

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **226149**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **408804**

(51) Int.Cl.
F15B 1/04 (2006.01)
F15B 21/14 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **10.07.2014**

(54)

Akumulator hydrauliczny

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

18.01.2016 BUP 02/16

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.06.2017 WUP 06/17

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI, Kraków, PL
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

WALDEMAR ŁATAS, Niepołomice, PL
JERZY STOJEK, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Andrzej Stachowski

PL 226149 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest akumulator hydrauliczny zawierający cieczowe koło zamachowe o zmiennym momencie bezwładności, przeznaczony do gromadzenia zarówno energii hydrostatycznej jak i energii kinetycznej ruchu obrotowego.

Możliwość magazynowania i odzysku energii stanowi ważne zagadnienie techniczne, które należy uwzględnić na etapie projektowania jak i podczas późniejszej eksploatacji nowoczesnych maszyn i urządzeń. Energia ta, gromadzona w różnej postaci, np. mechanicznej (koło zamachowe), elektrycznej (akumulatory) czy też hydrostatycznej (akumulatory hydrauliczne) może pochodzić zarówno z nadwyżki eksploatacyjnej jak również z jej rekuperacji podczas pracy urządzenia. Do najważniejszych cech zmagazynowanej energii należy zaliczyć łatwość powtórnego jej wykorzystania jak i jej gęstość.

Magazynowanie energii hydrostatycznej jest ważnym zagadnieniem ze względu na jej powszechne występowanie w wielu układach maszyn i urządzeń, przykładowo takich jak napędy hydrostatyczne pojazdów, hydrauliczne układy ciężkich maszyn roboczych, układy pras i podnośników.

W tego typu konstrukcjach odzyskiwanie energii może odbywać się podczas hamowania pojazdu, luzowania obciążenia organów roboczych maszyny czy też skrętu członów wykonawczych urządzenia.

Obecnie powszechnie wykorzystywanym elementem do gromadzenia energii hydrostatycznej jest akumulator hydrauliczny, w którym gromadzona jest ciecz hydrauliczna (olej, emulsja hydrostatyczna), najczęściej pod ciśnieniem sprężonego gazu. Gęstość gromadzonej w ten sposób energii hydrostatycznej, rzędu 10 kJ/kg, jest znacząco niska w porównaniu do innych urządzeń magazynujących energię mechaniczną czy też elektryczną (np. akumulatory elektryczne).

Dotychczasowe zabiegi zmierzające do podwyższenia gęstości energii zmagazynowanej w znanych, konwencjonalnych akumulatorach hydraulicznych skierowane są przede wszystkim na poprawę procesu sprężania i rozprężania zawartego w akumulatorze gazu podczas ładowania i rozładowania akumulatora cieczą, tak aby proces ten przebiegał według przemiany termodynamicznej jak najbardziej zbliżonej do przemiany izotermicznej. Z doniesień literaturowych, np. Otis, D. R.: *Thermal losses in gas-charged hydraulic accumulators*, Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Philadelphia, PA (1973), pp. 198–201 wiadomo, że w tym celu korzystnie jest stosować akumulatory hydrauliczne z izolacją piankową.

Niemniej jednak, nadal konieczność stosowania dużych i ciężkich zespołów konwencjonalnych akumulatorów hydraulicznych w hybrydowych pojazdach z napędem hydrostatycznym stanowi poważną barierę w ich dalszym rozwoju. Obecnie stosowane hybrydowe układy hydrostatyczne nie mogą konkurować z lepszymi i bardziej wydajnymi hybrydowymi napędami elektrycznymi.

Z artykułu Van de Ven, J. D.: *Increasing hydraulic energy storage capacity: flywheel-accumulator*, International Journal of Fluid Power 10 (2009) No. 3 pp. 41–50 oraz opisu zgłoszenia patentowego US 2012/0011960 znany jest akumulator hydrauliczny zawierający cieczowe koło zamachowe o zmiennym momencie bezwładności, przeznaczony do gromadzenia łącznie energii hydrostatycznej oraz energii kinetycznej ruchu obrotowego.

Według tego znanego rozwiązania, akumulator zawiera cieczowe koło zamachowe, które ma mogący wirować cylinder z umieszczonym wewnątrz przesuwным członem (tłokiem), dzielącym przestrzeń (objętość) cylindra na pierwszą komorę zawierającą sprężony gaz i drugą komorę, zawierającą ciecz w ilości zależnej od prędkości obrotowej cylindra. Druga komora ma przyłącze pozwalające połączyć ją ze zbiornikiem cieczy. Ponadto, cylinder koła cieczowego tego akumulatora jest zaopatrzony w ułożyskowany obrotowo wał, który może być przyłączony do elementu wprawiającego akumulator w ruch obrotowy, takiego jak silnik, który zmieniając prędkość obrotową steruje zarazem ilością cieczy w drugiej komorze i pozwala na gromadzenie w akumulatorze zarówno energii hydrostatycznej jak i kinetycznej. Wał akumulatora może też być połączony z przełączalną hydrauliczną pompą-silnikiem, co upraszcza tak magazynowanie, jak i odbiór zgromadzonej w akumulatorze energii. Rozwiązanie to pozwala około 10-krotnie zwiększyć gęstość magazynowanej energii w porównaniu do konwencjonalnych akumulatorów hydraulicznych.

Celem wynalazku jest zwiększenie sprawności znanego akumulatora hydraulicznego z cieczowym kołem zamachowym o zmiennym momencie bezwładności zarówno przez modyfikację jego konstrukcji mechanicznej, jak i przez zbliżenie termodynamicznej przemiany gazu podczas ładowania i rozładowania akumulatora cieczą do procesu izotermicznego.

Zgodnie z wynalazkiem, akumulator hydrauliczny zawierający obrotowo podparte cieczowe koło zamachowe o zmiennym momencie bezwładności, które ma cylinder z umieszczonym wewnątrz przesuwным tłokiem dzielącym przestrzeń cylindra na pierwszą komorę, zawierającą sprężony gaz i drugą komorę, zawierającą roboczą ciecz w ilości zależnej od prędkości obrotowej cylindra, przy czym cieczowe koło ma co najmniej środek techniczny przystosowany do połączenia z elementem napędzającym je ruchem obrotowym dla zgromadzenia w akumulatorze energii, środek techniczny przystosowany do połączenia drugiej komory ze źródłem cieczy dla gromadzenia jej w akumulatorze i usuwania jej z akumulatora oraz środek techniczny przystosowany do połączenia z elementem odbierającym zgromadzoną w akumulatorze energię, charakteryzuje się tym, że jego cieczowe koło zamachowe zawiera dwa cylindry usytuowane jeden w drugim, koncentrycznie względem osi obrotu koła, z których wewnętrzny stanowi zbiornik dla sprężonego gazu, a zewnętrzny jest podzielony przesuwным pierścieniowym tłokiem na dwie komory o zmiennych objętościach, z których pierwsza jest połączona z wewnętrznym cylindrem, podczas gdy druga jest zaopatrzona w co najmniej jeden kanał do doprowadzania do niej i wyprowadzania z niej roboczej cieczy.

Korzystnie, cieczowe koło zamachowe o zmiennym momencie bezwładności jest poprzez sprzęgło, najlepiej elektromagnetyczne, połączone mechanicznie z przełączalną jednostką hydrostatyczną, pracującą w charakterze pompy lub silnika wyporowego o regulowanej chłonności komór wyporowych, przy czym jednostka hydrostatyczna jest hydraulicznie połączona z jednej strony ze źródłem roboczej cieczy, a z drugiej z cieczowym kołem oraz z przyłączem akumulatora do układu hydrostatycznego.

Korzystnie jest poza tym, gdy pierwsza komora i druga komora są z obydwu stron koła domknięte pokrywami wyposażonymi w czopy, usytuowane w osi obrotu cieczowego koła, które to czopy są obrotowo posadowione w łożyskach, a ponadto gdy w każdej z pokryw są uformowane przepływowe kanały, połączone z głównymi kanałami usytuowanymi w osi czopów, wyznaczającymi w czołach czopów obszary dla obrotowych przyłączy gazu pod ciśnieniem i roboczej cieczy w celu napełnienia pierwszej komory i wewnętrznego cylindra sprężonym gazem do zadanej wartości ciśnienia, a ponadto doprowadzania do i odprowadzania z drugiej komory roboczej cieczy podczas ładowania i rozładowywania akumulatora.

Konstrukcja akumulatora według wynalazku pozwala na łączne magazynowanie energii w postaci energii hydrostatycznej oraz energii kinetycznej ruchu obrotowego. Rozwiązanie to posiada zarazem właściwości konwencjonalnego akumulatora hydraulicznego i cieczowego koła zamachowego o zmiennym momencie bezwładności.

