

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242390 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **423369**

(22) Data zgłoszenia: **2017.11.06**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2019.05.20 BUP 11/2019**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.20 WUP 08/2023**

(51) MKP:

B02C 25/00 (2006.01)

B02C 18/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
ŁUKASZ WARGUŁA, Poznań, PL
PIOTR KRAWIEC, Poznań, PL
KONRAD JAN WALUŚ, Poznań, PL

(54) Tytuł:

Układ sterowania prędkością obrotową napędu rębaka do drewna

PL 242390 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ sterowania prędkością obrotową silnika spalinowego napędu rębaka do drewna, realizujący proces sterowania zależny od warunków eksploatacji. System przeznaczony jest dla dziedziny techniki zajmującej się budową i eksploatacją maszyn i urządzeń w procesach przetwórczych odpadów drzewnych. Można go stosować w rębakach walcowych napędzanych silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym przeznaczonym do napędu pozadrogowych maszyn ruchomych, z elektronicznym układem wtryskowo-zapłonowym, gdzie układ regulacji mieszanki paliwowo-powietrznej jest wyposażony w elektrycznie sterowaną przepustnicę powietrza.

Znane są rozwiązania konstrukcyjne poruszające problematykę regulacji prędkości obrotowej silnika spalinowego napędu maszyn roboczych i pojazdów, do tych rozwiązań należą: US2017210387 (A1), US6634170B2, RU2612194C1, US4493228A. Przytoczone konstrukcje, układy, systemy i metody mają za zadanie regulować prędkość obrotową w celu uzyskania stałej jej wartości w zależności od obciążenia lub wymagają regulacji manualnej operatora. Do podstawowych regulatorów pozwalających zadawać warunki eksploatacji należą dźwignie nożne lub ręczne, umożliwiając szeroki zakres regulacji jednak z wykorzystaniem operatora. Systemy bezobsługowe dążą do regulacji umożliwiającej uzyskanie stałej prędkości obrotowej poprzez sprzęgła hydrodynamiczne lub regulatory odśrodkowe. Regulatory te wymagają zadania stałej prędkości obrotowej przez operatora, a następnie dążą do utrzymania danego stanu. Wśród producentów silników o zapłonie iskrowym wyposażonych we wtrysk paliwa przeznaczonych do pozadrogowych maszyn ruchomych najpopularniejsi są: Kohler Engines [8], Briggs & Stratton [2], Kawasaki [7], Subaru Robin [9], Honda [3-6] oraz firma ECOTRONS [1] doposażająca silniki spalinowe w zintegrowane układy wtryskowo-zapłonowe. Silniki tych producentów są wyposażone w mechaniczne przepustnice, a więc zadawanie zmiany warunków eksploatacji jest manualnie wykonywane przez operatora.

Rozwiązanie opisane w patencie US2017210387 (A1), zawiera system sterowania silnika spalinowego z wykorzystaniem sprzęgła hydrodynamicznego. Układ umożliwia utrzymywanie prędkości obrotowej zespołu napędowego niemal na stałym poziomie bez względu na obciążenie. Rozwiązanie to jest oczekiwane w niektórych zastosowaniach np. przy napędzie pomp jednak w rębakach stała prędkość nie jest konieczna, ważniejsze jest uzyskanie maksymalnego momentu obrotowego w odpowiednim okresie czasu.

W patencie US6634170B2 przedstawiony został układ sterownia silnikiem spalinowym wyposażonym w moduł kontroli spalin reguluje prędkość obrotową silnika oraz zadaje warunki eksploatacji wykorzystując pedał przyspieszenia. Sterowanie realizowane jest przez pomiar położenia pedału przyspieszenia, a następnie zmianę położenia przepustnicy. Realizacja wymaganych założeń wymaga zaangażowania operatora oraz umożliwia regulację w szerokim zakresie.

Rozbudowany system sterowania silnikiem spalinowym opisany w patencie RU2612194C1, do regulacji prędkości obrotowej i zadawania warunków eksploatacji wykorzystuje pedał przyspieszenia, ale również dodatkowo zawór regulacji prędkości obrotowej na biegu jałowym, zależnie od np. temperatury silnika. Rozwiązanie wspomaga regulację mieszanki paliwowo-powietrznej na biegu jałowym. Nie realizuje regulacji bezobsługowej do warunków eksploatacji, ale umożliwia regulację w szerokim zakresie prędkości obrotowych i obciążeń.

Zaawansowany system przedstawiony w patencie US4493228A w procesie sterowania prędkością obrotową wykorzystuje mechaniczny pedał przyspieszenia, który przy zastosowaniu mechanizmu cięgnowego lub dźwigni przez operatora zmienia parametry warunków eksploatacji. Układ w celu regulacji pozostałych procesów, łącznie z procesem regulacji prędkości obrotowej, wykorzystuje sygnał rejestrowany z czujnika położenia pedału przyspieszenia. Rozwiązanie wymaga mechanicznej zmiany zadawanych warunków eksploatacji przez zaangażowanie operatora jednocześnie umożliwiając szeroki zakres regulacji.

Znane są konstrukcje maszyn rozdrabniających odpady drzewne, których kanał podawczy nie jest wyposażony w sensorykę: US4702424A, US5005620A, US5088532A, US5137219A, US6237864B1, US5390862A, US4951882A, US6357684B1, US6955310B1, US20020139877A1. Wymienione konstrukcje ze względu na brak czujników wykrywających obiekt w przestrzeni nie realizują bezobsługowego adaptacyjnego do warunków eksploatacji procesu sterowania napędem rębaka, którym jest silnik spalinowy. Inną grupą patentów są rębaki których kanały podawcze są wyposażone w sensorykę: US6418004B1, US5667152A, US7365955B2, US6853531B2, US20020171993A1,

US20050063133A1. Sensory stosowane w kanałach podawczych rębaków z tymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi mają za zadanie spełniać funkcje bezpieczeństwa. Wykrywając dłoń w przestrzeni kanału podawczego rozłączają napęd maszyny. Najczęściej przez zastosowanie specjalnych opasek lub rękawic na dłoniach operatorów. Opracowane są rozwiązania patentowe US5988539A, które pod koniec kanału podawczego posiadają czujnik zapchania kanału. System zapobiegający zapchaniu się kanału podawczego, dzięki zastosowanym sensorom, reguluje kierunek obrotów członu roboczego.

