

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **239750**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427649**

(51) Int.Cl.
G01P 3/44 (2006.01)
G01L 3/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **05.11.2018**

(54) **Metoda oceny obciążenia mechanicznego maszyn energetycznych,
zwłaszcza tłokowych silników spalinowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
18.05.2020 BUP 11/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
03.01.2022 WUP 01/22

(73) Uprawniony z patentu:
**AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE,
Szczecin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
LESZEK CHYBOWSKI, Stargard, PL

(74) Pełnomocnik:
recz. pat. Rafał Malujda

PL 239750 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem zgłoszenia jest metoda oceny obciążenia mechanicznego maszyn energetycznych, zwłaszcza tłokowych silników spalinowych.

Wyznacznikiem określającym obciążenie mechaniczne maszyny są siły i momenty siły działające na elementy tej maszyny. Wyznacznikiem wielkości tych sił i momentów są parametry robocze maszyny i charakterystyki procesów reszkowych, które mogą być monitorowane podczas pracy maszyny. Współcześnie najważniejszymi spotykanymi urządzeniami tego rodzaju są w odniesieniu do silników spalinowych: momentomierze (torsjometry) – urządzenia mierzące kąty skręcenia wału transmitującego ruch obrotowy i na tej podstawie określające wielkość momentu obrotowego; układy momentomierz – tachometr – jednoczesny pomiar momentu obrotowego i prędkości obrotowej maszyny umożliwia obliczenie mocy użytecznej silnika; indykatory mechaniczne, indykatory elektroniczne, pimetry – urządzenia służące do wyznaczania średniego ciśnienia indykowanego, mocy indukowanej i na tej podstawie obliczenie przybliżonej wartości momentu obrotowego i mocy użytecznej oraz termoanalyzer, wibroanalyzer – urządzenia analizujące charakterystyki i miary sygnałów reprezentujących procesy reszkowych (związanych z dyssypacją energii).

Z opisu patentowego PL225808 znany jest momentomierz, składający się z wału głównego osadzonego w tulei na dwóch łożyskach kulkowych poprzecznych, gdzie wał główny związany jest z kołem łańcuchowym poprzez tarczę pomiarową zamocowaną śrubami osadzoną na jednym końcu wałka skrętnego, natomiast drugi koniec wałka skrętnego związany jest kształtowo z wałem głównym, przy czym tarcza pomiarowa i wał główny na obwodzie mają nacięte rowki, do wytwarzania impulsów przez czujniki podczas obracania się wału. Ze zgłoszenia PL416622 znany jest cyfrowy momentomierz obrotowy, wyposażony w tensometry oraz mikroprocesorowy przetwornik analogowo cyfrowy charakteryzujący się tym, że układ nadawczy sygnałów elektromagnetycznych momentu obrotowego umieszczony jest w centralnej ruchomej części wału między łożyskami, a odbiornikiem elektromagnetycznym połączony z układem mikroprocesorowym w ekranowanej folią miedzianą obudowie momentomierza. Z opisu patentowego PL 201994 znany jest tensometryczny momentomierz obrotowy, charakteryzujący się tym, że układ nadawczy z nadajnikiem sygnałów świetlnych momentu obrotowego umieszczony jest na części ruchomej momentomierza usytuowanej na wale silnika, a odbiornika sygnałów świetlnych momentu obrotowego umieszczony jest na przedłużeniu osi obrotu wirnika. Wszystkie te rozwiązania cechuje złożoność konstrukcji.

