wykorzystaniem napędu liniowego 17, generującego nacisk szczypcowy. Elementy prowadzące 16 zapewniają robotowi osiowość podczas jego ruchu na przewodzie rurowym. Każdy zespół mechanizmu zaciskowo-napędowego 1 wyposażony jest między innymi w trzy zespoły napędowe 19 do jazdy wzdłuż, odpowiedzialne wyłącznie za jazdę wzdłuż przewodu rurowego: dwa znajdujące się w szczękach zaciskowych oraz jeden umieszczony w obudowie 11 mechanizmu zaciskowo-napędowego, przy czym ten ostatni zespół napędowy w zależności od potrzeb zawiera w sobie od jednego do kilku elementów tocznych biernych stykających się podczas ruchu wzdłużnego robota z rurociągiem. Wszystkie napędy wyposażone są w wyprofilowane prowadnice jezdne 13. W niniejszym przykładzie wykonania każdy zespół napędowy 19 zawiera elementy toczne stykające się z rurociągiem – elementy czynne napędzane indywidualnie przez serwomechanizmy znajdujące się w dalszej odległości od ramy przegubowej 2 oraz elementy toczne bierne znajdujące się bliżej ramy przegubowej 2. Wykonanie pomiaru NDT na obwodzie rurociągu jest realizowane za pomocą przeciwbieżnych listew zębatych 151 zamocowanych na symetrycznej prowadnicy 152 typu „jaskółczy ogon”, co zapewnia dobrą współpracę poruszających się względem siebie elementów. Wysoką wytrzymałość oraz dobre właściwości tribologiczne prowadnicy 152 zapewnia jej wykonanie w technologii FDM z nylonu z dodatkiem włókien węglowych. Wykorzystanie druku 3D umożliwia wykonanie nietypowego kształtu prowadnicy 152, która jednocześnie stanowi uchwyt montażowy dla napędów listew zębatych 151 za pośrednictwem kół zębatych 18 przekładni zębatych oraz całego wykonawczego układu pomiarowego 2 do ramy przegubowej 3 robota. Wzajemny ruch względny między sobą listew zębatych 151 po prowadnicy 152 jest realizowany poprzez przenoszenie ruchu obrotowego każdego koła zębatego 18 na współpracującą z nim listwę zębatą 151. Korzystnym jest gdy symetralne odcinka wyznaczonego przez punkty styku elementów zespołu napędowego 19 ruchu wzdłużnego robota z rurociągiem pokrywają się z płaszczyzną symetrii przekroju poprzecznego prowadnicy 152. Przemieszczanie się obwodowe głowic pomiarowych 22 na rurociągu wokół jego przekroju osiowego jest realizowane za pomocą dwóch listew zębatych 151 współpracujących z prowadnicą 152 – w przykładzie wykonania są one identyczne, z możliwością montażu na każdej z nich potrzebnej liczby głowic pomiarowych 22. W zaprezentowanym przykładzie wykonania zastosowano konfigurację, w której jedna z listew zębatych 151 jest wyposażona w dwie głowice pomiarowe 22 z mechanizmami docisku 21, zaś

druga listwa zębata 151 jest wyposażona w jedną głowicę pomiarową 22 z mechanizmem docisku 21. Element główny szczęki zaciskowej 122 wraz z napędem liniowym 17 jest osłonięty obudową 11 mechanizmu zaciskowo-napędowego. Każda szczęka składa się z elementu głównego 122 szczęki zaciskowej oraz dwóch ramion 121 szczęki zaciskowej, które wykonują ruch względem elementu głównego wywoływany poprzez napęd liniowy 17, jakim w przykładzie wykonania jest siłownik. Stosując kratowe konstrukcje szczęk uzyskano ich dużą sztywność oraz wytrzymałość przy wymaganej funkcjonalności.