Dzięki zmianie konstrukcji koła cieczowego uzyskuje się według wynalazku akumulator, w którym przy niewielkich jego gabarytach można uzyskać gęstość zmagazynowanej energii powiększoną do 50% od mogącej być zmagazynowaną w znanym akumulatorze z cieczowym kołem zamachowym o zmiennym momencie bezwładności.

Proponowana konstrukcja ma także korzystniejsze niż w znanym rozwiązaniu termodynamiczne warunki pracy zamkniętej przestrzeni w której sprężany jest gaz, dzięki lepszemu termoizolowaniu wewnętrznego cylindra. W konstrukcji według wynalazku sprężanie gazu do wewnętrznego cylindra przy jednoczesnym zapełnieniu cylindra zewnętrznego olejem, zwiększa izolacyjność gazu, a to umożliwia pracę akumulatora (jego ładowanie i rozładowywanie) w warunkach termicznych bliskich izotermicznym. Dodatkową zaletą konstrukcji według wynalazku, jest zmniejszenie dyssypacji energii przy wprawianiu cieczy w ruch obrotowy, gdyż zachodzi ono poprzez obrót pomiędzy dwoma cylindrycznymi powierzchniami.

Tym samym wynalazek niweluje niedogodności obecnie stosowanych akumulatorów, co znacząco poszerza możliwość jego zastosowania w hydrostatycznych układach napędowych z odzyskiem energii.

Wynalazek objaśniono szczegółowo poniżej w opisie przykładu wykonania i przykładach zastosowania oraz na załączonych rysunkach, na których:

Fig. 1 przedstawia schemat ideowy przykładowego akumulatora według wynalazku,

Fig. 2 przedstawia schemat konstrukcyjny cieczowego koła zamachowego o zmiennym momencie bezwładności, zastosowanego w przykładowym akumulatorze,

Fig. 3 przedstawia przekrój A–A na fig. 2,

Fig. 4 przedstawia schemat konstrukcyjny dla modelu obliczeniowego cieczowego koła zamachowego o zmiennym momencie bezwładności w przykładowym akumulatorze,

Fig. 5 przedstawia schemat rozkładu ciśnienia na powierzchniach tłoka cieczowego koła zamachowego w przykładowym akumulatorze,

Fig. 6 przedstawia schemat ideowy pracy przykładowego akumulatora w trybie hydrostatycznym (przy braku ruchu obrotowego cieczowego koła zamachowego),

Fig. 7 przedstawia schemat ideowy pracy przykładowego akumulatora w trybie kinetycznym,

Fig. 8 przedstawia schemat ideowy pracy przykładowego akumulatora w trybie hydrostatyczno-kinetycznym,

Fig. 9 przedstawia schemat ideowy hydrostatycznego hybrydowego układu jezdnego z akumulatorem według wynalazku,

Fig. 10 przedstawia schemat ideowy układu odzysku energii z akumulatorem według wynalazku podczas opuszczania podniesionej masy,

Fig. 11 przedstawia schemat ideowy układu odzysku energii z akumulatorem według wynalazku zastosowanym w układzie napędu kolumny ramienia wysięgnika,

Fig. 12a przedstawia schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora według wynalazku, opróżnionego całkowicie z oleju,

Fig. 12b przedstawia schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora według wynalazku, częściowo napełnionego olejem,

Pos. 1a przedstawia schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora znanego ze zgłoszenia patentowego US 2012/0011960, opróżnionego całkowicie z oleju,

Pos. 1b przedstawia schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora znanego ze zgłoszenia patentowego US 2012/0011960, częściowo napełnionego olejem.

Opis przykładu realizacji wynalazku.

Przykładowy akumulator hydrauliczny według wynalazku składa się z układu cieczowego koła zamachowego 1 o zmiennym momencie bezwładności, które poprzez sterowane elektromagnetycznie sprzęgło 2 połączone jest mechanicznie z przełączalną jednostką hydrostatyczną 3, pracującą w charakterze pompy lub silnika waporowego o regulowanej chłonności (wydajności) komór waporowych, przy czym jednostka hydrostatyczna 3 jest połączona hydraulicznie z jednej strony ze zbiornikiem 4 roboczej cieczy (np. oleju), a z drugiej z cieczowym kołem 1 i z układem hydrostatycznym, w którym akumulator pracuje. Schematyczny układ przykładowego akumulatora pokazano na rysunku na fig. 1.

W prezentowanym przykładzie konstrukcyjnym wykonania akumulatora (fig. 2 i fig. 3), konstrukcja cieczowego koła zamachowego 1 o zmiennym momencie bezwładności zawiera dwa współosiowo usytuowane cylindry – zewnętrzny 5 i wewnętrzny 6, pomiędzy którymi posadowiony jest suwliwie pierścieniowy tłok 7, dzielący utworzoną w ten sposób pierścieniową przestrzeń między cylindrami 5 i 6 na dwie komory robocze akumulatora, tj. na pierwszą komorę gazową 8 i drugą komorę cieczową (olejową) 9.

Komory 8 i 9 z obydwu stron domknięte są pokrywami 10, skręconymi ze sobą czterema gwintowymi elementami 11. Pokrywy 10 są wyposażone w czopy 12, usytuowane w osi obrotu cieczowego koła 1, współosiowo z cylindrami 5 i 6. Czopy 12 są obrotowo posadowione w łożyskach 13.

Ponadto w obu pokrywach 10 są uformowane przepływowe kanały, połączone z głównymi kanałami - 14 od strony pierwszej komory 8 i 15 od strony drugiej komory 9. Główne kanały 14 i 15 są usytuowane w osi obrotu koła 1 w celu dogodnego zapewnienia z jednej strony doprowadzania do drugiej komory 9 ciekłego roboczego czynnika (np. oleju) podczas ładowania akumulatora oraz odprowadzania ciekłego roboczego czynnika z drugiej komory 9 podczas rozładowywania akumulatora, a poza tym z drugiej strony – do doprowadzenia do pierwszej komory 8 i wewnętrznego cylindra 6 koła 1 sprężonego gazu (np. azotu) i wstępnego napełnienia nim komory 8 i wewnętrznego cylindra 6 do zadanej wartości ciśnienia. Wyloty wspomnianych kanałów 14 i 15 wyznaczają w czołach czopów 12 obszary dla obrotowych przyłączy gazu pod ciśnieniem i roboczej cieczy.

Zrozumiałym jest przy tym dla znawcy, że w celu praktycznej (przemysłowej) realizacji wynalazku zarówno ruchomy pierścieniowy tłok 7 jak i pokrywy 10 powinny być wyposażone w zestaw uszczelnień spoczynkowo-ruchowych, a główny kanał 14 dla gazu (azotu) powinien być ponadto wyposażony w zawór zwrotny, uniemożliwiający wypływ wtłoczonego gazu na zewnątrz koła 1.

Obliczenie gęstości energii zmagazynowanej w akumulatorze.

Wyznaczenie efektywnej gęstości zmagazynowanej energii w przedstawionym powyżej akumulatorze wymaga określenia stosunku całkowitej zgromadzonej energii do masy akumulatora.

Przed przystąpieniem do obliczenia wielkości zmagazynowanej energii przyjęte zostały następujące założenia:

- sprężanie i rozprężanie, czynnika gazowego w akumulatorze odbywa się według przemiany izotermicznej,
- gęstość oraz lepkość czynnika roboczego są stałe,
- czynnik roboczy jest nieściśliwy,
- odkształcenie cylindrów akumulatora podczas wzrostu ciśnienia czynnika roboczego jest pomijalnie małe,
- przemieszczenie pierścieniowego tłoka w cylindrze akumulatora odbywa się beztarciowo (nie występują straty energii),
- brak strat ciśnienia w przepływowych kanałach pokryw akumulatora oraz podczas przesuwania tłoka.