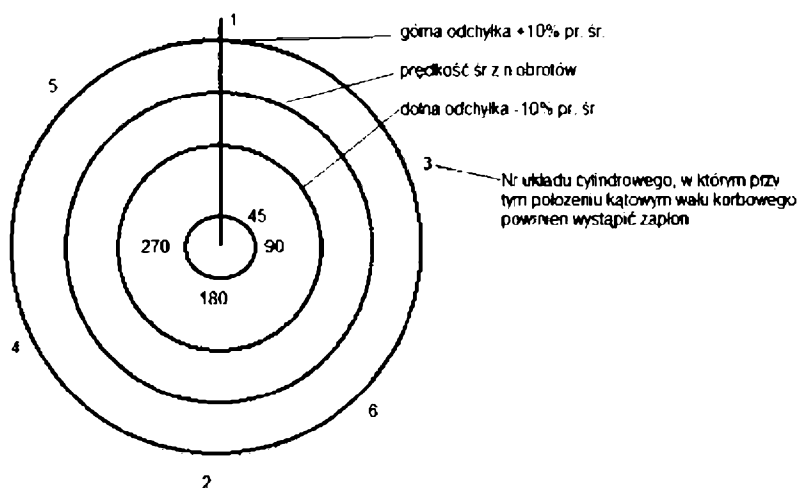
Istotą rozwiązania według wynalazku jest metoda oceny obciążenia mechanicznego maszyn energetycznych, zwłaszcza tłokowych silników spalinowych charakteryzująca się tym, że na wale napędowym na wolnym końcu wału umieszcza się urządzenie do pomiaru położenia kąтового wału, następnie mierząc czas chwilowej zmiany położenia wału określa się wartości prędkości obrotowej w odpowiednich chwilach (co pół stopnia kąтового obrotu wału) w trakcie każdego cyklu roboczego i dokonuje się analizy porównawczej odchyłek obliczonych prędkości od wartości średniej prędkości dla całego urządzenia wyznaczonej z n kolejnych cykli roboczych, przy czym dokonuje się przyrównania obliczonej wartości chwilowej prędkości do dopuszczalnej bezwzględnej odchyłki od obliczonej wartości średniej, gdzie dopuszczalna odchyłka dolna i górna obliczona jest zgodnie z zależnością: $\pm X[\text{obr/min}] = (0,5 \times \text{SNBM} [-] \times 100\% + A[\%]) \times (\text{średnia prędkość obrotowa} [\text{obr/min}])$, gdzie: SNBM – stopień nierównomierności biegu maszyny, A – empiryczny współczynnik korekcyjny zawierający się w przedziale $\langle -10\%, 10\% \rangle$. Korzystnie, czujnik położenia wału zlokalizowany jest na linii wałów maszyny. Również korzystnie obliczanie chwilowych prędkości wału co pół stopnia kąтового obrotu wału odbywa się jednocześnie w dwóch jego krańcach, tj. na wolnym końcu wału i na linii wałów.

Zmienne w czasie pracy maszyny siły działające na elementy maszyny są wynikiem oddziaływania procesów roboczych (np. spalania w komorach spalania) i zgodnie z zasadami dynamiki odpowiadają im zmienne w czasie przyśpieszenia elementów obrotowych maszyny. Przyśpieszenia te z kolei mogą być wyznaczone poprzez ciągły monitoring prędkości obrotowej silnika. Nie jest tu konieczne wyznaczanie dokładnych wartości tych przyśpieszeń kątowych poprzez różniczkowanie sygnału prędkości obrotowej a wystarcza określenie wartości prędkości w odpowiednich chwilach w trakcie cyklu (poszczególnych cykli w przypadku maszyn wielocylindrowych) i analiza porównawcza odchyłek tych prędkości (określonych dla poszczególnych układów) od wartością średnią dla całego urządzenia. Wielkości charakterystyczne prędkości obrotowej dla poszczególnych w przypadku układu wielocylindrowego wyznaczone są dla określonego położenia tłoka w cylindrze przy którym to położeniu dokonywany jest pomiar prędkości charakterystycznej dla danego układu cylindrowego (lub całej maszyny np.