Znane w tej dziedzinie jest sterowanie silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym wyposażonym w mechaniczną lub elektryczną regulację prędkości obrotowej. Nie zależnie od układu zasilania paliwem (układ gaźnikowy lub układ wtryskowy) urządzenia w zastosowaniu do maszyn rozdrabniających wymagają manualnego wskazania stanu pracy. Po uruchomieniu silnik pracuje z prędkością obrotową przystosowaną do pracy jałowej, a następnie zostaje przez operatora włączony stan pracy umożliwiający pracę urządzenia z prędkością obrotową pozwalającą osiągnąć maksymalny moment obrotowy lub moc. Innym przypadkiem są urządzenia rozdrabniające, w których silnik po uruchomieniu osiąga prędkość obrotową umożliwiającą uzyskanie maksymalnego momentu lub mocy. Zgodnie z charakterystyką silników spalinowych osiągnięcie tego stanu pracy wymaga znacznie wyższej prędkości obrotowej niż podczas pracy jałowej bez możliwości uzyskania znaczących wartości mocy i momentu obrotowego. Praca jałowa z podwyższoną prędkością obrotową, umożliwiającą osiągnięcie maksymalnego momentu lub mocy, generuje wyższe zużycie paliwa i ilościową emisję spalin niż praca jałowa z niższą prędkością obrotową, która uniemożliwia osiąganie znaczących wartości momentu obrotowego i mocy. Jednakże maszyny rozdrabniające w procesie rozdrabniania, czyli w stanie czynnej pracy wymagają uzyskania maksymalnego momentu oraz prędkości obrotowej. Specyfika urządzeń takich jak rębaki do gałęzi wynika z faktu iż maszyny te charakteryzują się nie ciągłym cyklem pracy czynnej, wynikającym z przerw dostawy surowca do rozdrabniania, który to dostarczają operatorzy. Wówczas w celu ograniczenia zużycia paliwa i ilościowej emisji spalin operator może jeżeli istnieje taka możliwość manualnie ograniczyć prędkość obrotową, a po dostarczeniu surowca przed rozdrabnianiem ją ponownie zwiększyć.

Jeżeli napęd rębaka, którym jest silnik spalinowy przygotowany do pracy (z pominięciem rozgrzewania silnika) pracuje podczas konwencjonalnego sterowania w dwóch stanach:

- jałowym z prędkością obrotową umożliwiającą osiągnięcie maksymalnego momentu obrotowego lub mocy;
- obciążonym,

to rezultatem takiego systemu sterowania jest ciągła gotowość urządzenia do procesów rozdrabniania kosztem zwiększonego zużycia paliwa oraz większej ilościowej emisji spalin.

Z publikacji własnej twórców wynalazku pt. *The Analysis of the Efficiency of the Control System of Wood Chipper's Drive with Spark-Ignition Engine Based on Skoda Combustion Engine 1.4 59kW*, Ł. Warguła, D. Wojtkowiak, KJ. Waluś, P. Krawiec, B. Wieczorek, Proceedings of 21st International Scientific Conference. Transport Means 2017– 20–22 września 2017 Juodkrante, Litwa znana jest teoretyczna analiza wpływu zmiany warunków pracy maszyny rozdrabniającej drewno poprzez zmianę sposobu regulacji prędkością obrotową jednostki napędowej rębaka.

W publikacji opisano jak zmiana prędkości obrotowej napędu rębaka może wpływać na zużycie paliwa badanej maszyny. W artykule nie wskazano jednak informacji technicznych i konstrukcyjnych jaki układ mógłby realizować teoretycznie opisaną zmianę warunków pracy.

W artykule wspomniano jedynie, że korzystnym jest żeby konstrukcja współpracowała z jednostką napędową wyposażoną w elektronicznie sterowany układ paliwa oraz elektronicznie sterowana przepustnicą, a zmiany zachodziły na podstawie detekcji w kanale wlotowym.

Opis ten wskazuje, że teoretycznie istnieje możliwość osiągnięcia efektu redukcji zużycia paliwa poprzez wykorzystanie systemu sterowania prędkością obrotową napędu rębaka. Jednak osiągnięcie tego celu nie jest z wielu względów oczywiste i proste.

W pierwszej kolejności klasyczna regulacja zmiany prędkości obrotowej w silnikach spalinowych odbywa się z pomocą dźwigni ręcznej lub nożnej, a o zmianie decyduje operator. Opracowany system powinien zaś charakteryzować się automatyczną zmianą prędkości obrotowej, co w przypadku wynalazku jest realizowane przez czujniki optyczne w kanale podawczym.

Jednak rozwiązanie to wymagało dalszego rozwinięcia, o układ wydłużenia czasu sygnału. Detekcja drewna w kanale podawczym zmienia warunki pracy silnika, brak detekcji również zmienia warunki pracy silnika (na pracę jałową z niską prędkością obrotową) jednak pod koniec procesu rozdrabniania koniec gałęzi wykracza poza obszar detekcji czujnika umieszczonego w początkowej części kanału podawczego, dając informacje do zmiany warunków pracy silnika, co nie jest do końca właściwe

ponieważ w kanale nadal znajduje się końcowy fragment gałęzi. Wydłużenie czasowe sygnału po zakończeniu detekcji drewna w kanale podawczym umożliwi rozdrobnienie całej gałęzi we właściwych warunkach pracy jednostki napędowej.

Realizowanie zadania wymaga układu wyposażonego w czujniki w kanale podawczym, które będą (w sposób nieklasyczny dla silników spalinowych) sygnałem do regulacji prędkości obrotowej. Czujniki muszą być połączone ze sterownikiem przepustnicy, sterownik ten poprzez aktor np. silnik elektryczny skokowy będzie zmieniał pozycję kłapy przepustnicy, który jest zintegrowany np. w zespole kłapy przepustnicy. W celu zachowania właściwego dawkowania paliwa układ powinien być wyposażony nadto w czujnik uchylenia kłapy przepustnicy umożliwiając algorytmowi sterującemu dobranie właściwej dawki paliwa. Sterownik przepustnicy powinien posiadać regulator i kontroler czasu sygnału wyjściowego (odpowiedzialnego za czas pełnego otwarcia przepustnicy).

Cel wynalazku sprowadza się do ograniczenia zużycia paliwa oraz ilościowej emisji spalin przez maszyny rozdrabniające charakteryzujące się pracą nieciągłą. Uzyskanie takich efektów umożliwia zaproponowany przez autorów wynalazku układ adaptacji prędkości obrotowej silnika spalinowego z jednoczesnym z zachowaniem pełnych parametrów mocy i momentu obrotowego podczas procesów przetwórczych. Uzyskanie ograniczenia zużycia paliwa i ilościowej emisji gazów spalinowych jest wywołane przez wprowadzenie dwóch stanów pracy jałowej podczas eksploatacji. W odróżnieniu od dostępnych rozwiązań stany są aktywowane bezobsługowo. Do uzyskania aktywacji stanu są wykorzystywane czujniki optyczne umieszczone w kanale podawczym, których stan zmienia obiekt przeznaczony do rozdrabniania. Wykrycie przez czujnik obiektu rozdrabniania zwiększa prędkość obrotową silnika na biegu jałowym, umożliwiając osiągnięcie maksymalnej mocy lub maksymalnego momentu obrotowego silnika i członu roboczego. Po ukończeniu rozdrabniania silnik obniża prędkość obrotową, oczekując na następny sygnał, generując przy tym niższe zużycie paliwa i ilościową emisję gazów spalinowych.

Istotą wynalazku jest układ sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym zawierający czujniki umieszczone w kanale podawczy. Czujniki służą do wykrywania obiektów w kanale podawczym. Czujniki połączone są ze sterownikiem przepustnicy, a sterownik połączony jest z aktorem realizującym zmianę kąta obrotu kłapy przepustnicy, który jest zintegrowany w zespole przepustnicy. Aktor realizuje zmianę położenia kłapy przepustnicy, co jest rejestrowane przez czujnik uchylenia kłapy przepustnicy. Kłapa przepustnicy reguluje dostęp powietrza do komory spalania silnika spalinowego w kolektorze dolotowym, a sterownik silnika reguluje skład mieszanki paliwowo-powietrznej poprzez aktywację aktorów: wtryskiwacza, cewki wysokiego napięcia i świecy zapłonowej, dzięki sygnałom z czujników osprzętu silnika oraz czujnika uchylenia kłapy przepustnicy. W układzie standardowo wał napędowy silnika spalinowego jest połączony z przekładnią pasową, ta przekładnia napędza przekładnię zębatą, a przekładnia zębata napędza człon roboczy.