Na rysunku fig. 4 zaprezentowano model obliczeniowy koła zamachowego o zmiennym momencie bezwładności, wchodzącego w skład przykładowego akumulatora według wynalazku. Przyjęte do obliczeń oznaczenia charakterystycznych wielkości fizycznych (uwidocznionych na fig. 4) zestawiono poniżej:

- D_z – zewnętrzna średnica cylindra zewnętrznego [m]
- D_w – wewnętrzna średnica cylindra zewnętrznego [m]
- d_z – zewnętrzna średnica cylindra wewnętrznego [m]
- d_w – wewnętrzna średnica cylindra wewnętrznego [m]
- L – długość cylindra [m]
- D – średnica pokrywy [m] h - grubość pokrywy [m]
- V_o – początkowa objętość gazu [m^3]
- V_1 – końcowa objętość gazu [m^3]
- e – szerokość tłoka [m]
- x – przemieszczenie tłoka [m]
- $V(x)$ – aktualna objętość gazu [m^3]
- P_{oi} - gęstość oleju [kg/m^3]
- P_{ob} – gęstość obudowy [kg/m^3]
- P_0 – początkowe ciśnienia gazu w cylindrach akumulatora [Pa]
- P_s – ciśnienie w układzie hydraulicznym [Pa]
- $p(x)$ – ciśnienie gazu zależne od przemieszczenia tłoka [Pa]
- $p(r)$ – promieniowy rozkład ciśnienia oleju wewnątrz cylindra [Pa]
- ω – prędkość kątowna [rad/s]
- $m_{całk}$ – masa całkowita [kg]

Siły działające na powierzchnie tłoka po obu jego stronach związane są z oddziaływaniem ciśnienia gazu i czynnika roboczego (oleju). Wprawienie koła zamachowego akumulatora w ruch obrotowy powoduje, że zarówno na ciecz jak i gaz, znajdujące się w komorach koła zamachowego, oddziałuje siła odśrodkowa. Ponieważ gęstość gazu w stosunku do gęstości czynnika roboczego jest stosunkowo niska, ruch obrotowy koła zamachowego akumulatora będzie wywierał wpływ głównie na rozkład ciśnienia w komorze wypełnionej czynnikiem roboczym, co pokazano schematycznie na fig. 5.

Początkową objętość gazu zajmującego cylindry akumulatora przed procesem jego sprężania określa wyrażenie:

$$V_0 = \frac{\pi}{4}(D_w^2 - d_z^2)(L - e) + \frac{\pi}{4}d_w^2L$$

W wyniku wykonania przez tłok pełnego skoku na odległość $(L - e)$ gaz zostaje sprężony, a jego końcowa objętość w cylindrze akumulatora wyniesie:

$$V_1 = \frac{\pi}{4}d_w^2L$$

Chwilowa objętość gazu związana z aktualnym przemieszczeniem x tłoka w cylindrze akumulatora dana jest wzorem:

$$V(x) = \frac{\pi}{4}(D_w^2 - d_z^2)(L - e - x) + \frac{\pi}{4}d_w^2L$$

Ponieważ przyjęto, że proces sprężania przebiega według przemiany izotermicznej, opisaną równaniem:

$$p_0 V_0 = p(x) V(x)$$

to po podstawieniu wyrażeń na V_0 i $V(x)$ otrzymuje się wartość ciśnienia gazu w akumulatorze w zależności od położenia tłoka:

$$p(x) = \frac{P_0 V_0}{V(x)} = p_0 \frac{(D_w^2 - d_z^2)(L - e) + d_w^2 L}{(D_w^2 - d_z^2)(L - e - x) + d_w^2 L}$$

Pochodząca od sprężonego gazu siła działająca na tłok (z lewej strony, jak pokazano na fig. 4 i fig. 5) wynosi w zależności od przesunięcia x tłoka:

$$F_L = p(x) \frac{\pi}{4} (D_w^2 - d_z^2) = \frac{\pi p_0 V_0}{4 V(x)} (D_w^2 - d_z^2)$$

Do obliczenia wartości siły działającej na tłok od strony czynnika roboczego (tj. z prawej strony, jak pokazano na fig. 4 i fig. 5) potrzebna jest znajomość promieniowego rozkładu ciśnienia na tej powierzchni, danego wzorem:

$$p(r) = p_s + \frac{P_{ot} \omega^2 r^2}{2}$$

Uwzględniając powyższe wyrażenie oblicza się wartość siły F działającej na wycinek koła pomiędzy promieniami r_1 oraz r_2 wg wzoru:

$$F = \int_{r_1}^{r_2} p(r) 2\pi r dr = \pi p_0 (r_2^2 - r_1^2) + \pi \frac{P_{ot} \omega^2}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$

Po podstawieniu $r_2 = \frac{D_w}{2}$, $r_1 = \frac{d_z}{2}$ otrzymuje się wartość siły działającej na prawą powierzchnię tłoka:

$$F_p = \frac{\pi}{4} \left[p_0 (D_w^2 - d_z^2) + \frac{P_{ot} \omega^2}{16} (D_w^4 - d_z^4) \right]$$

Z warunku równowagi:

$$F_L = F_p$$

wyznacza się panujące w układzie ciśnienie p_s w zależności od prędkości kątowej koła zamachowego akumulatora oraz przemieszczenia tłoka:

$$p_s = p_0 \frac{E}{E - (D_w^2 - d_z^2)x} - \frac{P_{ot} \omega^2}{16} (D_w^2 + d_z^2)$$

gdzie oznaczono:

$$E = (D_w^2 - d_z^2)(L - e) + d_w^2 L$$

Obliczenie całkowitej energii zgromadzonej podczas ładowania akumulatora wymaga obliczenia energii hydrostatycznej czynnika roboczego oraz energii kinetycznej wprowadzonego w ruch obrotowy koła zamachowego akumulatora.

Podczas sprężania gazu w komorze akumulatora praca, która zostaje wykonana zwiększa jego wewnętrzną energię potencjalną o wielkość:

$$E_{pot} = p_0 V_0 \ln \frac{V_0}{V(x)}$$

Energia kinetyczna ruchu obrotowego dana jest wzorem:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} I_{cat} \omega^2$$

Całkowity moment bezwładności cieczonego koła zamachowego akumulatora jest sumą momentów stałych części składowych (cylindrów, pokryw oraz tłoka) oraz części płynnej (zgromadzonego ciekłego czynnika roboczego) i wynosi:

$$I_{cał} = I_{ob} + I_{tł} + I_{ol} + 2I_{pok} + 4I_{śr}$$

gdzie:

$$I_{ob} = \pi \frac{P_{ob}}{32} [(D_z^4 - D_w^4) + (d_z^4 - d_w^4)]L - \text{moment bezwładności obudowy}$$

$$I_{tł} = \pi \frac{P_{ob}}{32} (D_w^4 - d_z^4)e - \text{moment bezwładności tłoka}$$

$$I_{ol} = \pi \frac{P_{ol}}{32} (D_w^4 - d_z^4)x - \text{moment bezwładności oleju}$$

$$I_{pok} = \pi \frac{P_{ob}}{32} D^4 h - \text{moment bezwładności pokrywy}$$

$$I_{śr} - \text{moment bezwładności śruby mocującej}$$

Całkowita energia zgmagazynowana w akumulatorze stanowi sumę energii kinetycznej ruchu obrotowego i potencjalnej energii hydrostatycznej:

$$E_{cał} = E_{pot} + E_{kin}$$

Gęstość zgmagazynowanej w akumulatorze energii stanowi stosunek energii całkowitej do jego masy

$$G_{Ecał} = \frac{E_{cał}}{m_{cał}}$$

Tryby pracy akumulatora.

Gromadzenie energii w akumulatorze według wynalazku może odbywać się w trzech trybach pracy (hydrostatycznym, kinetycznym oraz hydrostatyczno-kinetycznym), przy czym gęstość zgmagazynowanej w akumulatorze energii jest zależna od postaci całkowitej zgromadzonej energii (tzn. odpowiednio: potencjalnej, kinetycznej lub równocześnie kinetycznej i potencjalnej).

Tryb pracy hydrostatyczny.

Magazynowanie energii w trybie hydrostatycznym (fig. 6) występuje gdy cieczowe koło zamachowe 1 nie obraca się (przełączalna jednostka hydrostatyczna 3 nie przekazuje momentu obrotowego na koło 1 bo sprzęgło 2 jest rozłączone). Ma to miejsce w przypadku wcześniejszego wystawienia cewki rozdzielacza R1 (przy braku wystawienia rozdzielacza R2). Druga komora 9 cieczowego koła zamachowego 1 zostaje wtedy zasilona roboczym czynnikiem przy równoczesnym braku zasilania jednostki hydrostatycznej 3 akumulatora.