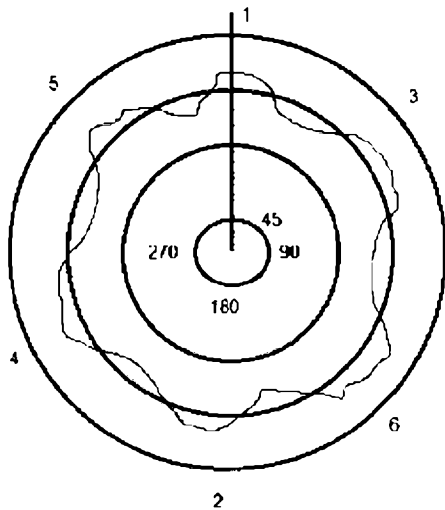
w przypadku silnika jednocylindrowego). Zmierzone prędkości określone z rozdzielczością co pół stopnia obrotu wału korbowego przypisane są do konkretnych położenia kątowych wału. Pomiar prędkości i położenia wału realizowany jest za pomocą enkodera kąta (urządzenie przekazujące do układu aktualne położenie kątowe wału korbowego silnika) oraz zegara. Różnica wskazań zegara dla dwóch następujących po sobie odczytów położenia wału (odczytów enkodera) jest wykorzystywana do określenia chwilowej prędkości wału korbowego. Dla kolejnych n cykli roboczych silnika obliczane są wartości średnie prędkości dla kolejnych położenia wału korbowego. W przypadku silników dwusuwowych pojedynczy cykl pomiarowy obejmuje 360 stopni obrotu wału korbowego, a dla silników czterosuwowych 720 stopni obrotu wału korbowego. Zmierzone wartości są rejestrowane w tablicy o wymiarach $360 \times 2 \times n$ dla silników dwusuwowych i $720 \times 2 \times n$ dla silników czterosuwowych, które to tablice są na bieżąco aktualizowane. Wartość n wynosi od 10 do 60 – wartość ta jest dopasowana do prędkości obrotowej silnika. Niższe wartości odpowiadają silnikom wolnoobrotowym, a wyższe szybkoobrotowym. Analiza uzyskanych pomiarów realizowana jest poprzez porównanie wartości zmierzonej dla danego położenia kątownego wału z wartościami granicznymi ustalonymi na $\pm X\%$ średniej wartości prędkości obrotowej silnika zmierzonej w czasie wykonania n obrotów. Mierzona prędkość oscyluje wokół wartości średniej, a przekroczenie górnej lub dolnej wartości granicznej świadczy o nieprawidłowej pracy silnika. Diagnoza nieprawidłowo działającego układu cylindrowego dokonywana jest poprzez odczyt wartości kątowej położenia wału przy której pojawia się nadmierna odchyłka prędkości obrotowej silnika od wartości średniej. Dla odczytanego kąta wału korbowego dokonywane jest porównanie z najbliższym położeniem kątownym wału przy którym zachodzi zapłon w jednym z cylindrów diagnozowanego silnika. Cylinder ten powinien zostać sprawdzony w pierwszej kolejności na sposobność nieprawidłowej pracy tj. braku zapłonu w przypadku przekroczenia dolnej wartości granicznej prędkości albo zbyt dużej i/lub niewłaściwie wyregulowanej (zbyt duże wyprzedzenie wtrysku) dawki paliwa podawanej do wymienionego cylindra.

Przedmiot wynalazku jest uwiidoczniiony w przykładzie wykonania na rysunku, gdzie fig. 1 przedstawia elementy składowe układu, na którym realizowana może być metoda.

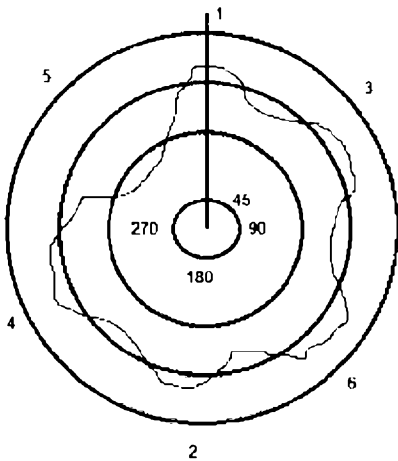
Przykładowa realizacja metody odbywa się z wykorzystaniem enkodera kąta zainstalowanego na wolnym końcu wału silnika dwusuwowego. Sygnał pobierany jest przez kartę pomiarową USB, skąd informacje docierają do modułu analizatora, w którym dokonuje się proces uśredniania i wizualizacji. Przykładowa wizualizacja w układzie biegunowym pomiarów dla silnika dwusuwowego, 6-cylindrowego, o kolejności zapłonów 1-3-6-2-4-5 znajduje się poniżej.



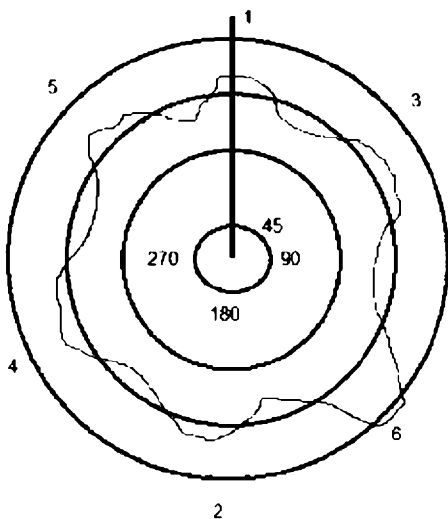
Dla prawidłowo pracującego silnika zarejestrowana w ustalonych warunkach pracy zmiana prędkości powinna mieścić się w granicach ustalonych przez dolną i górną odchyłkę. Jak pokazano na poniższym przykładzie.