W trybie pracy czujniki rozpoznają dowolny obiekt w przestrzeni kanału podawczego maszyny rozdrabniającej w celu zmian warunków eksploatacji urządzenia (zmiany prędkości obrotowej biegu jałowego). Przy czym istotnym jest, że system bezpośrednio nie ingeruje w centralną jednostkę sterującą silnikiem, tylko aktywuje aktor regulujący kłapą przepustnicy, której położenie jest rejestrowane przez czujnik położenia przepustnicy umożliwiając regulację składu mieszanki paliwowo-powietrznej, za pomocą sterowania czasem otwarcia wtryskiwacza.

Sterownik przepustnicy ma wbudowany kontroler czasu umożliwiający zdefiniowanie czasu, który utrzymuje sygnał sterujący kłapą przepustnicy w pozycji umożliwiającej dokończenie rozdrabniania, po zakończeniu detekcji obiektu przez czujnik.

Układ według wynalazku umożliwia sterowanie prędkością obrotową napędu rębaka do drewna z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym. Proces sterowania silnikiem jest zależny od wartości sygnału z czujników pomiarowych umieszczonych w kanale podawczym. Sygnały z czujników wykrywających obiekt w kanale podawczym przekazują informację do sterownika przepustnicy, która zawiaduje aktorem zmiany położenia kłapy przepustnicy. Przemieszczenie kątowne położenia kłapy przepustnicy wraz z adaptacją parametrów pracy w sterowniku silnika, który wprowadza zmianę czasu wtrysku, kąta wtrysku i kąta zapłonu, powoduje zmianę prędkości obrotowej i momentu obrotowego napędu rębaka umożliwiając uzyskanie maksymalnej mocy lub momentu rozdrabniania, członu roboczego. Stan ten jest utrzymywany do chwili go obiekt rozdrabniania znajdzie się za członem roboczym. Efekt ten jest uzyskany poprzez wydłużenie czasu (umożliwiającego przemieszczenie się obiektu w kanale podawczym), przez zdefiniowaną stałą wartość w sterowniku przepustnicy po uzyskaniu informacji o braku obiektu w kanale podawczym. Praca jałowa z prędkością obrotową umożliwiającą osiągnięcie maksymalnego momentu obrotowego silnika lub mocy jest uzyskiwana kosztem wyższego zużycia paliwa

i ilościowej emisji spalin. Proces sterowania napędem podczas rozdrabniania jest regulowany przez sterownik silnika. W celu utrzymania zadanej prędkości obrotowej oraz osiągnięcia niezbędnego momentu obrotowego jednostka sterująca pracą silnika spalinowego zmienia sygnały czasu wtrysku, kąta wtrysku oraz kąta zapłonu, aktywując aktry takie jak wtryskiwacz i świeca zapłonowa. Podczas rozdrabniania wartość zapotrzebowania na moment obrotowy zmienia się i jest generowana w zależności od obiektu rozdrabniania. Powrót do niskiej prędkości obrotowej rozpoczyna zmiana sygnału z czujników wykrywających obiekt w kanale podawczym, który nie wykrywa obiektu. Wówczas zawiadywany sterownik przepustnicy, zmienia położenie kątowe przepustnicy, ograniczając dopływ powietrza do komory spalania. Prowadzi to do rejestracji w sterowniku silnika spalinowego zmiany parametrów eksploatacji silnika i regulacji dawki paliwa i zapłonu w kierunku utrzymania stałej niskiej prędkości obrotowej biegu jałowego. Generują wówczas niższe zużycie paliwa i ilościowej emisji gazów spalinowych na biegu jałowym. Kluczową istotą opisanego sposobu sterowania jest wprowadzenie dwóch stanów pracy jałowej oraz bezobsługowa ich zmiana umożliwiająca adaptację urządzenia do warunków eksploatacji czego efektem jest niższa ilościowa emisja gazów spalinowych oraz zużycie paliwa. Czas utrzymania pracy jałowej z wysoką prędkością obrotową jest określony parametrem czasu sterownika przepustnicy.

Wprowadzenie układu do maszyny rozdrabniającej ogranicza: zużycie paliwa i ilościową emisję spalin podczas pracy jałowej. Wykorzystanie czujników optycznych w kanale podawczym umożliwia bezobsługową zmianę parametrów maszyny z pracy jałowej na pracę czynną lub odwrotnie. Sterownik przepustnicy odbierający sygnał z czujników wykrywających obiekt w przestrzeni roboczej, umożliwia zmianę położenia przepustnicy i warunków eksploatacji. Wydłużenie czasu sygnału ze sterownika do przepustnicy umożliwia wykorzystanie jednego czujnika na wejściu obiektu do kanału podawczego. Wydłużenie czasu sygnału pozwala rozdrobnić cały obiekt, wówczas nie wymagane jest stosowanie czujnika w kanale wylotowym rębaka identyfikującego czy obiekt został rozdrobniony. Elektrycznie sterowana przepustnica pozwala bezobsługowo realizować sterowanie silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym w tego typu systemie sterowania realizującego procesy obróbcze odpadów drzewnych.

Eksploatacja urządzenia z większym dostosowaniem procesu sterowania napędem do warunków eksploatacji przez adaptacyjną regulację prędkości obrotowej umożliwia ograniczenie ilościowej emisji gazów spalinowych oraz zużycia paliwa. Przyczyną ograniczeń emisyjności i konsumpcji paliwa jest fakt iż przy stałych parametrach pozostałych czynników regulujących dawkę paliwa na cykl, prędkość obrotowa zwiększa liczbę cykli w tym samym czasie.

Innym korzystnym skutkiem wprowadzenia systemu jest ograniczenie funkcji operatora w regulacji prędkością obrotową w zależności od potrzeb eksploatacyjnych. Operator po uruchomieniu silnika nie ingeruje w proces sterowania, jedynie skupia uwagę na dostarczaniu surowca obróbczego, automatycznie aktywując funkcję procesu sterowania.

Dzięki zastosowaniu rozwiązania według wynalazku uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- bezobsługową zmianę prędkości obrotowej silnika spalinowego oraz członu roboczego w zależności od warunków eksploatacji (praca jałowa lub rozdrabnianie),
- uzyskanie dwóch stanów pracy jałowej, przez zmianę prędkości obrotowej, generującej ograniczenie zużycia paliwa i ilościowej emisji spalin,
- adaptacja do warunków eksploatacji poprzez automatyczne odróżnienie stanu pracy jałowego lub czynnego,
- automatyczne przygotowanie parametrów maszyny do pracy jałowej lub pracy czynnej,
- ograniczenie absorpcji uwagi operatora,
- ograniczenie stresu operatora, związanego z kosztami eksploatacji maszyny.