W stanie początkowym, przy braku ruchu obrotowego koła zamachowego 1, gdy wartość ciśnienia oleju po prawej stronie pierścieniowego tłoka 7 jest mniejsza od wartości ciśnienia gazu panującego na jego lewej powierzchni, tłok 7 zajmuje prawe skrajne położenie bezpośrednio przy pokrywie 10 zamykającej cylindry 5 i 6 z prawej strony. W stanie tym cała przestrzeń w cylindrach 5 i 6 akumulatora zajęta jest przez gaz. Jeżeli ciśnienie oleju w eksploatowanym układzie wzrośnie powyżej przyjętej wartości ciśnienia wstępnego sprężenia gazem, pierścieniowy tłok 7 zaczyna przemieszczać się w lewo, a tym samym druga komora 9 koła zamachowego 1 wypełnia się czynnikiem roboczym (olejem) pod ciśnieniem. Ruch tłoka 7 trwa do momentu gdy siły wynikające z ciśnień na obydwu powierzchniach tłoka 7 zrównoważą się. Jako że podczas gromadzenia energii nie zachodzi jej przemiana, cała zgmagazynowana w akumulatorze energia jest wyłącznie energią hydrostatyczną. Magazynowanie energii w tej postaci jest najbardziej efektywne, lecz posiada ona najmniejszą gęstość.

Jeżeli w chwili rozpoczęcia ładowania akumulatora w trybie hydrostatycznym prędkość obrotowa koła zamachowego 1 była różna od zera, to w trakcie ładowania będzie ona malała wskutek wzrostu momentu bezwładności koła 1 (zgodnie z zasadą zachowania krętu), co ma wpływ także na wartość energii kinetycznej.

Tryb pracy kinetyczny.

W przypadku zasilania czynnikiem roboczym (olejem) przełączalnej jednostki hydrostatycznej 3 (pracującej w trybie silnika) akumulatora (po wcześniejszym wystawieniu cewki rozdzielacza R2), przy jednoczesnym braku zasilania drugiej komory 9 koła zamachowego 1, akumulator przechodzi w tryb pracy kinetycznej (fig. 7).

W trybie tym energia akumulatora rośnie w wyniku pracy wykonanej tylko przez moment przyłożony do czopu 12 pokrywy 10 akumulatora (ewentualnie, w innym niż prezentowane tutaj wykonaniu wynalazku, przyłożony do wału cieczowego koła zamachowego akumulatora), co prowadzi do wzrostu prędkości kątowej koła zamachowego 1, przy jednoczesnym spadku ciśnienia w układzie.

Aby zapobiec wyływaniu czynnika roboczego z komory 9, konieczne jest zastosowanie przełączalnej jednostki hydrostatycznej 3 (silnik/pompa) o regulowanej wydajności komór waporowych. Jako że podczas tego trybu pracy dochodzi do zamiany odzyskiwanej energii hydrostatycznej układu hydraulicznego na energię kinetyczną koła zamachowego 1 akumulatora, ten sposób magazynowania energii jest mniej efektywny niż w przypadku pracy akumulatora w trybie wyłącznie hydrostatycznym, lecz zgromadzona w ten sposób energia kinetyczna posiada znacznie większą gęstość w porównaniu do gęstości energii potencjalnej (hydrostatycznej).

Tryb pracy hydrostatyczno-kinetyczny.

W przypadku pracy akumulatora w trybie pracy mieszanej hydrostatyczno-kinetycznej (fig. 8), cewki rozdzielaczy R1 i R2 są wysterowane i czynnik roboczy (olej) zasila jednocześnie obydwa elementy składowe akumulatora, tj. drugą komorę 9 zamachowego koła 1 i komory waporowe przełączalnej jednostki hydrostatycznej 3, pracującej jako silnik.

Na skutek nierównoważenia sił działających na powierzchnie tłoka, przemieszcza się on w lewo sprężając gaz i równocześnie powodując pobranie dodatkowej porcji oleju z układu, co prowadzi do wzrostu momentu bezwładności cieczowego koła zamachowego 1 akumulatora. Proces ten kończy się w chwili zrównoważenia sił działających na powierzchnie tłoka 7.

W tym stanie pracy akumulator gromadzi energię zarówno w postaci energii hydrostatycznej jak i energii kinetycznej ruchu obrotowego cieczy i elementów konstrukcyjnych cieczowego koła 1 akumulatora.

Odzyskiwanie energii zgromadzonej w akumulatorze.

Stan pracy ładowanego energią akumulatora można uzyskać na wiele różnych sposobów, w zależności od przyjętych trybów ładowania i przełączania między nimi. Największą gęstość energii będzie posiadał akumulator naładowany zarówno energią kinetyczną jak i energią hydrostatyczną.

Magazynowanie i następnie odzysk energii (hydrostatycznej i kinetycznej) wymaga połączenia koła zamachowego 1 akumulatora z przełączalną hydrostatyczną jednostką waporową 3, okresowo przełączaną zależnie od potrzeby w tryb pracy pompy lub silnika hydrostatycznego.

Odbiór zmagazynowanej w akumulatorze energii hydrostatycznej jest procesem odwrotnym do jej gromadzenia i polega na wypieraniu zgromadzonego pod ciśnieniem czynnika roboczego do układu hydraulicznego poprzez tłok 7, przemieszczający się w kierunku prawej pokrywy 10 akumulatora.

Odbiór zmagazynowanej w akumulatorze energii kinetycznej wymaga wcześniejszego odłączenia, za pomocą sterowanego elektromagnetycznego sprzęgła 2, wirującego cieczowego koła zamachowego 1 od dotychczas napędzającej go przełączalnej jednostki waporowej 3, pracującej jako silnik hydrostatyczny i przestawienia jednostki waporowej 3 w tryb pracy pompy waporowej. Po ponownym połączeniu jednostki waporowej 3 z kołem zamachowym 1 następuje na wyjściu jednostki waporowej 3 (pracującej już jako pompa) wytworzenie energii hydrostatycznej i zasilenie nią układu.

Przykłady możliwych zastosowań akumulatora.

Akumulator według wynalazku może znaleźć szerokie zastosowanie wszędzie tam, gdzie zapotrzebowanie na energię układów z napędem hydrostatycznym wykazuje duże różnice. Z taką sytuacją mamy do czynienia m.in. w przypadku stosowania centralnych agregatów hydraulicznych, przeznaczonych do zasilania wielu odbiorników, czy też układów napędowych maszyn roboczych. Nadwyżki energii jak i energia pochodząca z jałowych cykli roboczych może zostać zgromadzona w akumulatorze o mniejszej masie oraz gabarytach w porównaniu do obecnie stosowanych konstrukcji.

Ładowanie akumulatora według wynalazku może przebiegać według każdego z opisanych już różnorodnych schematów, podobnie jest w przypadku odzyskiwania energii. Przykładowo, można najpierw naładować akumulator do maksymalnego poziomu energii hydrostatycznej, a następnie do maksymalnego poziomu energii kinetycznej. Rozładowanie może przebiegać według schematu odwrotnego, tzn. najpierw odzyskuje się energię kinetyczną, a następnie hydrostatyczną. Wymienione tryby mogą także zmieniać się cyklicznie w trakcie ładowania oraz rozładowania akumulatora.

Zastosowanie akumulatora w napędach hybrydowych maszyn i pojazdów.

Przykładowy schemat ideowy hydrostatycznego hybrydowego układu jezdnego z przykładowym akumulatorem według wynalazku przedstawiono na fig. 9.

Ładowanie akumulatora w trybie hydrostatycznym następuje po przesterowaniu hydrostatycznego elementu Pm1 na pracę w charakterze pompy wyporowej, przy równoczesnym braku wysteroowania rozdzielacza R (przełączalna hydrostatyczna jednostka wyporowa 3 nie pracuje wtedy). W stanie tym, olej pod ciśnieniem przesuwają pierścieniowy tłok 7 oddzielający komory 8 i 9 koła zamachowego 1, powodując sprężenie gazu przy jednoczesnym pobraniu porcji czynnika roboczego do drugiej komory 9.

Ładowanie akumulatora w trybie kinetycznym uzyskuje się po wcześniejszym przesterowaniu rozdzielacza R w stan drogi przepływowej. W tym trybie przełączalna hydrostatyczna jednostka wyporowa 3 pracuje jako silnik o regulowanej chłonności komór wyporowych.

Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest gromadzenie energii kinetycznej przy stałym momencie bezwładności koła zamachowego 1 akumulatora z nastawianą w szerokim zakresie prędkością obrotową.

Trzeci możliwy typ pracy to równoczesne ładowanie akumulatora energią – częściowo w postaci energii ciśnienia i częściowo energii kinetycznej. W praktyce, ładowanie akumulatora według wynalazku powinno przebiegać zgodnie z przyjętym dopuszczalnym przedziałem zmienności ciśnienia eksploatacji układu.

Zastosowanie akumulatora w mechanizmie podnoszenia i opuszczania masy.