W przypadku braku spalania w jednym z cylindrów przekroczona zostanie wartość dolnej granicznej prędkości. W poniższym przykładzie zobrazowano przypadek braku spalania w cylindrze nr 5.

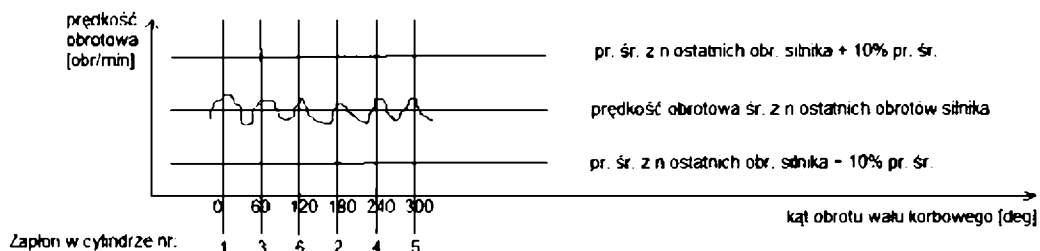


W przypadku spalania większej niż założona dawki paliwa np. w związku z niewłaściwą regulacją statyczną pompy wtryskowej w trakcie pomiaru zarejestrowane zostanie przekroczenie wartości górnej odchyłki. Poniżej przedstawiono to na przykładzie cylindra nr 6.

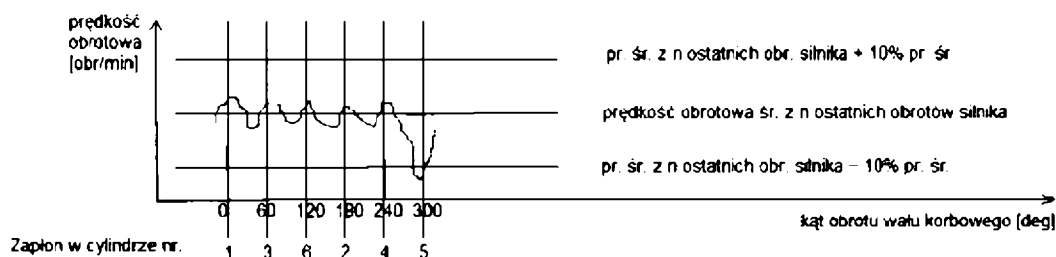


Wizualizacja alternatywna z wykorzystaniem układu ortogonalnego wygląda następująco:

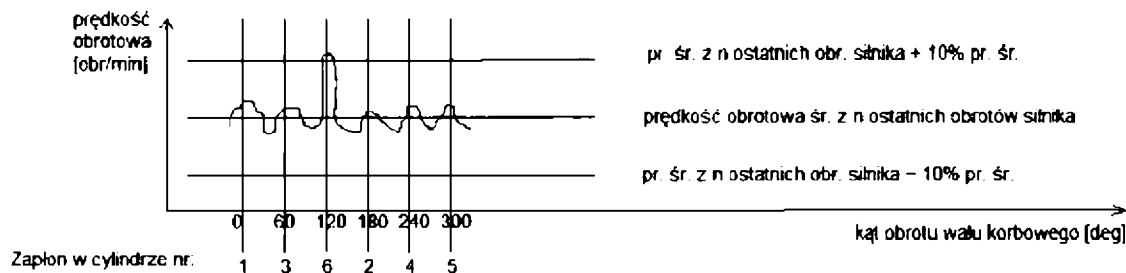
1. Przebieg prawidłowy



2. Zbyt niska moc dostarczana przez cylinder nr 5



3. Zbyt duża moc dostarczana przez cylinder nr 6



Oznaczenia na rysunkach oznaczają kolejno: 1 – diagnozowany silnik 2 – enkoder kąta obrotu wału korbowego 3 – zegar 4 – moduł przetwarzania sygnałów określający prędkości chwilowe silnika i budujący tablicę pomiarową 5 – interfejs wejściowy odpowiadający za wprowadzenie danych o liczbie cykli uśredniania n; typie silnika: dwusuwowy, czterosuwowy; liczbie cylindrów i ich kolejności zapłonów. 6 – wizualizator stanu technicznego silnika odpowiadający za przyrównanie wartości zmierzonych do wartości średniej i odchyłek +/- X% średniej prędkości obrotowej oraz skorelowanie pomiarów z kątowymi położeniami, przy których występuje zapłon na poszczególnych cylindrach silnika.