Wynalazek został przedstawiony w ujęciu całościowym, rębak napędzany silnikiem spalinowym z elementami układu systemu adaptacyjnego przedstawiono na Fig 1. Zasadę działania maszyny w stanie obiektu w przestrzeni roboczej przedstawia Fig. 2. Aktywację zmiany prędkości obrotowej przedstawia Fig. 3. Realizację procesu rozdrabniania przedstawia Fig. 4. Schemat przyczynowo-skutkowy bezobsługowego adaptacyjnego systemu sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym przedstawia Fig. 5. Schemat sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowy podczas braku detekcji obiektu w przestrzeni roboczej przedstawia Fig. 6. Schemat sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowy podczas detekcji obiektu w przestrzeni roboczej i rozdrabniania przedstawia Fig. 7. Charakterystykę warunków eksploatacji na jeden cykl roboczy urządzenia (od początku pracy

jałowej, przez przygotowanie do pracy jałowej z możliwością uzyskania maksymalnego momentu obrotowego lub mocy, przez stan pracy czynnej, do końca stanu przygotowania do pracy jałowej z niską prędkością obrotową) przedstawia Fig. 8.

Aby ograniczyć zużycie paliwa oraz ilościową emisję gazów spalinowych bez konieczności ingerencji operatora maszyny, który mógłby manualnie wprowadzać trzeci stan pracy silnika czyli pracę jałową ze znacznie niższą prędkością obrotową. Opracowano układ wraz z systemem sterującym napędem spalinowym rębaka. Układ jest przewidziany dla napędów spalinowych o zapłonie iskrowym z układem wtryskowym wyposażonym w elektrycznie sterowaną przepustnicę powietrza.

Proponowane rozwiązanie sterowania bezobsługowym adaptacyjnym systemem sterowania prędkością obrotową silnika spalinowego stosowanego w napędzie rębaka jest następujące: rębak napędzany silnikiem spalinowym z elementami układu systemu adaptacyjnego przedstawiono na Fig. 1, gdzie: 1 – czujnik obiektu w przestrzeni roboczej (czujnik optyczny-nadajnik), 2 – czujnik obiektu w przestrzeni roboczej (czujnik optyczny- odbiornik), 3 – kanał podawczy rębaka, 4 – obudowa członu roboczego, 5 – kanał wylotowy, 6 – silnik spalinowy o zapłonie iskrowym, 7 – koło napędowe przekładni cięgnowej, 8 – pas napędowy przekładni cięgnowej, 9 – koło napędzane przekładni cięgnowej, 10 – wał napędowy, 11 – koło napędowe przekładni zębatej, 12 – koło zębate napędzające frez roboczy pierwszy, 13 – koło zębate napędzające frez roboczy drugi, 14 – frez roboczy drugi, 15 – frez roboczy pierwszy, 16 – sterownik silnika spalinowego, 17 – elektrycznie sterowana przepustnica powietrza, 18 – sterownik przepustnicy powietrza. Maszyna w stanie obiektu w przestrzeni roboczej przedstawia rysunek 2 gdzie: 19 – obiekt poddawany obróbce. Aktywację zmiany prędkości obrotowej przedstawia Fig. 3. Proces rozdrabniania przedstawia Fig. 4 gdzie: 20 – zrębki, wióry. Schemat przyczynowo-skutkowy bezobsługowego adaptacyjnego systemu sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym przedstawia Fig. 5, gdzie: 21 – aktor realizujący zmianę kąta obrotu kłapy przepustnicy, 22 – kłapa przepustnicy, 23 – czujnik uchylenia kłapy przepustnicy, 24 – zespół przekładni pasowej, 25 – zespół przekładni zębatej, 26 – zespół członu roboczego. Schemat sposobu sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowy podczas braku detekcji obiektu w przestrzeni roboczej przedstawia Fig. 6, gdzie: A1 – brak detekcji obiektu rozdrabniania w kanale podawczym, A2 – sygnał o braku detekcji obiektu (między czujnikiem, a przepustnicą), A3 – sygnał zmiany kąta uchylenia przepustnicy (między aktorem przepustnicy, a sterownikiem przepustnicy), A4 – realizacja zmiany kąta uchylenia przepustnicy, A5 – realizacja dostarczania powietrza, A6 – sygnał zmiany kąta uchylenia przepustnicy (między czujnikiem uchylenia przepustnicy, a sterownikiem silnika spalinowego), A7 – sygnałem czasu otwarcia wtryskiwacza (między sterownikiem silnika spalinowego, a wtryskiwaczem), A8 – sygnałem kąta rozpoczęcia wtrysku (między sterownikiem silnika spalinowego, a wtryskiwaczem), A9 – sygnałem kąta wyprzedzenia zapłonu (między sterownikiem silnika spalinowego, cewką zapłonową), A10 – realizacja niższej prędkości obrotowej na biegu jałowym. Schemat sposobu sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowy podczas detekcji obiektu w przestrzeni roboczej i rozdrabniania przedstawia Fig. 7: B1 – detekcja obiektu rozdrabniania w kanale podawczym, B2 – sygnał o detekcji obiektu (między czujnikiem, a przepustnicą), B3 – sygnał zmiany kąta uchylenia przepustnicy (między aktorem przepustnicy, a sterownikiem przepustnicy), B4 – realizacja zmiany kąta uchylenia przepustnicy, B5 – realizacja dostarczania powietrza, B6 – sygnał zmiany kąta uchylenia przepustnicy (między czujnikiem uchylenia przepustnicy, a sterownikiem silnika spalinowego), B7 – sygnałem czasu otwarcia wtryskiwacza (między sterownikiem silnika spalinowego, a wtryskiwaczem), B8 – sygnałem kąta rozpoczęcia wtrysku (między sterownikiem silnika spalinowego, a wtryskiwaczem), B9 – sygnałem kąta wyprzedzenia zapłonu (między sterownikiem silnika spalinowego, cewką zapłonową), B10 – realizacja wyższej prędkości obrotowej na biegu jałowym, B11 – realizacja procesu rozdrabniania. Parametry eksploatacyjne dla jednego cyklu pracy silnika spalinowego w funkcji jednego cyklu pracy rębaka z systemem adaptacyjnym przedstawia Fig. 8.

Realizacja procesu sterowania bezobsługowego adaptacyjnego systemu sterowania wymaga wyróżnienia czterech warunków eksploatacji maszyny W_e zależnych od prędkości obrotowej silnika n i obciążenia silnika L (Fig. 6):

- bez obciążenia z prędkością obrotową biegu jałowego silnika spalinowego W_{e2} (bez obiektu w przestrzeni roboczej rębaka);
- stan przejściowy – nieustalony (odcinek c) wzrost prędkości obrotowej ze stanu ustalonego na biegu jałowym W_{e2} do prędkości obrotowej umożliwiającej stan pracy z maksymalnym

- moment obrotowy We3 (pojawienie się obiektu w przestrzeni roboczej, brak obciążenia – rozdrabniania, czas na zmianę prędkości obrotowej);
- pod obciążeniem (rozdrabnianie), praca przy prędkości obrotowej umożliwiającej osiągnięcie maksymalnego momentu, który generowany jest zależnie od oporu stawianego przez rozdrabniany obiekt w zakresie nie przekraczającym maksymalnego momentu – stan pracy We5;
- stan przejściowy – ustalony We1 to czas w którym w przestrzeni roboczej nie ma obiektu do rozdrabniania i układ obniża prędkość obrotową do poziomu pracy We2, generując przy tym zerowy czas wtrysku.