Przykładowy schemat ideowy hydrostatycznego układu do podnoszenia i opuszczania masy (np. podnośnika hydraulicznego) z przykładowym akumulatorem według wynalazku przedstawiono na fig. 10.

Opuszczenie masy m następuje po przesterowaniu lewej cewki rozdzielacza R3. Zgromadzony pod ciśnieniem olej z komór siłowników SH kierowany jest do głównego kanału 15 koła 1 akumulatora. Przy braku wysteroowania cewek rozdzielaczy R4 i R5 (stan jak na fig. 10) odzyskana energia wykorzystywana jest do ładowania akumulatora w trybie hydrostatycznym. Podanie napięcia na cewki rozdzielaczy R4 i R5 prowadzi do przejścia akumulatora w tryb ładowania akumulatora energią kinetyczną. W takim przypadku olej płynie do przełączalnej hydrostatycznej jednostki wyporowej 3 pracującej jako silnik, który poprzez sprzęgło 2 napędza cieczerwowe koło zamachowe 1. Praca akumulatora w trybie mieszanym, polegającym na równoczesnym gromadzeniu energii hydrostatycznej i kinetycznej możliwa jest po wysteroowaniu tylko cewki rozdzielacza R5 (przy braku wysteroowania cewki rozdzielacza R4).

Zgromadzona w akumulatorze energia może zostać z powrotem podana do układu (wspomaganie układu). Jednym z możliwych algorytmów pracy akumulatora jest najpierw odzyskanie energii kinetycznej z cieczerwowego koła zamachowego 1, a następnie energii hydrostatycznej sprężonego gazu. W tym celu jako pierwszy zostaje wysteroowany rozdzielacz R5, następnie wyzwolona zostaje cewka rozdzielacza R4. Przy rozłączonym sprzęgle 2 następuje przesterowanie przełączalnej hydrostatycznej jednostki wyporowej 3 w tryb pracy pompy wyporowej. Następnie po wysteroowaniu sprzęgła 2, na wał przełączalnej jednostki wyporowej 3 (pracującej jako pompa) podawany jest napęd od wirującego koła zamachowego 1 akumulatora (następuje wykorzystanie zgromadzonej energii kinetycznej). Jednostka wyporowa 3 (pracująca jako pompa) pobiera olej ze zbiornika i pod ciśnieniem tłoczy go przez wysterowane rozdzielacze R5 i R3 do głównego układu hydraulicznego. Ponieważ ciśnienie przetłaczanego oleju w układzie rośnie, przełączalna jednostka wyporowa 3 (pompa) doznaje coraz większych oporów ruchu przy przetłaczaniu czynnika, a tym samym prędkość obrotowa na jej wale stale maleje. Po osiągnięciu założonej minimalnej wartości prędkości obrotowej na wale jednostki wyporowej 3 (tj. po spadku energii kinetycznej do zadanej wartości minimalnej) następuje rozłączenie sprzęgła 2 oraz wysteroowanie cewki rozdzielacza R5. Po zdjęciu wysteroowania z cewki rozdzielacza R4 (rozdzielacz R5 jest cały czas wysteroowany), do układu podawana jest zgromadzona w akumulatorze energia hydrostatyczna. Zdjęcie napięcia z cewki rozdzielacza R5 kończy tryb wspomagania głównego obwodu układu hydraulicznego zgromadzoną w akumulatorze energią.

Zastosowanie akumulatora w mechanizmie obrotowym kolumny ramienia wysięgnika. Opisana wyżej możliwość wykorzystania akumulatora według wynalazku dotyczyła odzysku energii w układach, w których człony wykonawcze wykonują ruch posuwisto-zwrotny. Niniejszy przykład pokazuje możliwość zastosowania akumulatora w układach hydraulicznych, których elementy wykonują ruch obrotowy. Na

fig. 11 przedstawiono układ hydrauliczny z przykładowym akumulatorem według wynalazku, służący do odzysku energii ruchu obrotowego kolumny ramienia wysięgnika o dużym momencie bezwładności.

W tego typu układach odzyskiwanie energii może następować podczas zatrzymywania kolumny, tzn. wtedy kiedy napędzający ją dotychczas nastawialny element hydrauliczny SP (pracujący dotychczas jako silnik) zaczyna otrzymywać napęd od wykonującej ruch obrotowy kolumny. Następuje wówczas zmiana charakteru elementu SP z pracy w trybie silnika na tryb pracy pompy.

Wiadomo, że wytworzona w trakcie hamowania kolumny energia hydrostatyczna, jest w konwencjonalnych układach bez odzysku energii zamieniana na ciepło podczas przetłaczania oleju przez wytłumiający bezwładność kolumny zawór maksymalny ZM1.

Natomiast w opisanym poniżej rozwiązaniu z wykorzystaniem akumulatora według wynalazku, energia ta jest odzyskiwana.

W prezentowanym przykładzie, w celu zatrzymania obrotu kolumny ramienia wysięgnika o dużym momencie bezwładności, rozdzielacz R6 centrowany jest w pozycję środkową (fig. 11), tak aby odcięte zostało zasilanie elementu hydraulicznego SP (pracującego jako silnik) wydajnością pompy P. Ponieważ pomimo odcięcia zasilania elementu hydraulicznego SP ramię kolumny wysięgnika będzie dalej dążyło do wykonywania ruchu obrotowego, element hydrauliczny SP przejdzie w tryb pracy pompy wyporowej, zasysając czynnik z gałęzi N przetłaczając go do gałęzi W układu. Ciśnienie w gałęzi N maleje, natomiast w gałęzi W rośnie. W stanie takim, że żaden z suwakowych rozdzielaczy R6, R7, R8, R9 nie jest wysterowany, hamowanie obrotu kolumny realizowane jest w bloku wytłumiania bezwładności BW, w którym energia nie jest odzyskiwana lecz zamieniana na ciepło (wzrost temperatury oleju).

W przypadku gdy zachodzi konieczność odzysku energii podczas wyhamowywania wykonującej obrót kolumny wysięgnika, następuje wysterowanie rozdzielacza R8 lub R7 (w zależności od kierunku obrotu kolumny). Równocześnie przy braku wysterowania cewki rozdzielacza R9 akumulator hydrauliczny gromadzi energię w trybie czysto hydrostatycznym. Po osiągnięciu maksymalnego ciśnienia sprężenia gazu w akumulatorze, następuje wysterowanie rozdzielacza R9 i rozpoczęcie przez akumulator gromadzenia energii w trybie kinetycznym. Tryb pracy kinetycznej akumulatora kończy się po rozłączeniu sprzęgła 2.

Ponowne wykorzystanie zgromadzonej w akumulatorze energii wymaga wcześniejszego wysterowania rozdzielaczy R8 i R9 (lub R7 i R9) oraz przesterowania przełączalnej hydrostatycznej jednostki wyporowej 3 z trybu pracy silnika w tryb pracy pompy. Następnie zostaje załączone elektromagnetyczne sprzęgło 2. W ten sposób energia kinetyczna akumulatora zużytkowana zostaje do napędzania jednostki wyporowej 3 (pompy), która tłoczy olej i podaje go przez wcześniej wysterowane rozdzielacze do gałęzi N układu. Zdjęcie wysterowania z cewki rozdzielacza R9 umożliwi zasilanie gałęzi N układu energią hydrostatyczną.

Budowa układu przedstawionego na fig. 11 jest symetryczna. Zapewnia to odzysk i powtórne wykorzystanie zgromadzonej w akumulatorze energii niezależnie od kierunku obrotu kolumny ramienia wysięgnika. Blok wytłumiania bezwładności BW przy odzysku energii nie pracuje, stanowiąc jedynie zabezpieczenie układu przed zniszczeniem w przypadku awarii jednego z zaworów wykorzystywanych przy odzysku energii akumulatora.

Porównanie możliwości gromadzenia energii w rozwiązaniu według wynalazku i w rozwiązaniu znanym.

W celu porównania możliwości gromadzenia energii w akumulatorze według wynalazku i w znanym akumulatorze, opisanym w zgłoszeniu patentowym US 2012/0011960, przedstawione zostaną wyniki obliczeń dla uproszczonych modeli obydwu konstrukcji. Zasada działania obydwu akumulatorów jest podobna.

Na rysunkach fig. 12a i fig. 12b przedstawiono schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora według wynalazku.

Na rysunkach Pos.1a i Pos.1b przedstawiono schemat cieczowego koła zamachowego akumulatora ze zgłoszenia US 2012/0011960.

