

Jan FILIPCZYK
B. SENDYKA.

WYBRANE ASPEKTY MOŻLIWOŚCI SYMULACJI PRACY GAŹNIKA

Streszczenie. Jedną z metod oceny nowej konstrukcji gaźnika może być symulacja pracy przy określeniu oddziaływania otoczenia rozumianego w ujęciu systemowym. Rozpatrując pracę gaźnika jako ciągłą zmianę stanów systemu uzależnionego od działań zewnętrznych, układ należy traktować jako otwarty system deterministyczny. Badania symulacyjne nowych konstrukcji gaźnikowych mogą mieć zastosowanie w fazie projektowania. Ze względu na złożoność procesów zachodzących podczas tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej oraz wzajemne powiązania elementów systemu droga - pojazd - kierowca najodpowiedniejszą formą programu symulacyjnego jest budowa modułowa.

Program symulacyjny powinien uwzględnić zarówno stany ustalone, jak i nieustalone pracy gaźnika przy uwzględnieniu ruchu pojazdu w różnych warunkach drogowych i atmosferycznych. W artykule przedstawiono podstawowe problemy budowy programu symulacyjnego.

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój oraz rozpowszechnienie techniki komputerowej umożliwiły powszechne zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej w procesie projektowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Jedną z metod oceny nowej konstrukcji gaźnika może być symulacja pracy przy określeniu oddziaływania otoczenia. Symulacja pracy nawet znacznie uproszczonego modelu, traktowanego jako zbiór informacji o systemie zebranych w celu jego zbadania, umożliwia modyfikację systemu w fazie projektowania [1, 4].

Badanie gaźnika w ujęciu systemowym należy rozumieć jako opis wszystkich obiektów, atrybutów i działań w danej chwili czasu. Analizując zmiany stanu systemu, jakim jest gaźnik, należy wyodrębnić zmiany zachodzące w jego otoczeniu i wpływające na system oraz działania systemu powodujące zmiany nie wpływające bezpośrednio na system. Dlatego należy dokładnie określić granice między systemem a jego otoczeniem [5], co jest determinowane przez cel badania symulacyjnego.

Ze względu na to, iż praca gaźnika jako ciągła zmiana stanów systemu jest uzależniona od działań zewnętrznych, gaźnik należy traktować jako otwarty system deterministyczny.

2. Najistotniejsze problemy symulacji pracy gaźnika w stanach niestabilnych

Proces tworzenia mieszanki paliwo-powietrznej w silniku z gaźnikowym układem zasilania jest związany z funkcjonowaniem układu gaźnik - kanał dolotowy - cylinder. Jest to proces niezwykle złożony, w ramach którego można wyodrębnić podstawowe opisy zjawisk fizykochemicznych, jakimi są: dozowanie paliwa i powietrza, rozdrobnienie cząstek paliwa, mieszanie paliwa z powietrzem, odparowanie i kondensacja par paliwa, podgrzanie mieszanki paliwo-powietrznej, transportowanie ciekłej błony paliwowej od gaźnika do cylindrów silnika.

Ogólnie znana jest złożoność badań eksperymentalnych i matematycznego opisu procesów tworzenia mieszanki dla ustalonych stanów pracy silnika. Warunki niestabilne w jeszcze większym stopniu komplikują opis matematyczny z uwagi na złożoność zależności wzajemnych oddziaływań tych procesów.

Do czynników charakteryzujących warunki tworzenia się mieszanki w silnikach z gaźnikowym układem zasilania, mających decydujący wpływ na jakość pracy w warunkach niestabilnych, należą: wielofazowość mieszanki paliwo-powietrznej, niejednakowy czas przebywania mieszanki w kanale dolotowym, turbulencja i miejscowe zawirowanie strumienia mieszanki, nierównomierność przepływu paliwa w kanałach gaźnika, podgrzewanie mieszanki, zakres zmian parametrów mieszanki w kanale dolotowym i nierównomierność rozpylenia paliwa w powietrzu.