Uzyskanie takiego efektu umożliwia zastosowanie czujników 1 i 2, wykrywających obiekt (gałęzi) 19 na początku kanału podawczego 3. Wówczas sygnał z czujnika 2 w kanale podawczym 3, rozpoczyna procedurę osiągnięcia stanu silnika spalinowego umożliwiającego pracę z maksymalnym momentem lub mocy na biegu jałowym. Obiekt 19 przemieszczający się kanałem podawczym 3 wsuwany przez operatora, dotrze do członu roboczego 25 składającego się z frezów rozdrabniających 14 i 15 rozpoczyna kolejny stan pracy silnika spalinowego, a mianowicie rozdrabnianie. Wówczas zmienia się obciążenie silnika, a wartość generowanego momentu obrotowego zależy od oporu stawianego przez rozdrabniany obiekt 19. Produktem procesu rozdrabniania są wióry lub zębki 20, które przemieszczając się przez kanał wylotowy 5 (Fig. 3). Sygnał o obiekcie w przestrzeni roboczej jest wydłużony czasowo przez sterownik przepustnicy 18 umożliwiając całkowite rozdrobnienie obiektu. Zmiana stanu tego sygnału świadczy o braku obiektu w przestrzeni roboczej i rozpoczyna zakończenie stanu, w którym silnik uzyskuje prędkość obrotową umożliwiającą osiągnięcie maksymalnego momentu obrotowego lub mocy. W takim przypadku system sterowania rozpoczyna procedurę osiągania stanu jałowego z niską prędkością obrotową silnika. Stan ten utrzymuje się aż operator nie dostarczy do kanału podawczego obiektu rozdrabniania, aktywując poprzez czujnik kolejny stan (stan pracy jałowej z prędkością obrotową umożliwiającą osiągnięcie maksymalnego momentu obrotowego lub mocy).

Sposób sterowania tym układem przedstawia fig. 6. i fig. 7. Proces rozpoczyna detekcja B1 obiektu w przestrzeni roboczej przez czujnik 1 i 2, wykrywających obiekt (gałęzie) 19 na początku kanału podawczego 3. Sygnał z sensora 2 (odbiornika) o detekcji obiektu B2 trafia do sterownika przepustnicy 18. Sterownik przepustnicy 18 na skutek zmian sygnału wejściowego zmienia sygnał sterujący B3 kątem uchylenia przepustnicy i dodatkowo utrzymuje go przez dłuższy czas, wcześniej zdefiniowany w programie, umożliwiając przemieszczenie się całego rozdrabnianego obiektu przez człon roboczy. Sygnał B3 ze sterownika przepustnicy 18 trafia do elektrycznie sterowanej przepustnicy 17 aktywując aktor 21 realizujący zmianę kąta obrotu kłapy przepustnicy B4. Zmiana położenia kłapy przepustnicy zmienia prędkość obrotową biegu jałowego na taką która umożliwia osiągnięcie maksymalnej mocy lub momentu obrotowego. Realizując dwa zjawiska: dostarczenie B5 większej ilości powietrza do komory spalania oraz zmianę sygnału B6 czujnika kąta uchylenia przepustnicy 23. Zmian sygnału B6 w algorytmie sterowania silnikiem spalinowym jest interpretowana jako zmiana obciążenia silnika, wpływając na sygnały sterujące pracą silnika spalinowego: B7 sygnałem czasu otwarcia wtryskiwacza, B8 sygnałem kąta rozpoczęcia wtrysku oraz B9 sygnałem kąta wyprzedzenia zapłonu. Zwiększona ilość dostarczonego B5 powietrza oraz sygnały B6, B7, B8 aktywujące współpracujące aktor takie jak wtryskiwacz, cewka i świeca zapłonowa umożliwiają osiągnięcie wyższej prędkości obrotowej na biegu jałowym B9 (prędkości umożliwiającej osiągnięcie maksymalnego momentu obrotowego lub mocy). Obiekt przeznaczony do rozdrabniania 19 przemieszczany kanałem podawczym 3 przez operatora, po dotarciu do zespołu członu roboczego 26, rozpoczyna proces rozdrabniania C1 generując rzeczywiste obciążenie silnika. W celu utrzymania stałej prędkości obrotowej oraz osiągnięcia niezbędnego momentu obrotowego jednostka sterująca pracą silnika spalinowego 16 zmienia sygnały B6, B7, B8. Zmianę na kolejny stan eksploatacji rozpoczyna zmiana sygnału sensora 2 (odbiornika), będąca skutkiem braku detekcji obiektu A1 na początku kanału podawczego 3. Sygnał z sensora 2 o braku detekcji obiektu A2 trafia do sterownika przepustnicy 18. Sterownik przepustnicy 18 na skutek zmian sygnału wejściowego zmienia sygnał sterujący A3 kątem uchylenia przepustnicy, stan ten utrzymuje się do czasu gdy w przestrzeni roboczej pojawi się kolejny obiekt rozdrabniania. Sygnał A3 trafia do elektrycznie sterowanej przepustnicy 17 aktywując aktor 21 realizujący zmianę kąta obrotu kłapy przepustnicy A4. Zmiana położenia kłapy przepustnicy zmienia prędkość obrotową biegu jałowego na taką która umożliwia pracę jałową z niską prędkością obrotową. Realizując dwa zjawiska: dostarczenie A5 mniejszej ilości powietrza do komory spalania oraz zmianę sygnału A6 czujnika kąta uchylenia przepustnicy 23. Zmian sygnału A6

w algorytmie sterowania silnikiem spalinowym jest interpretowana jako zmiana obciążenia silnika, wpływając na sygnały sterujące pracą silnika spalinowego: A7 sygnałem czasu otwarcia wtryskiwacza, A8 sygnałem kąta rozpoczęcia wtrysku oraz A9 sygnałem kąta wyprzedzenia zapłonu. Zmniejszenie ilości dostarczonego A5 powietrza oraz sygnały A7, A8, A9 aktywujące przez sterownik silnika 16 współpracujące aktywa takie jak wtryskiwacz i cewka i świeca zapłonowa umożliwiają osiągnięcie niższej prędkości obrotowej na biegu jałowym A10 (prędkości umożliwiającej osiągnięcie płynnej pracy jałowej).

Procedura użycia-użytkowania

Rębak z bezobsługowym systemem adaptacyjnym regulacji prędkości obrotowej napędu, wymaga od użytkownika, uruchomienia silnika, który w sposób ciągły napędza mechanizm roboczy. Po uruchomieniu i rozgrzaniu silnika urządzenie pracuje w stanie pracy jałowej z niską prędkością obrotową. Operator przez dostarczenie odpadów drzewnych do kanału podawczego automatycznie uruchamia procedurę zmiany prędkości obrotowej, wsuwając obiekt aż do członu roboczego rozpoczynając proces rozdrabniania. W przypadku gdy operator umieści kolejny obiekt w kanale podawczym, stan pracy nie zmieni się. Jeżeli umieszczenie obiektu będzie wymagało odejścia operatora od maszyny i będzie trwało określony czas po ukończeniu przez maszynę rozdrabniania (brak obiektu rejestrowanego przez czujniki 1, 2 w kanale podawczym), automatycznie zmieni ona stan pracy na stan jałowy z niską prędkością obrotową przy pomocy sterownika 18 który zmieni położenie kłapy przepustnicy powietrza 22 silnika spalinowego ograniczając dostarczanie mieszanki paliwowo-powietrznej. Stan ten utrzyma się aż do chwili gdy operator umieści w kanale podawczym kolejny obiekt do rozdrabniania.