W rozwiązaniu według wynalazku, w trakcie ładowania akumulatora cieczą hydrauliczną (olejem) jest ona wtłaczana do cylindrycznej komory pomiędzy cylindrami zewnętrznym 5 i wewnętrznym 6 koła zamachowego 1. W momencie pełnego napełnienia akumulatora cieczą, gaz znajduje się całkowicie wewnątrz wewnętrznego cylindra 6.

W celu porównania obydwu rozwiązań założono, że długości L oraz zewnętrzne promienie R akumulatorów są takie same. Żeby pokazać tylko różnice wynikające z odmiennego sposobu rozmieszczenia cieczy w trakcie ładowania akumulatorów pominięto grubości cylindrów oraz tłoków.

W obliczeniach przyjęto, że maksymalny stopień sprężania wynosi 2,0 oraz założono przemianę izotermiczną gazu.

W konstrukcji według wynalazku, przedstawionej na fig. 12a i fig. 12b przyjęto: $R^* = \frac{\sqrt{2}}{2} R$

Obydwa akumulatory są wstępnie naładowane gazem pod takim samym ciśnieniem p_0 .

W celu porównania wielkości stosowany będzie indeks A dla znanej konstrukcji, przedstawionej na Pos. 1a i Pos. 1b oraz indeks B dla konstrukcji według wynalazku, przedstawionej na fig. 12a i fig. 12b.

Z warunku równowagi sił działających na powierzchnie tłoka można wyznaczyć ciśnienie panujące w układzie hydraulicznym:

$$P_{sA} = P_0 \frac{1}{1-x} - \frac{1}{4} P_{ol} \omega_A^2 R^2, \quad P_{sB} = P_0 \frac{1}{1-\frac{x}{2L}} - \frac{3}{48} P_{ol} \omega_B^2 R^2$$

Maksymalny stopień sprężania, przyjęty w obliczeniach jako 2,0, jest opisany zmiennymi:

$$x = \frac{L}{2}, y = L; \text{ otrzymujemy wtedy}$$

$$P_{sA} = 2P_0 - \frac{1}{4} P_{ol} \omega_A^2 R^2, \quad P_{sB} = 2P_0 - \frac{3}{8} P_{ol} \omega_B^2 R^2$$

Przy tej samej ilości cieczy energia hydrostatyczna obydwu akumulatorów jest taka sama, natomiast pomiędzy momentami bezwładności cieczy zachodzi związek

$$I_B = \frac{3}{2} I_A$$

Taka sama energia kinetyczna obydwu akumulatorów jest zatem osiągana przy prędkościach kątowych spełniających warunek

$$\omega_B^2 = \frac{2}{3} \omega_A^2$$

Jeśli prędkości kątowe będą równe, to takie same ilości cieczy w obydwu akumulatorach mają energie kinetyczne, pomiędzy którymi zachodzi związek

$$E_{kB} = \frac{3}{2} E_{kA}$$

Opierając się na wynikach obliczeń stanów ustalonych przeprowadzonych dla uproszczonych schematów konstrukcji opisanej w zgłoszeniu US 2012/0011960 (Pos. 1a i Pos. 1b) oraz według wynalazku (fig. 12a i fig. 12b), można przedstawić następujące zalety nowego rozwiązania:

– ta sama ilość cieczy ma dla tej samej prędkości kątowej większą energię kinetyczną, czyli także większą gęstość energii;

– ta sama ilość cieczy ma dla tej samej prędkości kątowej większą energię kinetyczną, czyli także większą gęstość energii;

– ta sama ilość cieczy ma taką samą energię kinetyczną dla mniejszej prędkości kątowej.

Zmniejszenie prędkości kątowej koła zamachowego, bez zmniejszenia gęstości magazynowanej energii, ma zasadnicze znaczenie ze względu na obciążenia łożysk wynikające z niewyważenia konstrukcji oraz efektów żyroskopowych.

W pełni naładowane koło akumulatora według wynalazku ma dodatkową, prostopadłą do osi obrotu płaszczyznę symetrii. Powoduje to lepsze wyważenie konstrukcji oraz zmniejszenie reakcji w łożyskach wynikające z sił bezwładności oraz sił żyroskopowych. Konstrukcja akumulatora według wynalazku ma także lepsze własności termoizolacyjne komory, w której sprężany jest gaz. Ponadto, opracowana konstrukcja ze sprężaniem gazu do wewnętrznego cylindra przy jednoczesnym wypełnieniu cylindra zewnętrznego olejem - zwiększa izolacyjność gazu, umożliwiając pracę akumulatora (jego ładowanie i rozładowywanie) w warunkach bardzo zbliżonych do izotermicznych.

Dodatkową zaletą konstrukcji proponowanej według wynalazku jest to, że wprawianie w ruch obrotowy cieczy zachodzi poprzez obrót dwóch powierzchni cylindrycznych, a nie jak dotychczas tylko jednej, przez co zmniejsza się dyssypacja energii.

Zastrzeżenia patentowe

1. Akumulator hydrauliczny zawierający obrotowo podparte cieczowe koło zamachowe o zmiennym momencie bezwładności, które ma cylinder z umieszczonym wewnątrz przesuwным tłokiem dzielącym przestrzeń cylindra na pierwszą komorę, zawierającą sprężony gaz i drugą komorę, zawierającą roboczą ciecz w ilości zależnej od prędkości obrotowej cylindra, przy czym cieczowe koło ma co najmniej środek techniczny przystosowany do połączenia z elementem napędzającym je ruchem obrotowym dla zgromadzenia w akumulatorze energii, środek techniczny przystosowany do połączenia drugiej komory ze źródłem cieczy dla gromadzenia jej w akumulatorze i usuwania jej z akumulatora oraz środek techniczny przystosowany do połączenia z elementem odbierającym zgromadzoną w akumulatorze energię, **znamienny tym**, że jego cieczowe koło zamachowe (1) zawiera dwa cylindry (5) i (6) usytuowane jeden w drugim, koncentrycznie względem osi obrotu koła (1), przy czym wewnętrzny cylinder (6) stanowi zbiornik dla sprężonego gazu, natomiast zewnętrzny (5) jest podzielony przesuwным pierścieniowym tłokiem (7) na dwie komory (8) i (9) o zmiennych objętościach, z których pierwsza (8) jest połączona z wewnętrznym cylindrem (6), podczas gdy druga (9) jest zaopatrzona w co najmniej jeden kanał (15) doprowadzający do niej i wyprowadzający z niej roboczą ciecz.

2. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cieczowe koło zamachowe (1) jest połączone mechanicznie i hydraulicznie z przełączalną jednostką hydrostatyczną (3), przystosowaną do pracy w trybie pompy lub silnika waporowego o regulowanej chłonności komór waporowych.

3. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 2, **znamienny tym**, że cieczowe koło zamachowe (1) jest połączone z przełączalną jednostką hydrostatyczną (3) poprzez sprzęgło (2).

4. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 3, **znamienny tym**, że sprzęgło (2) łączące cieczowe koło zamachowe (1) z przełączalną jednostką hydrostatyczną (3) jest sprzęgłem elektromagnetycznym.

5. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przełączalna jednostka hydrostatyczna (3) jest hydraulicznie połączona z jednej strony ze źródłem cieczy roboczej, a z drugiej strony z cieczowym kołem (1) oraz z przyłączem akumulatora do układu hydrostatycznego.

6. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwsza komora (8) i druga komora (9) są z obydwu stron koła (1) domknięte pokrywami (10), wyposażonymi w czopy (12) usytuowane w osi obrotu cieczowego koła (1).

7. Akumulator hydrauliczny według zastrz. 6, **znamienny tym**, że w każdej z pokryw (10) uformowane są przepływowe kanały, które są połączone z usytuowanymi w osi obrotu cieczowego koła zamachowego (1) głównymi kanałami (14) i (15), wyznaczającymi w czołach czopów (12) obszary dla obrotowych przyłączy gazu pod ciśnieniem i roboczej cieczy.