Mechanizm docisku 21 każdej głowicy pomiarowej 22 posiada mocowanie mechanizmu dociskowego 23, osłonę głowicy 24, sprężyną 25, napęd mechanizmu docisku 26 oraz prowadnicę liniową 27. Zastosowane rozwiązanie zapewnia dopasowanie położenia głowicy pomiarowej 22 względem badanego rurociągu poprzez prowadnicę liniową 27 oraz napęd mechanizmu 26 docisku. W przenoszeniu napędu z silnika elektrycznego zastosowano śrubę trapezową napędzaną systemem przekładni. Łożyskowana śruba trapezowa obracając się generuje siłę przekazywaną do konstrukcji z głowicą pomiarową 22 oraz do łap dociskowych mechanizmu docisku 21.

Każda głowica pomiarowa 22 znajduje się w osłonie głowicy 24 umożliwiającej regulowany docisk, za pomocą sprężyny 25 do badanej powierzchni rurociągu, zapewniając powtarzalne przeprowadzenie pomiaru stanu rurociągu. W innym przykładzie realizacji osłona głowicy dodatkowo jest samonastawna zapewniając w trakcie pomiaru prostopadłe umieszczanie się głowicy 22 w stosunku do rurociągu podczas wykonywania pomiaru. Istotnym jest zapewnienie docisku głowicy pomiarowej 22 w miejscu pomiaru badanego rurociągu w zakresie od 4 kPa do 12 kPa, korzystnie 8 kPa. Zespół pomiarowy głowicy pomiarowej 22 wykonawczego układu pomiarowego 2 jest zamontowany do prowadnicy zębatej 152 przy użyciu mocowania 23 mechanizmu dociskowego. Elementy mechanizmu docisku 21 realizują funkcje uchwytu dla głowicy 22 z wymaganym dociskiem realizowanym przez sprężynę 25 oraz niezależnie pozycjonują i zapewniają mocowanie robota na rurociągu. Łapa mechanizmu docisku 21 poprzez napęd mechanizmu docisku 26 dociskana jest do rurociągu z siłą kilka razy większą niż docisk głowicy 22 do rurociągu.

Zespoły mechanizmu 1 zaciskowo-napędowego są połączone ze sobą ramą przegubową 3 posiadającej pierwszy oraz drugi 32, 33 element, z zastosowanym przegubem umożliwiającym kontrolowany obrót obudowy poprzez umieszczenie napędu do konfiguracji 31 ustawienia ramy bezpośrednio w osi obrotu. Zastosowane rozwiązanie zapewnia zwartą budowę robota oraz podniesienie jednego z zespołów mechanizmu 1 zaciskowo-napędowego podczas omijania przeszkody, podczas gdy drugi zespół mechanizmu 1 zaciskowo-napędowego jest połączony z rurociągiem. W pierwszym elemencie ramy 32 umieszczono komponenty elektroniczne układu pomiarowego ze sterownikiem, zaś w drugim elemencie ramy 33 umieszczono układ diagnostyczny, korzystnie defektoskop wraz z układem podającym środek zwilżający pod głowicę pomiarową 22, korzystnie ultradźwiękową podczas prowadzonego pomiaru.

Zastrzeżenia patentowe

1. Robot do kontroli rurociągu o budowie modułowej, zawierający ramę oraz wykonawczy układ pomiarowy ze sterownikiem nadzorującym za pomocą serwomechanizmów elektrycznych pracę układów, w tym ruchowych i pomiarowych robota, oraz elementy prowadzące, **znamienny tym**, że jest zbudowany z dwóch zespołów mechanizmu zaciskowo-napędowego (1) połączonych ramą przegubową (2) w którym, w każdym zespole znajdują się szczęki zaciskowe, których główne elementy są połączone z przekładniami zębatymi wywołującymi ruch obwodowy głowic pomiarowych (22) z mechanizmem docisku (21) wokół rurociągu.
2. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że głowice pomiarowe (22) wraz z listwami zębatymi (151) przekładni zębatych poruszają się wokół rurociągu po prowadnicy (152).
3. Robot według zastrz. 2, **znamienny tym**, że prowadnica (152) posiada w przekroju poprzecznym co najmniej jedną oś symetrii.
4. Robot według zastrz. 3, **znamienny tym**, że prowadnica (152) posiada przekrój poprzeczny „jaskółczego ogona".
5. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przekładni zębatej zespołu mechanizmu zaciskowo-napędowego (1) wzajemny ruch względny między sobą listew zębatych (151) po prowadnicy (152) jest realizowany poprzez przenoszenie ruchu obrotowego każdego koła zębatego (18) na współpracującą z nim listwę zębatą (151).