Literatura:

- [1] Auto Electronics and Engine Controls ECOTRONS, http://www.ecotrons.com/products/small_engine_fuel_injection_kit/, (access on: 03.2017)
- [2] Briggs & Stratton gasoline engines, https://www.briggsandstratton.com/na/en_us/products/engines.html (access on: 03.2017)
- [3] Honda <http://www.environment.honda.eu.com/reports/Honda%20Environmental%20Report%202005.pdf> (access on: 03.2017)
- [4] Honda Diagnostic System, http://www.brpdiagnostics.com/site_files/442/Dr%20H%20User%20Manual.pdf (access on: 03.2017)
- [5] Honda gasoline engines, <http://engines.honda.com/models/> (access on: 03.2017)
- [6] Honda gasoline engines iGX270, iGX390-owner's manual 2014, <http://cdn.powerequipment.honda.com/engines/pdf/manuals/00X37Z8R8030.pdf> (access on: 03.2017)
- [7] Kawasaki gasoline engines, <http://www.kawasakenginesusa.com/engines> (access on: 03.2017)
- [8] Kohler Power Group gasoline engines, <https://power.kohler.com/na-en/engines/engines> (access on: 03.2017)
- [9] Subaru Industrial Power Products gasoline engines, <http://www.subarupower.com/prorjucts/#generators> (access on: 03.2017)

Zastrzeżenie patentowe

1. Układ sterowania prędkością obrotową napędu rębaka z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym **znamienny tym**, że zawiera czujniki detekcji obiektu 1 i 2 umieszczone w kanale podawczym 3, które połączone są ze sterownikiem przepustnicy 18, a sterownik 18 połączony jest z aktorem 21 kłapy przepustnicy 22, który jest zintegrowany w zespole przepustnicy 17, przy czym kłapa przepustnicy 22 jest wyposażona w czujnik uchylenia kłapy przepustnicy 23, nadto zespół przepustnicy 17 przymocowany jest do silnika spalinowego 6 wyposażonego w układ wtryskowo-zapłonowy połączony ze sterownikiem silnika 16, przy czym sterownik przepustnicy 18 zawiera kontroler czasu.