Rysunki

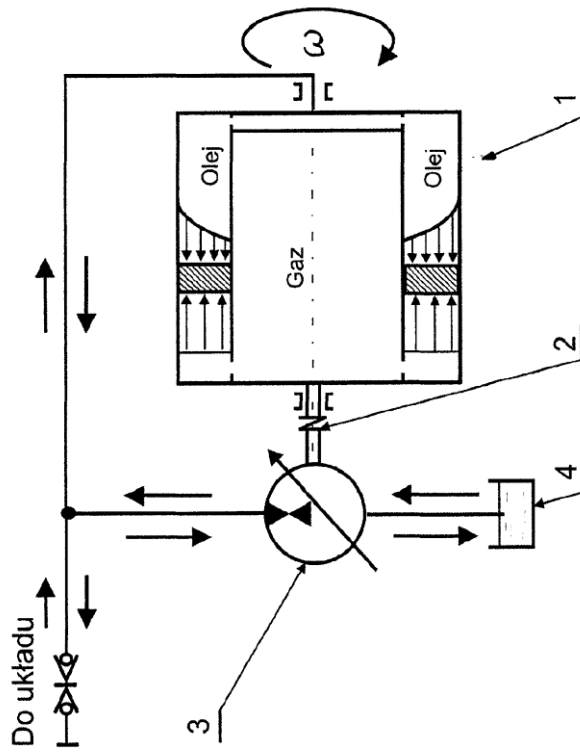


Fig. 1

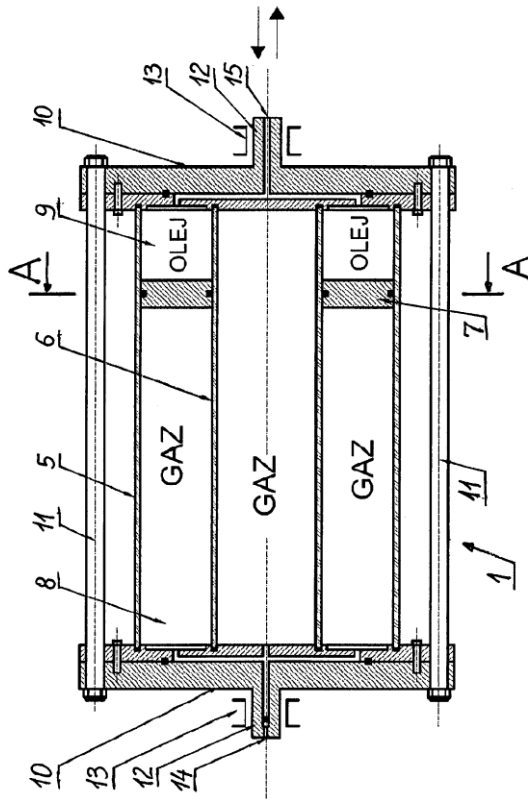


Fig. 2

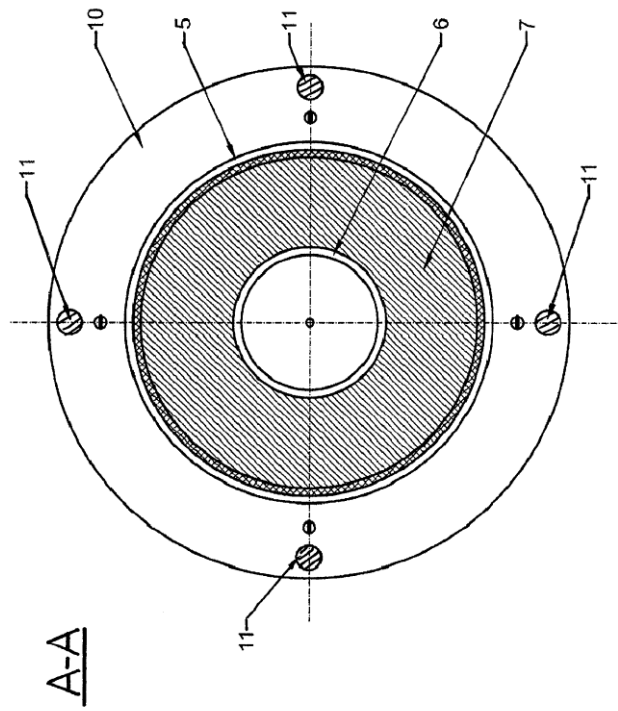


Fig. 3

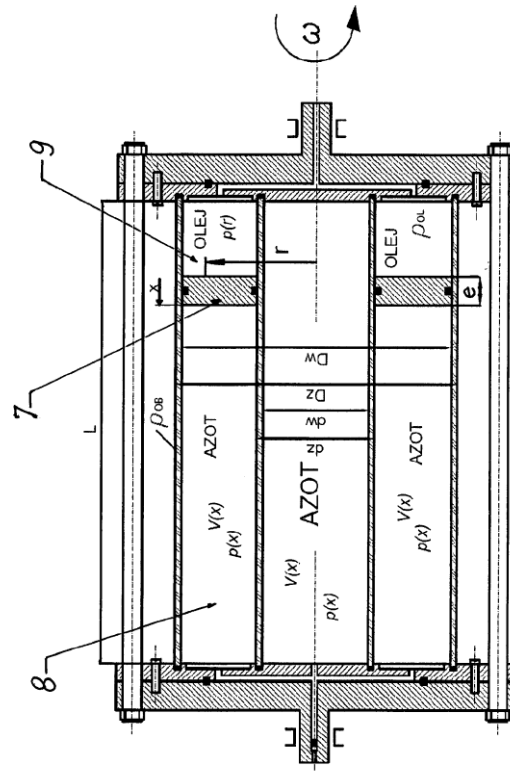


Fig. 4

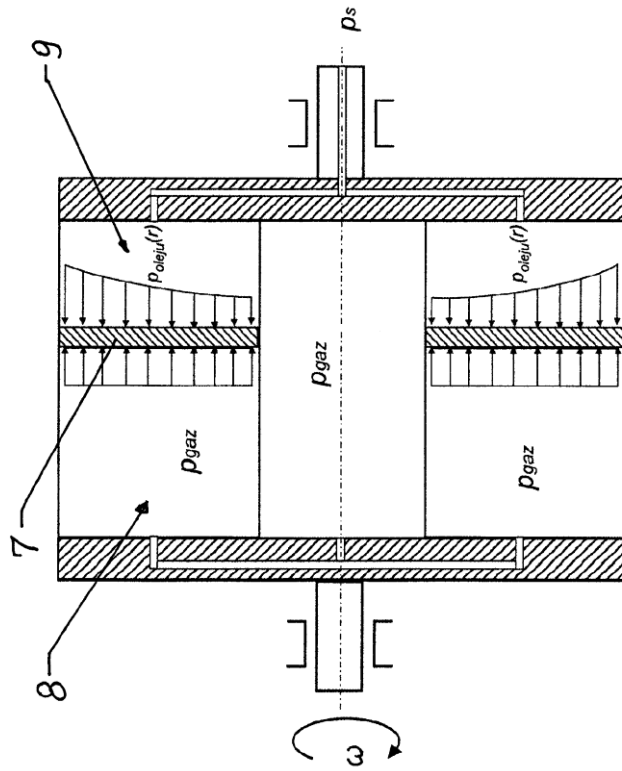


Fig. 5

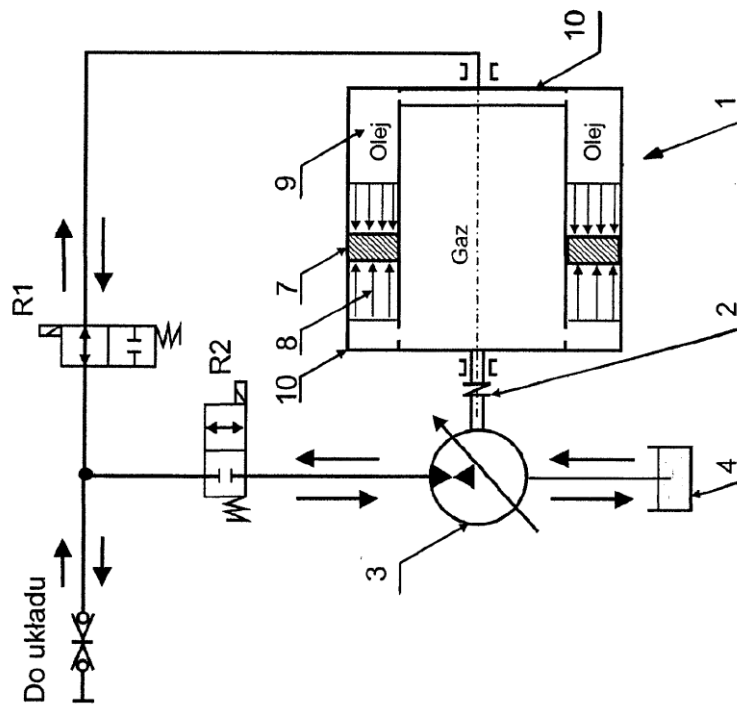


Fig.6

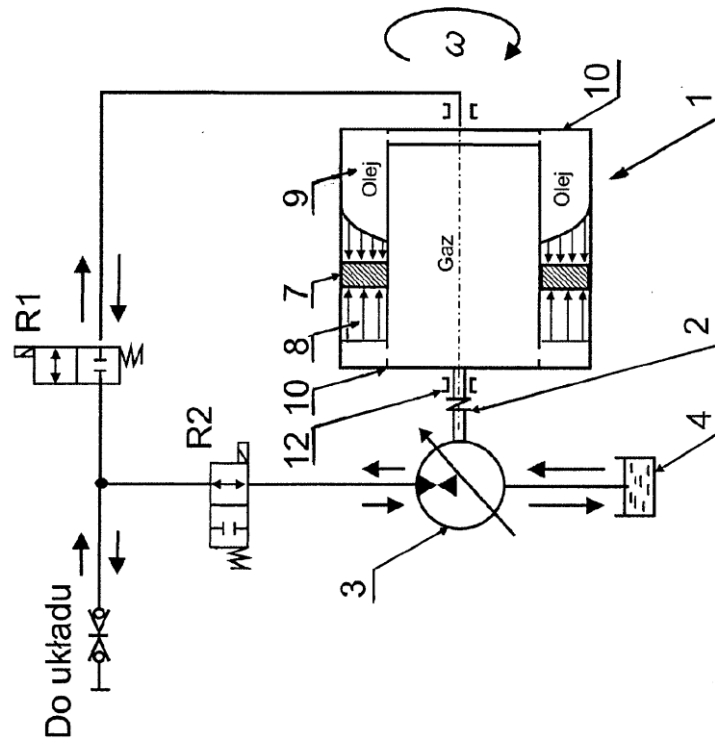


Fig. 7