Zastrzeżenia patentowe

1. Metoda oceny obciążenia mechanicznego maszyn energetycznych, zwłaszcza tłokowych silników spalinowych, **znamienna tym**, że na wale napędowym na wolnym końcu wału umieszcza się urządzenie do pomiaru położenia kąowego wału, następnie mierząc czas chwilowej zmiany położenia wału określa się wartości prędkości obrotowej w odpowiednich chwilach (co pół stopnia kąowego obrotu wału) w trakcie każdego cyklu roboczego i dokonuje się analizy porównawczej odchyłek obliczonych prędkości od wartości średniej prędkości dla całego urządzenia wyznaczonej z n kolejnych cykli roboczego, przy czym dokonuje się przyrównania obliczonej wartości odchyłki chwilowej prędkości do dopuszczalnej bezwzględnej odchyłki od obliczonej wartości średniej, gdzie dopuszczalna odchyłka dolna i górna obliczona jest zgodnie z zależnością: $\pm X \text{ [obr/min]} = (0,5 \times \text{SNBM} [-] \times 100\% + A[\%]) \times (\text{średnia prędkość obrotowa [obr/min]})$, gdzie: SNBM – stopień nierównomierności biegu maszyny, A – empiryczny współczynnik korekcyjny zawierający się w przedziale $\langle -10\%, 10\% \rangle$.

2. Metoda według zastrz. 1, **znamienna tym**, że czujnik położenia wału zlokalizowany jest na linii wałów maszyny.
3. Metoda według zastrz. 1 lub 2, **znamienna tym**, że obliczanie chwilowych prędkości wału co pół stopnia kątownego obrotu wału odbywa się jednocześnie w dwóch jego krańcach, tj. na wolnym końcu wału i na linii wałów.

Rysunek

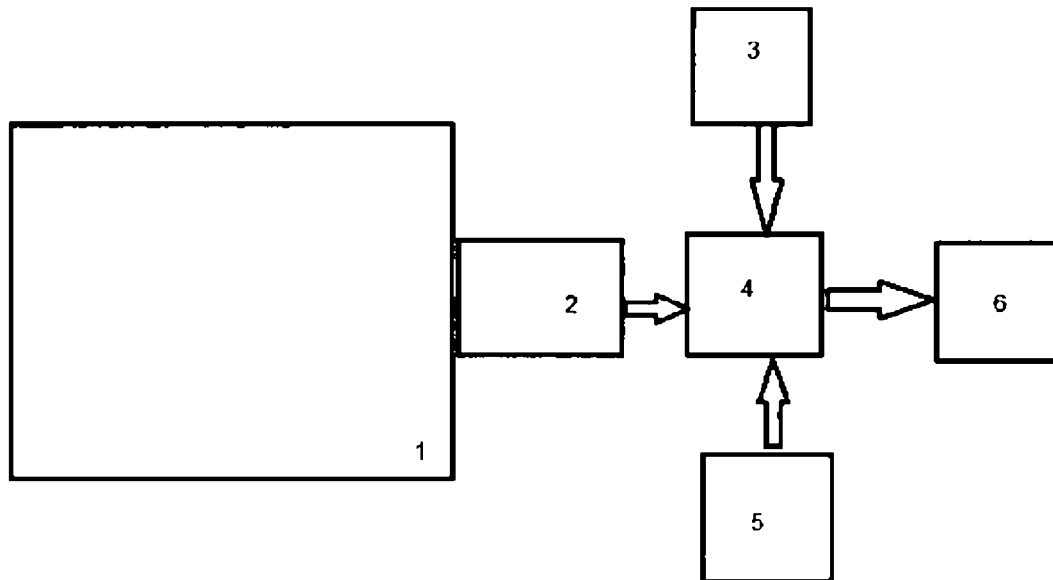


fig. 1