Także w ustalonych warunkach pracy strumień mieszanki w kanale dolotowym jest niestabilny. Uwarunkowane jest to jego pulsacją, spowodowaną cyklicznością pracy silnika i określoną kolejnością pracy cylindrów, geometrią kanału dolotowego, miejscowymi oporami przepływu w gaźniku i kanale dolotowym, wywołującymi asymetrię strumienia.

We wszystkich stanach pracy silnika zmienny charakter ma także wpływ paliwa z rozpylacza. Otwory rozpylacza głównego i wspomagających systemów dozowania urządzeń gaźnika położone są w strefach o różnych podciśnieniach pulsującego strumienia powietrza.

Proces rozdrabniania strugi paliwa na krople jest niezwykle złożonym procesem fizycznym, zależnym od wielu czynników, takich jak: aerodynamiczne siły oddziałujące na strugę paliwa i krople, siły odśrodkowe powstające przy przejściu strumienia mieszanki paliwo-powietrznej przez zakrzywienia kanału dolotowego.

Część kropeł osadza się na ściankach komory mieszankowej gaźnika i na wewnętrznej powierzchni kanału dolotowego, tworząc błonę paliwową.

W zależności od prędkości obrotowej, obciążenia, intensywności podgrzewania i innych czynników, grubość i prędkość przemieszczania się błony paliwowej może zmieniać się nawet w znacznych przedziałach.

Błona ta nie tylko wchłania, ale także oddaje krople do strumienia mieszanki paliwo-powietrznej.

W wyniku tych zjawisk w niestabilnych warunkach pracy zostaje naruszony bilans pomiędzy ilością paliwa podawaną przez gaźnik a ilością paliwa dostającą się do cylindrów silnika:

$$G_{pg} \neq G_{pc} \quad (1)$$

Przyjmując, iż błona w każdym punkcie kanału dolotowego ma jednakową grubość

$$G_{pg} - G_{pc} = \pi d l \rho_p \frac{dh}{dt}, \quad (2)$$

gdzie:

- d - średnica kanału dolotowego,
- l - długość kanału dolotowego,
- ρ_p - gęstość paliwa,
- h - średnia grubość błony paliwowej,

$$h = \frac{1}{l} \int_0^l h_i dl, \quad (2a)$$

gdzie:

- h_i - grubość błony paliwowej w i-tym miejscu kanału dolotowego.

Dla kanału dolotowego można zapisać zależność:

$$\pi d l \frac{dh}{dt} = g_d dt - g_k dt - V_b \pi \frac{dh}{dt} dt, \quad (3)$$

gdzie:

- g_d - objętościowa ilość paliwa podawana do gaźnika w jednostce czasu,
- g_k - objętościowa ilość paliwa wyparowująca w jednostce czasu z warstwy przysciennej kanału dolotowego,
- V_b - średnia prędkość zmian grubości błony paliwowej.

Po przekształceniu równanie (3) przybierze postać:

$$\frac{dh}{dt} + \frac{V_b}{l} h = \frac{1}{\pi d l} (g_d - g_k) \quad (4)$$

równania obrazującego akumulacyjne działanie kanału dolotowego.

Tworzenie mieszanki przebiega tym efektywniej, im większe jest parowanie i bardziej równomierne rozpylenie paliwa w strumieniu powietrza.

Pobieżna analiza zjawisk zachodzących podczas przepływu mieszanki przez kanał dolotowy wykazuje, że symulacja pracy gaźnika jako elementu składowego silnika bez uwzględnienia wpływu działania kanału dolotowego jest znacznie zubożona i niepełna.

Przy zmianie położenia przepustnicy proces tworzenia mieszanki charakteryzuje się szeregiem specyficznych właściwości. Podczas otwierania przepustnicy ilość paliwa wyciekającego z rozpylacza zwiększa się, jednakże nie obserwuje się przy tym równie gwałtownego narastanie momentu obrotowego silnika.