6. Robot według zastrz. 3, **znamienny tym**, że jedna z listew zębatych (151) jest wyposażona w dwie głowice pomiarowe (22), zaś druga z listew zębatych (151) jest wyposażona w jedną głowicę pomiarową (22).
7. Robot według zastrz. 2, **znamienny tym**, że głowica pomiarowa (22) jest umieszczona w samonastawnej osłonie.
8. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mechanizm docisku (21) zawiera sprężynę (25) współpracującą z napędem mechanizmu docisku (26).
9. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mechanizm docisku (21) zapewnia regulowany docisk głowicy pomiarowej (22) do rurociągu w zakresie od 4 kPa do 12 kPa, korzystnie 8 kPa.
10. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespół mechanizmu zaciskowo-napędowego (1) jest wyposażony w trzy zespoły napędowe ruchu wzdłużnego robota oraz w napęd liniowy (17) generujący zacisk szczypcowy, umieszczony w obudowie (11) mechanizmu zaciskowo-pomiarowego.
11. Robot według zastrz. 10, **znamienny tym**, że symetralna odcinka wyznaczonego przez punkty styku elementów zespołu napędowego ruchu wzdłużnego robota z rurociągiem leży w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś symetrii przekroju poprzecznego prowadnicy (152) podczas ruchu obwodowego listew zębatych (151) wokół rurociągu.
12. Robot według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rama przegubowa (2) składa się pierwszego i drugiego (32, 33) elementu ramy połączonych przegubem z napędem do konfiguracji ustawienia ramy (31).