Rysunki

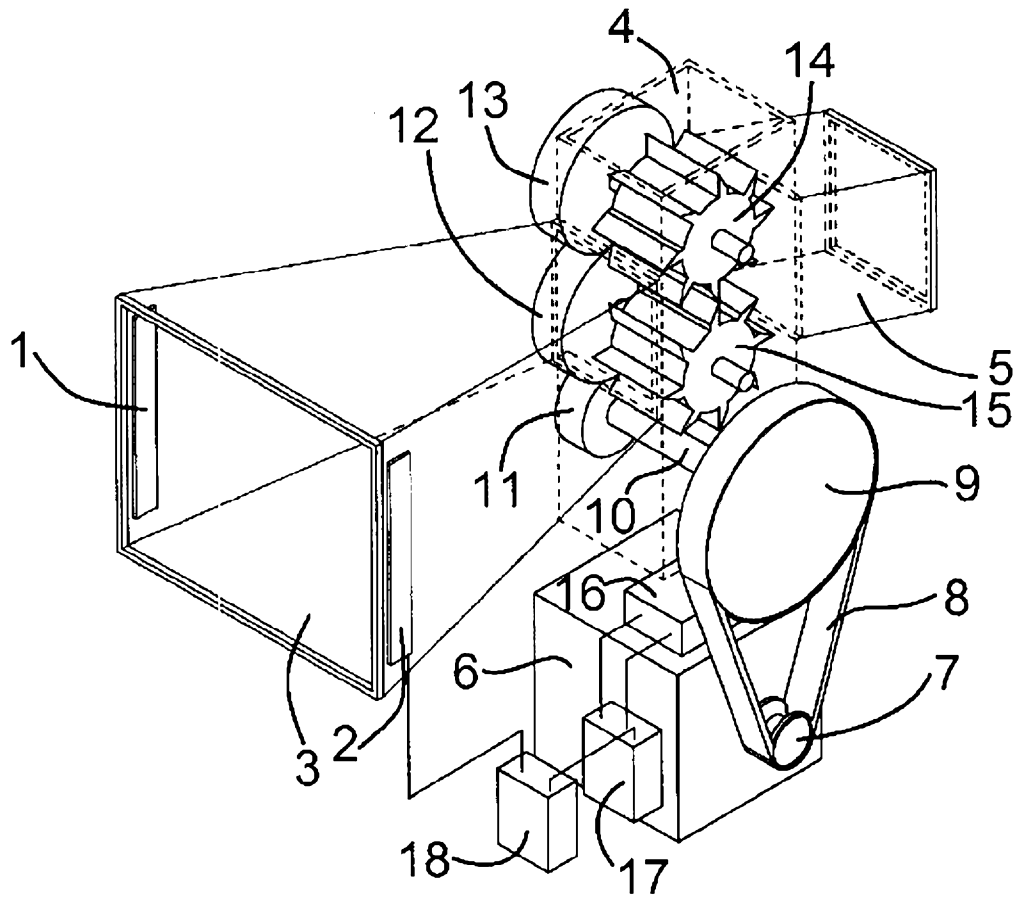


Fig. 1

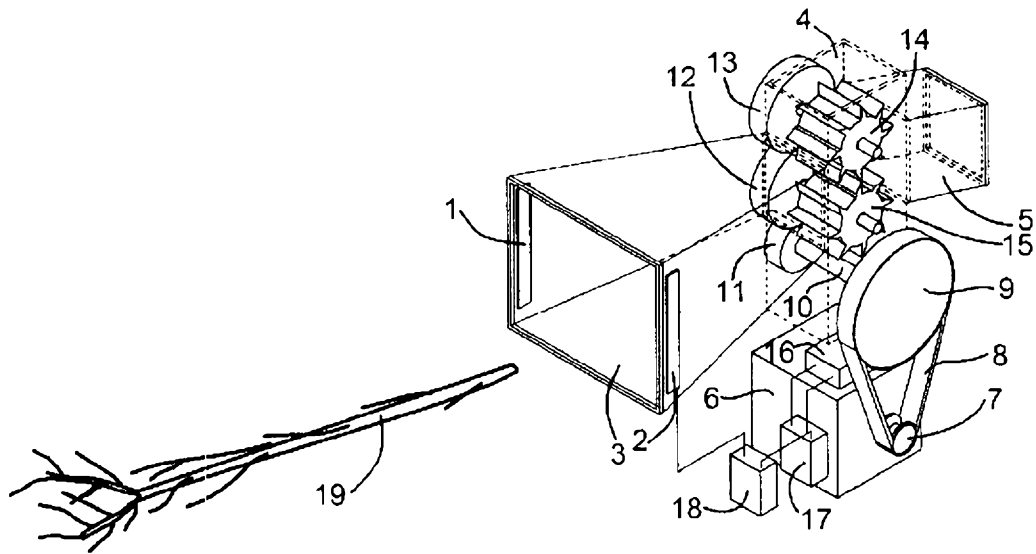


Fig. 2

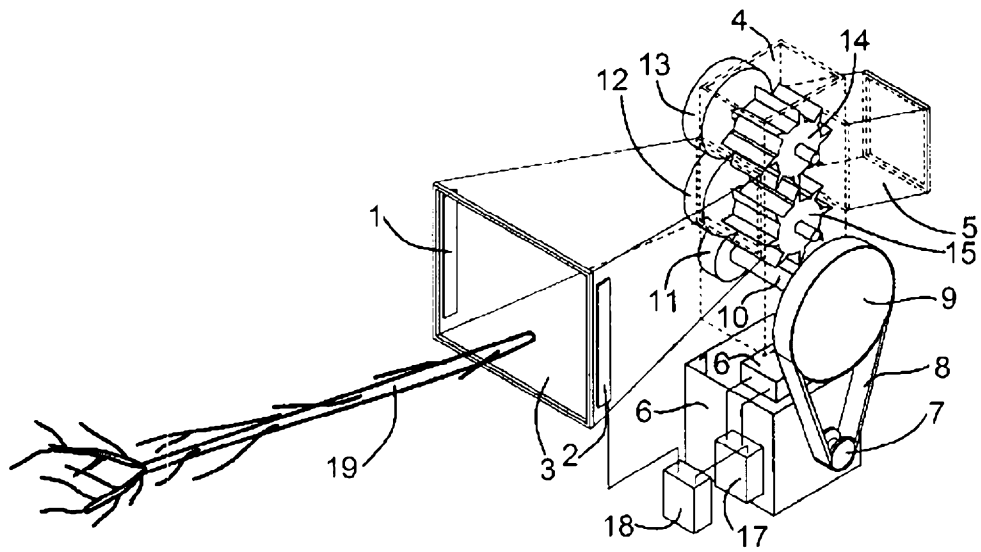


Fig. 3

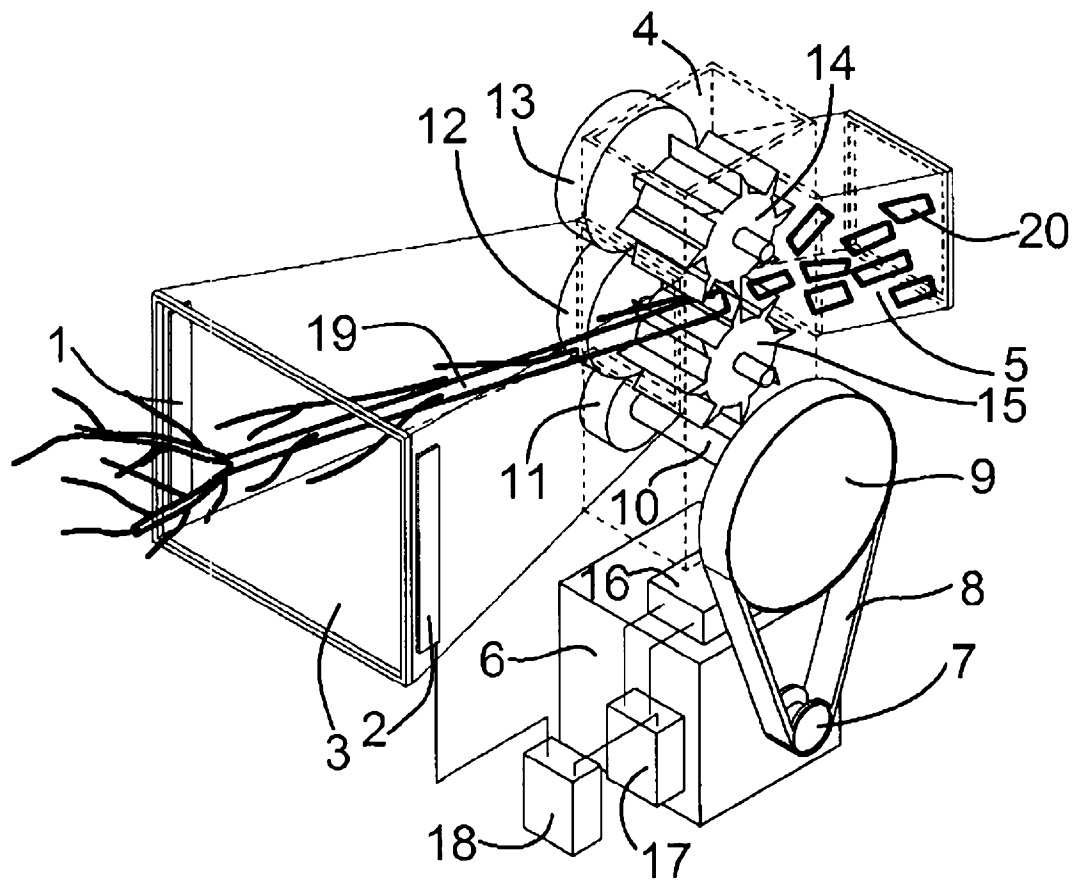