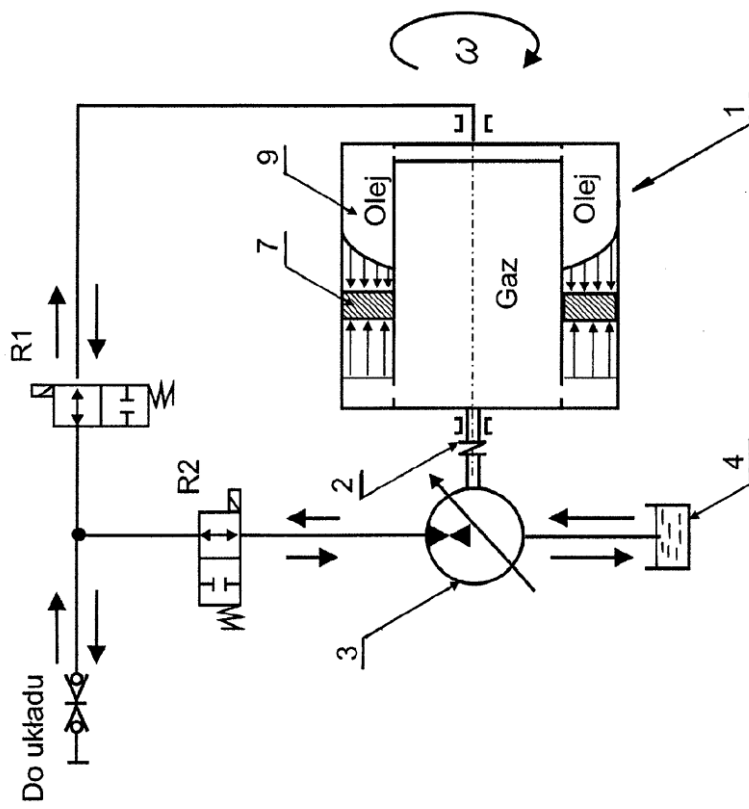
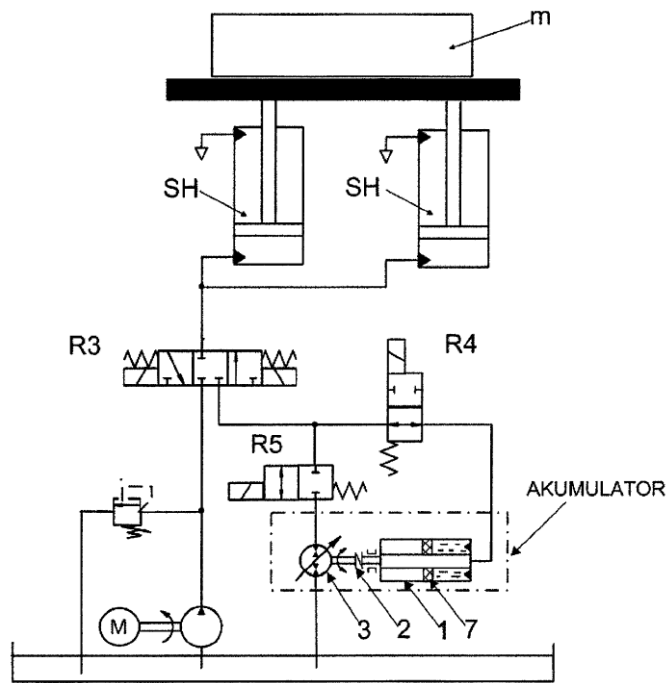
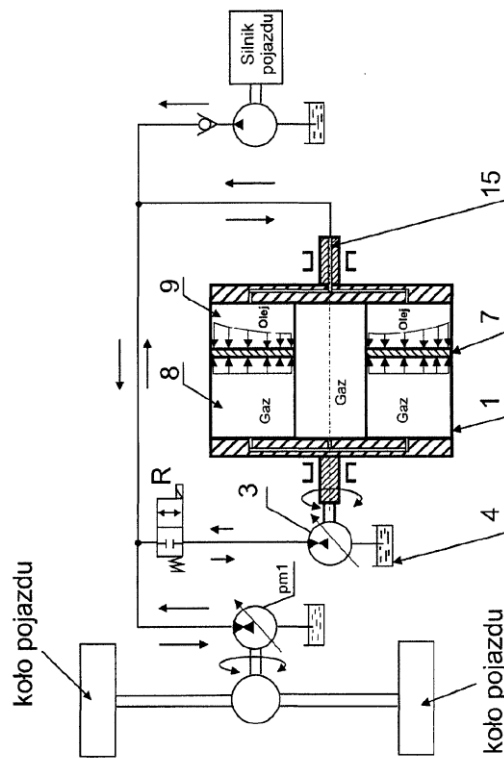


Fig. 8



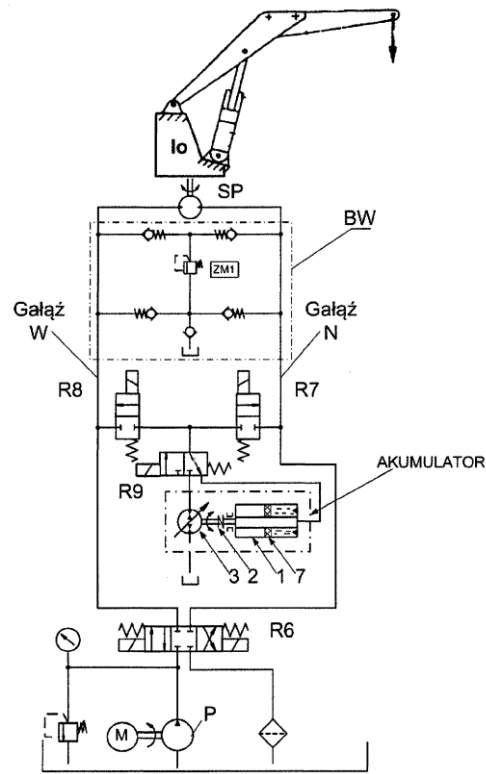


Fig. 11

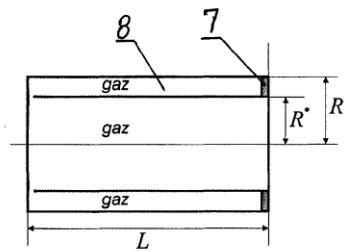
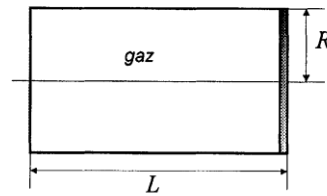


Fig.12a



Pos.1a

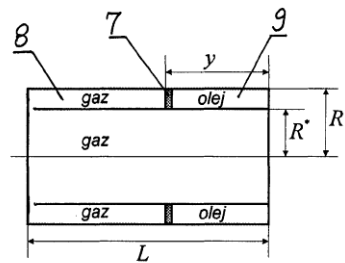
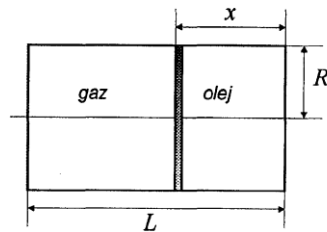


Fig.12b



Pos.1b