Rysunki

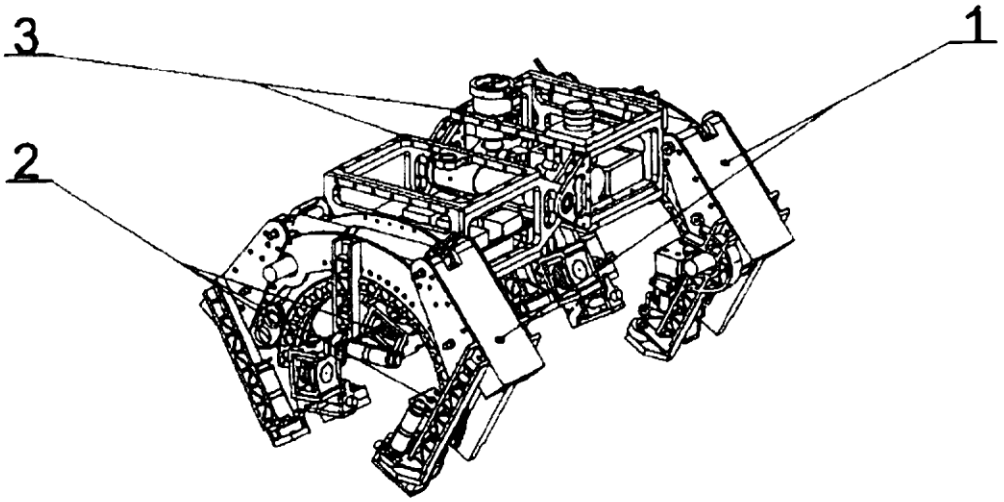

Fig. 1

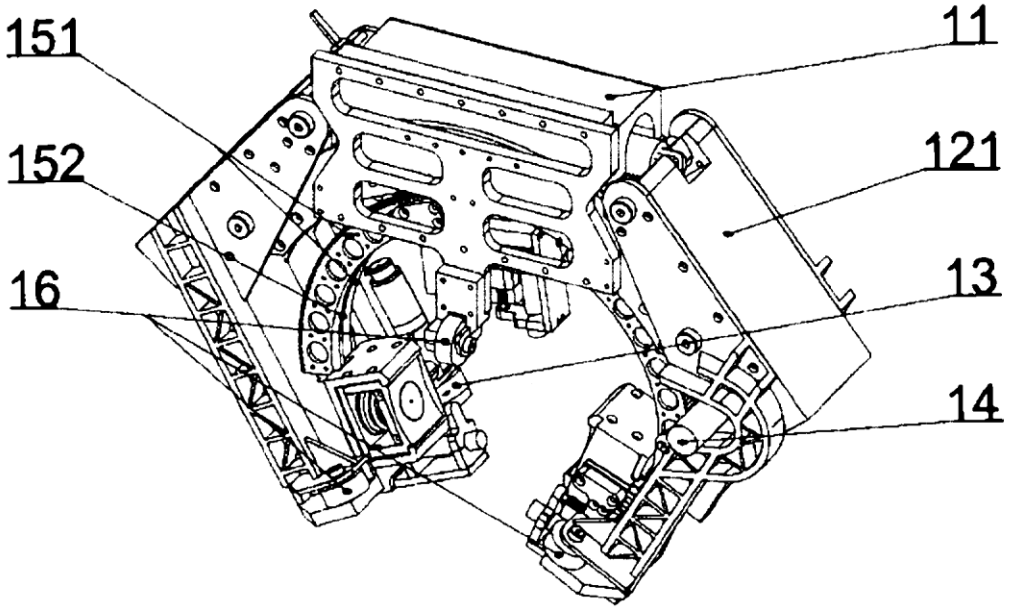

Fig. 2

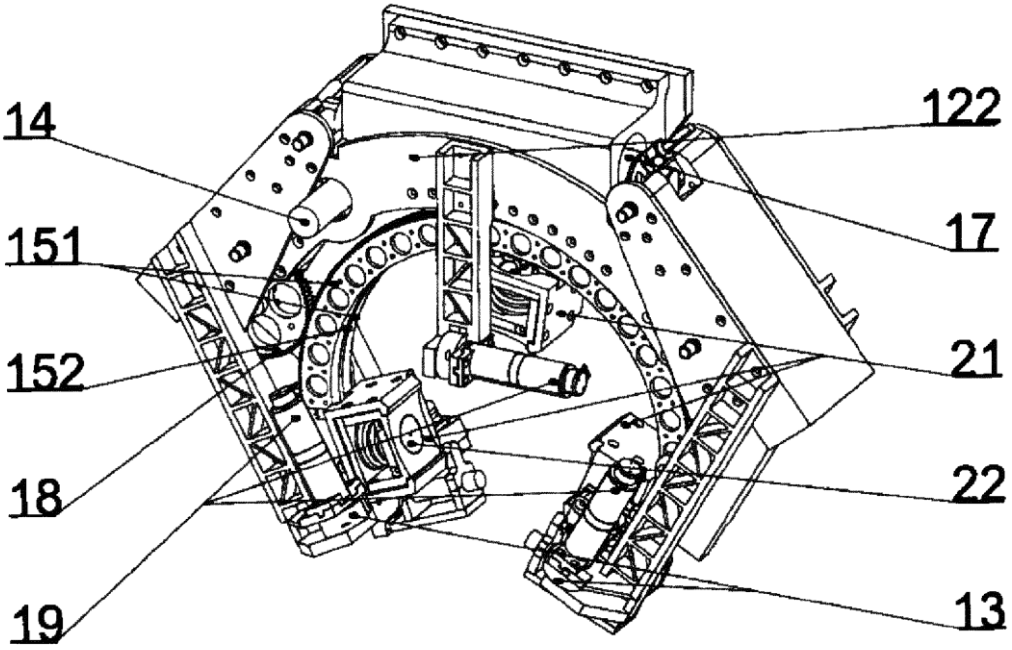