Fig. 4

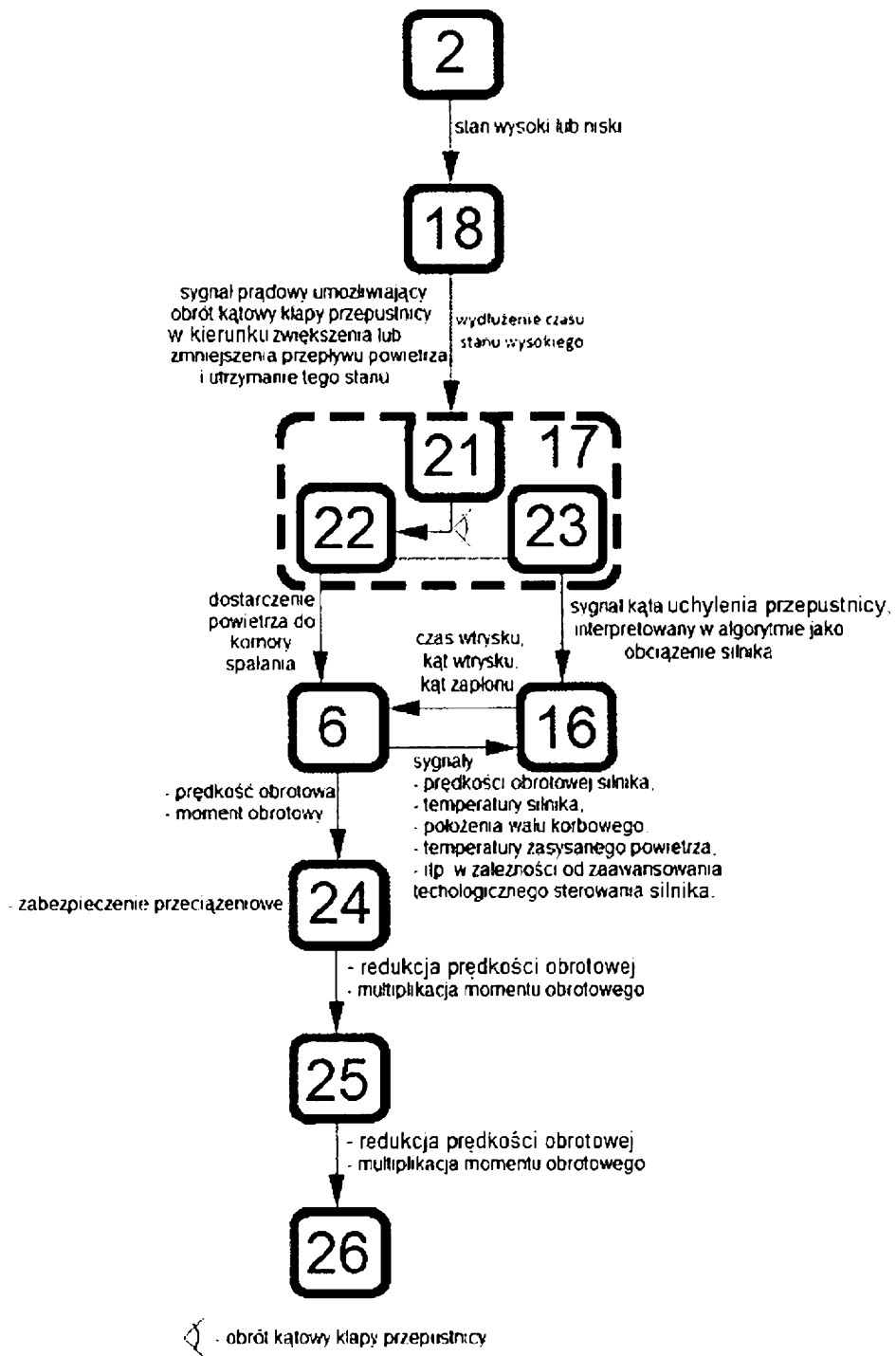


Fig. 5

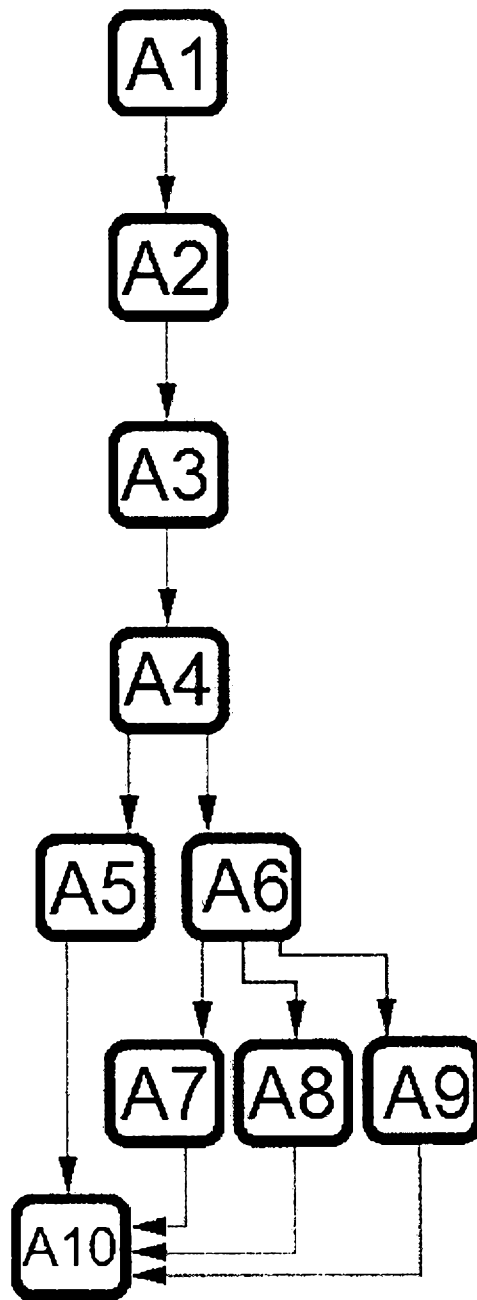


Fig. 6

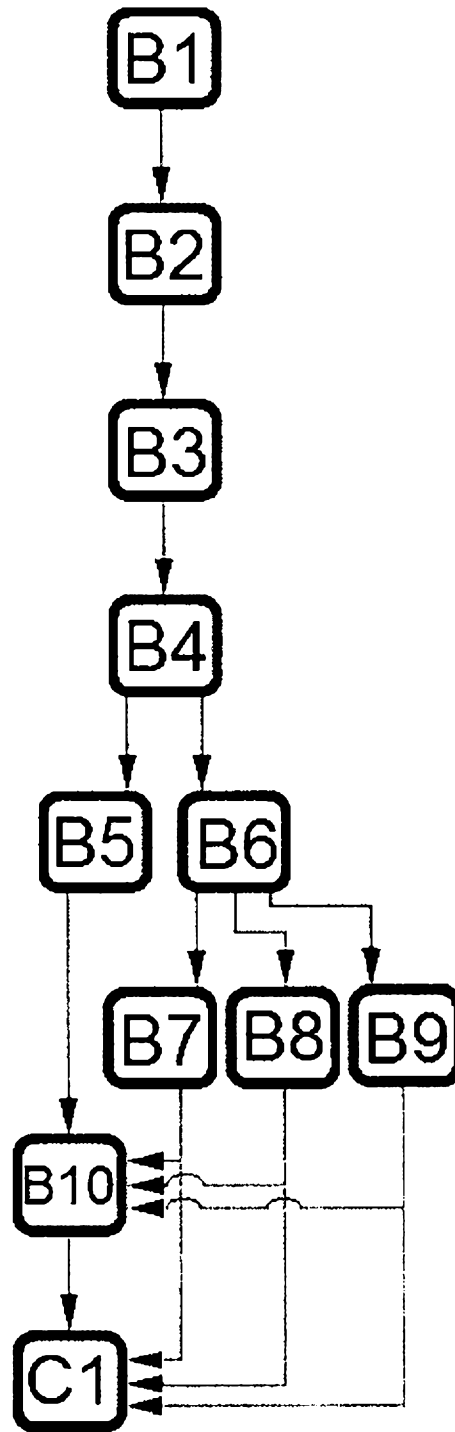


Fig 7.

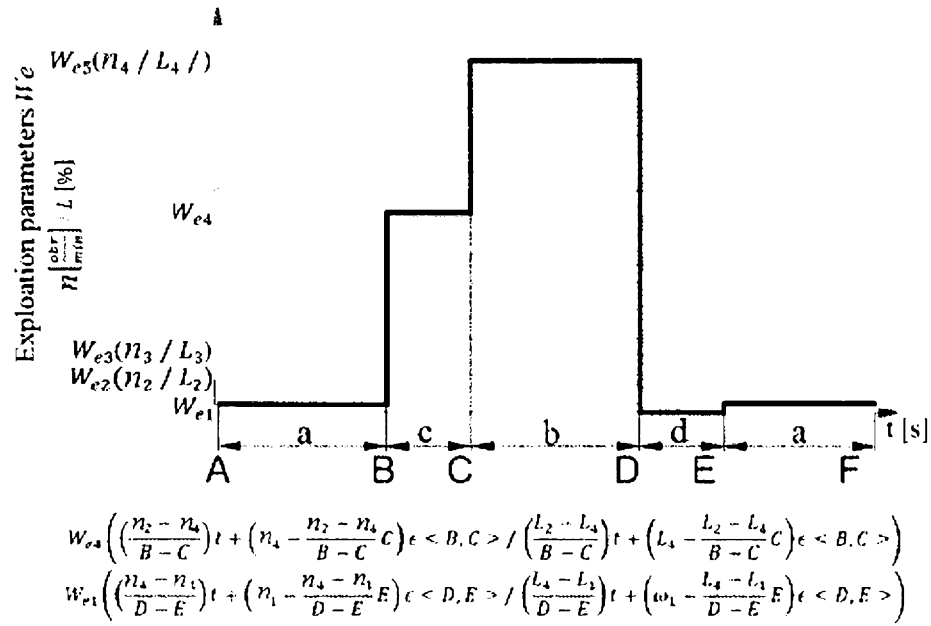


Fig. 8