Na początku rozbiegu można niekiedy zauważyć zmniejszanie się momentu obrotowego w porównaniu z momentem obrotowym wyjściowego, ustalonego stanu pracy, spowodowane czasowym zubożeniem mieszanki dostającej się do cylindrów.

Skład mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze mieszankowej gaźnika nie odpowiada jakości mieszanki w cylindrze. Do cylindra dochodzą tylko najdrobniejsze krople paliwa. Ze względu na małą masę łatwiej unoszone są w potoku powietrza i znacznie szybciej odparowują. Jednocześnie obserwuje się gwałtowne zwiększenie ilości błony paliwowej, która osiada nie tylko na ściankach komory mieszankowej gaźnika, ale także na przepustnicy.

Zwiększenie współczynnika nadmiaru powietrza w cylindrach silnika na początku rozprędzania związane z przyrostem masy błony paliwowej może trwać 1,5 - 4 s. Po tym okresie obserwuje się wzbogacanie mieszanki w cylindrach spowodowane odparowaniem części paliwa z błony płynącej po ściankach kanału dolotowego.

Można przypuszczać, iż analizowana nierównomierność rozpylenia paliwa w nieustalonych stanach pracy silnika jest następstwem zjawisk gazodynamicznych i frakcjonowania paliwa w procesie tworzenia mieszanki.

Tworzenie mieszanki w ustalonych stanach pracy silnika jest uzależnione także od podgrzania mieszanki w kanale dolotowym.

W przypadku zamykania przepustnicy gwałtownie zmniejsza się podciśnienie w dyfuzorze, a zwiększa w kanale dolotowym. Przy pracy układu przejściowego i biegu jałowego wpływ paliwa przez główny system dozujący maleje lub całkowicie zanika.

W wyniku dopływu do cylindra mniejszej ilości paliwa znacznie zmniejsza się moment obrotowy silnika przy jednoczesnym wolniejszym spadku prędkości obrotowej.

Jeżeli moc indykowana, którą rozwija silnik, jest niedostateczna dla zapewnienia odpowiedniej prędkości obrotowej wału korbowego, a ruch jest wynikiem energii kinetycznej koła samochodowego i masy samochodu, wówczas można mówić o procesie przejściowym nazywanym stanem wymuszonego biegu jałowego.

Na jakość tworzenia mieszanki oraz wielkość napełnienia ma wpływ proces podgrzewania świeżego ładunku mieszanki roboczej przez elementy silnika.

Z równania bilansu cieplnego

$$c G_c \Delta T = \alpha F (T_c - T_z) t_{nap}. \quad (5)$$

wynika, że przyrost temperatury świeżej mieszanki jest równy:

$$T = \frac{\alpha F (T_c - T_z) t_{nap}.}{c G_c}, \quad (6)$$

gdzie:

- α - średni w czasie przepływu mieszanki (t_{nap}) współczynnik przewodności cieplnej od elementów układu dolotowego do mieszanki,
- F - powierzchnia elementów układu dolotowego,
- T_c - uśredniona temperatura elementów układu dolotowego,
- c - pojemność cieplna mieszanki,
- T_z - temperatura przepływającej mieszanki.

Dla stałych, nie zmieniających się warunków pracy podgrzewanie mieszanki będzie tym intensywniejsze, im wyższa będzie temperatura powierzchni elementów. Temperatura znacznie zmienia się ze zmianą stanu pracy silnika, rośnie ze wzrostem prędkości obrotowej wału korbowego i ze zwiększeniem obciążenia.

Każdemu ustalonemu stanowi pracy silnika odpowiada określona temperatura jego elementów i temperatura pozostałej części gazów.

Przejęcie z jednego stanu pracy w drugi narusza równowagę między ciepłem doprowadzanym do elementów a ciepłem od nich odbieranym.