Fig. 3

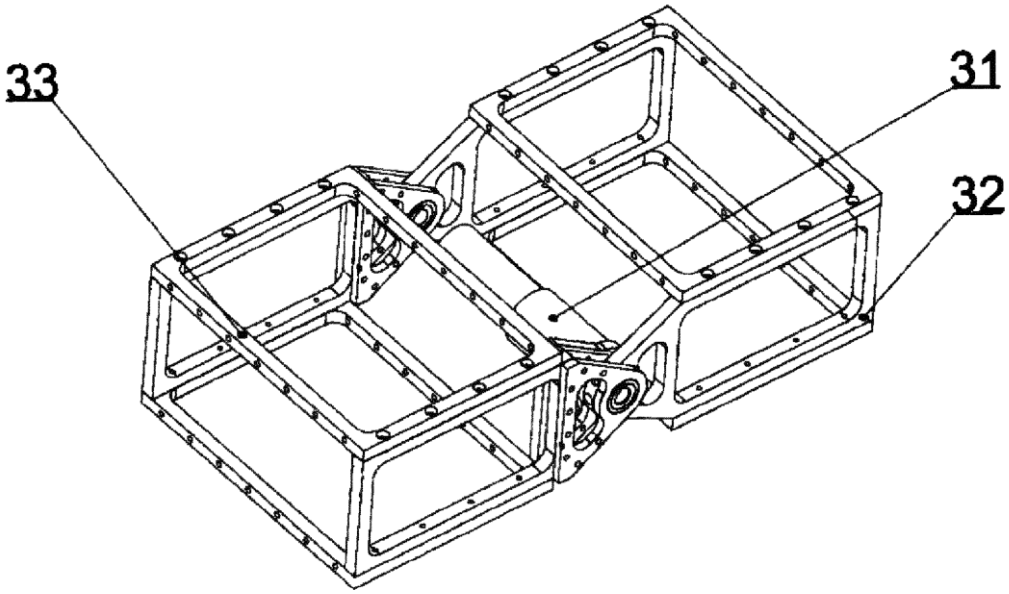

Fig. 4

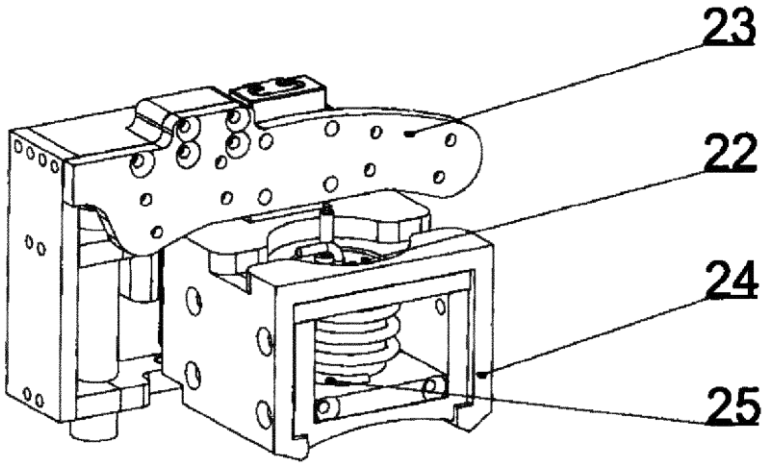

Fig. 5

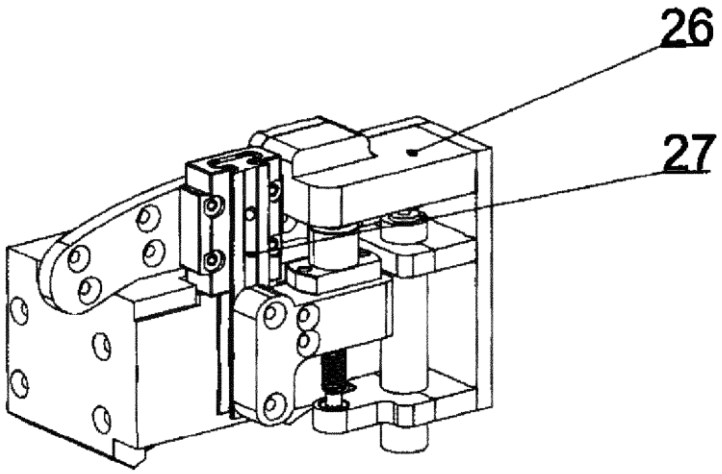

Fig. 6