Nowa równowaga cieplna nie może nastąpić od razu po zmianie stanu pracy, niezbędny jest czas dla ustalenia się równowagi wynikający z bezwładności cieplnej.

Z uwagi na złożoność zjawiska powyższy proces można opierać na analizie tylko z dużym przybliżeniem.

Parametry procesu ssania lub wydechu uzależnione są od ciśnienia w kanale dolotowym P_d , ciśnienia w cylindrze P_c i ciśnienia będącego skutkiem bezwładności strumienia P_b .

Wielkości te dla odpowiednich stanów ustalonych i nieustalonych mogą przybierać różne wartości. Jeżeli zależność występująca między ciśnieniami w stanie ustalonym (u) i nieustalonym (n) można opisać nierównościami:

$$P_{d_n} + P_{b_n} - P_{c_n} > P_{d_u} + P_{b_u} - P_{c_u},$$

to efekt wlotu w warunkach nieustalonych będzie bardziej widoczny.

Z uwagi na niewielkie różnice między P_{c_n} i P_{c_u} (są bardzo małe) można przyjąć, iż $P_{c_n} \approx P_{c_u}$. Kierunek działania siły wypadkowej zależy jest od zależności występujących między P_{d_n} i P_{d_u} oraz P_{b_n} i P_{b_u} .

Jeżeli przy stałym położeniu przepustnicy zmienia się prędkość obrotowa wału lub przy stałej prędkości zmienia się odpowiednio położenie przepustnicy, P_d zmniejsza się. Różnica między P_{d_n} i P_{d_u} jest mniejsza przy pełnym otwarciu przepustnicy i wzrasta w miarę jej zamykania.

W warunkach ustalonych P_b jest proporcjonalne do przyspieszenia tłoaka v , które przy stałej prędkości kątowej wału korbowego $\omega = \text{const}$, wynosi:

$$v = r\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (7)$$

$$P_{b_u} \approx r\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (8)$$

Jeżeli, jak to ma miejsce przy rozbiegu, prędkość kątowa zmienia się w czasie, to:

$$P_{b_n} \approx r\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) + r\dot{\omega} (\sin\alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha), \quad (9)$$

gdzie:

r - promień korby,

λ - stosunek promienia korby do długości ramienia,

α - kąt obrotu wału korbowego.

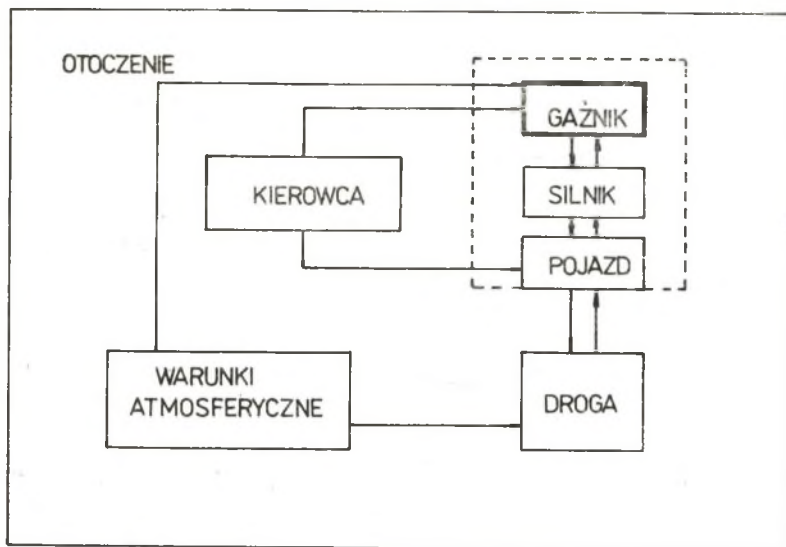
Z powyższych równań wynika następująca zależność:

$$P_{b_n} \approx r\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \left(1 + \frac{\dot{\omega}}{\omega} \frac{\sin\alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha}{\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha} \right) \quad (10)$$

3. Struktura programu symulacyjnego

Funkcjonowanie gaźnika w systemie kierowca-silnik-samochód-droga można ująć w schemacie zależności występujących między gaźnikiem a otoczeniem (rys. 1).

Praca gaźnika jest integralnie związana z funkcjonowaniem układu dolotowego. Model wzajemnych oddziaływań, charakteryzujący nieustalony stan pracy układu dolotowego (rys. 2) [2], może być przedstawiony analogicznie do systemu automatycznego sterowania kierowca-silnik-samochód-droga.



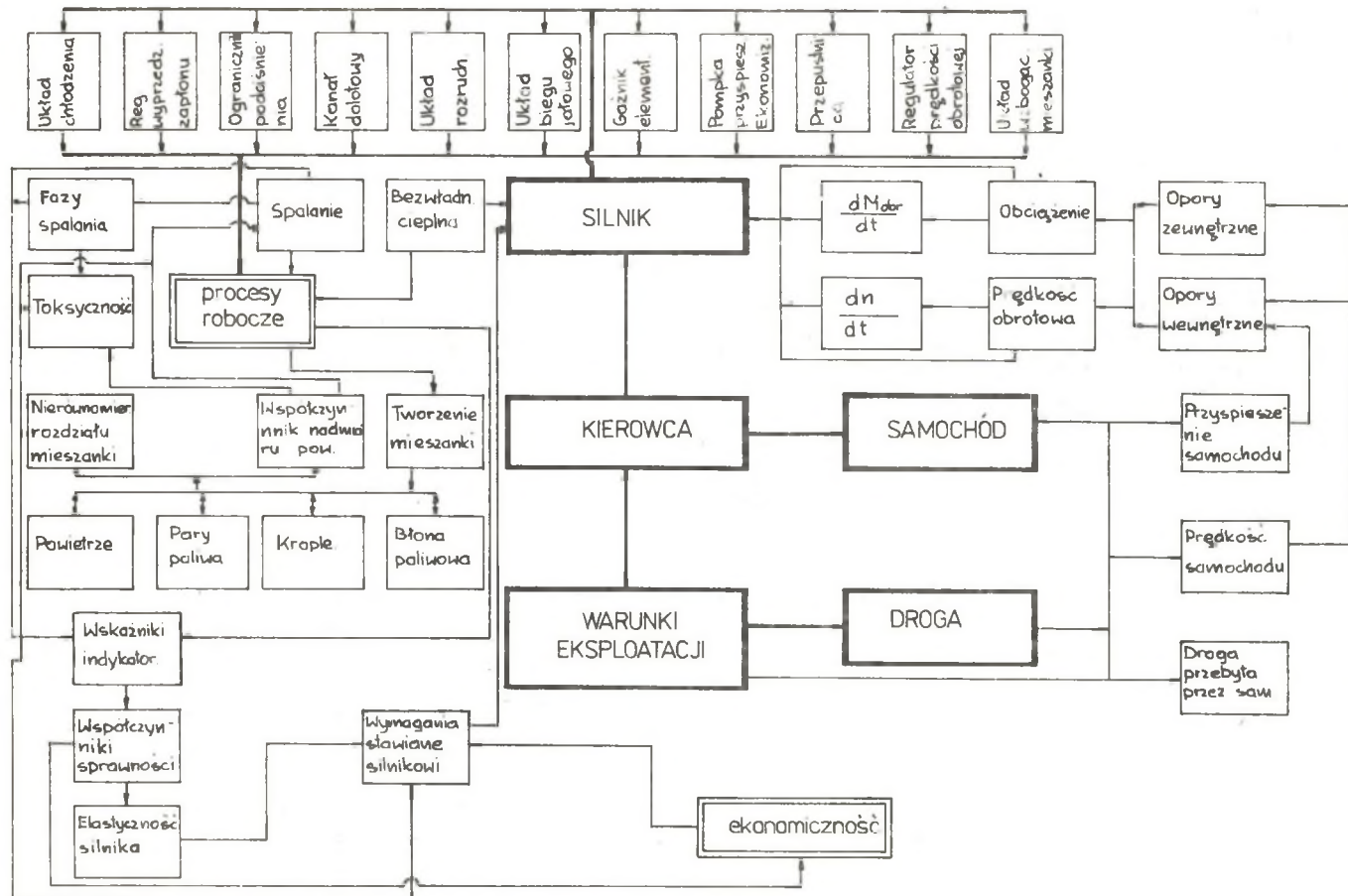
Rys. 1. Schemat układu zależności występujących między gaźnikiem a otoczeniem

Fig. 1. Scheme of the system of relations between a carburetor and environment

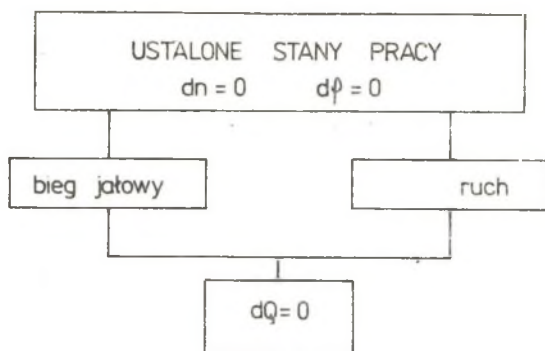
Dla rozpatrywanego systemu można wyróżnić następujące stany:

- ruch pojazdu ze stałą prędkością, określonym przełożeniem i niezmiennym otwarciem przepustnicy lub ruch ze stałą prędkością w stanie pracy wymuszonego biegu jałowego (warunki ustalone - rys. 3),
- praca silnika w procesach przejściowych, kiedy moc silnika nie odpowiada sumie wewnętrznych i zewnętrznych oporów (nadmiar lub niedobór mocy silnika charakteryzują niestalone warunki pracy - rys. 4).

Pełna symulacja pracy gaźnika powinna uwzględnić stany ustalone (rys. 3) i niestalone (rys. 4) pracy silnika [2].



Rys. 2. Model wzajemnych oddziaływań charakteryzujących stany nieustalone
 Fig. 2. A model of reactions characterizing transient states



Rys. 3. Schemat podziału ustalonych stanów pracy silnika
 Fig. 3. Scheme of distribution of the engine steady states

4. Wnioski

Analizując matematyczne opisy zjawisk fizycznych występujących podczas działania gaźnika można przyjąć, że najodpowiedniejszą formą programu symulacyjnego będzie budowa modułowa.

Każdy z modułów - podprogramów powinien funkcjonować niezależnie od innych po wprowadzeniu dodatkowych instrukcji wejścia i wyjścia.

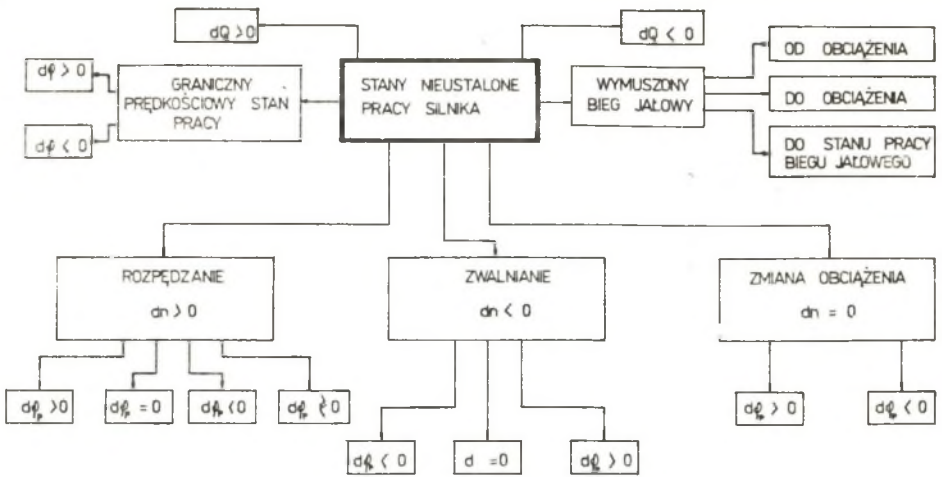
Jako główne moduły można wyodrębnić programy:

- symulujący zmianę parametrów fizykochemicznych powietrza i paliwa w zależności od warunków otoczenia,
- symulujący zmiany oporów przepływu przez gardziel,
- symulujący zmianę jakości tworzonej mieszanki paliwowo-powietrznej,
- symulujący pracę poszczególnych układów gaźnika,
- symulujący zmianę parametrów mikrostruktury mieszanki.

Każdy z podprogramów powinien uwzględniać stany ustalone i podstawowe nieustalone (rys. 4) pracy gaźnika.

Model wzajemnego oddziaływania elementów systemu charakteryzujący stan pracy gaźnika jako elementu układu dolotowego powinien uwzględnić dla wszystkich stanów pracy działanie:

- systemu chłodzenia,
- regulatora wyprzedzenia zapłonu,
- ograniczników podciśnienia i prędkości obrotowej,
- kanału dolotowego,
- gaźnika jako układu podstawowego,
- układu pompki przyspieszenia, rozruchu, biegu jałowego i wzbogacania mieszanki.



Rys. 4. Klasyfikacja nieustalonych stanów pracy silnika
 Fig. 4. Classification of the engine transient states

LITERATURA

- [1] Ackoff R.L.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych
- [2] Archangielskij B.M., Złotkin G.N.: Rabota karburatornych dwigatielej na nieustanowuszihsa reżimach. Maszynostrojenije, Moskwa 1979.
- [3] Gordon G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974.
- [4] Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. PWN, Warszawa 1984.
- [5] Stark R.M., Nicholls L.: Matematyczne podstawy projektowania inżynierskiego. PWN, Warszawa 1979.

Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 4.09.1986 r.

ИЗБРАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЗМОЖНОСТИ СИМУЛЯЦИИ КАРБЮРАТОРА

Резюме

Одним из методов оценки новой конструкции карбюратора может быть симуляция работы при определении воздействия окружающей среды, понимаемого в категориях системного подхода. Рассматривая работу карбюратора как непрерывное изменение состояния системы под воздействием внешних факторов, ус-

тройство необходимо рассматривать как открытую детерминистскую систему. Симуляционные исследования новых конструкций карбюраторов могут быть применены на этапе проектирования. В виду сложности процессов имеющих место во время получения топливно-воздушной смеси а также в виду на взаимные связи элементов системы дорога - машина - водитель, самой лучшей формой симуляционной программы является модульное построение.

Симуляционная программа должна учитывать установившиеся и неустановившиеся состояния работы карбюратора с учётом движения машины в различных дорожных и атмосферных условиях.

В статье представлены основные проблемы конструкции симуляционной программы.

THE SIMULATION OF THE CARBURATOR WORKING CONDITIONS AND THEIR SELECTED ASPECTS

S u m m a r y

One of the estimation methods of the new carburetor construction seems to be its working simulation when the environment influence is considered as a system. The carburetor functioning can be also considered as a continuous change of conditions being a system and because it depends on the outside ones, this scheme is to be treated as an open determinized system. These simulation tests can be applied into the new carburetor design work. But the mixture creation process is much complicated and it has to be considered as being compound into such system elements, as the way-car-driver relation, so the segment structure appears the most adequate form of the simulation programming.

This program should also contain as well the stabilized as the unstabilized working conditions because the car movement depends on various traffic and atmospheric changes.

There are presented the basic problems of this simulation program and its creating work.