

Mieczysław Dziubiński¹⁾

BADANIA SYMULACYJNE UKŁADU WTRYSKU BENZYNY BOSCH MOTRONIC

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych wybranych urządzeń elektrycznych pojazdów samochodowych. Badania przeprowadzono dla elektronicznego układu wtrysku paliwa Motronic firmy Bosch. W ramach badań zarejestrowano czasy wtrysku paliwa oraz przeprowadzono symulacje uszkodzeń elementów mechatronicznych. Doświadczalne badania symulacyjne umożliwiają analizę poszczególnych sygnałów czujników i ich wpływ na ekologiczne aspekty procesu spalania. Badania przeprowadzono dla oryginalnego sterownika układu wtrysku paliwa MA 1.7 firmy Bosch oraz na obiekcie rzeczywistym systemu Mono-Motronic rejestrując składniki procesu spalania przy użyciu analizatora spalin.

Słowa kluczowe: układ wtrysku paliwa, czujniki, analiza procesu spalania.

WPROWADZENIE

Badania symulacyjne są często jedynym sposobem wiodącym do przeprowadzenia skutecznej analizy porównawczej sterowania obiektami nieliniowymi, o stochastycznie zmiennych parametrach i warunkach pracy. Badania takie znacznie zmniejszają koszt eksperymentu i pozwalają na precyzyjną analizę, która nie zależy od czynników zakłócających trudnych do wyeliminowania na stanowisku badawczym [1, 2, 4].

Opracowanie precyzyjnych algorytmów sterowania wtryskiem stało się impulsem do zbudowania układów zasilania sterowanych mikroprocesorowo. Sterownik silnika będąc mikrokomputerem otrzymuje sygnały z przetworników i czujników o bieżącym stanie silnika, o żądaniach kierowcy i stanie stabilności samochodu na drodze, na który ma wpływ układ napędowy. Po opracowaniu sygnałów i skorzystaniu ze strategii sterowania zawierającej modele i tablice parametrów stałych, jest obliczany czas otwarcia wtryskiwacza. Dawka paliwa zależy od czasu jego otwarcia, ponieważ spadek ciśnienia na wtryskiwaczu, w układach wtrysku do kolektora dolotowego, jest stały. W układach bezpośredniego wtrysku dawka zależy też od sterowanego ciśnienia wtrysku. Sterownik silnika steruje między innymi:

- układami stabilizacji prędkości biegu jałowego;
- włączaniem pompy paliwa;

¹⁾ Katedra Pojazdów Samochodowych, Politechnika Lubelska, e-mail: m.dziubinski@pollub.pl

- uchynieniem przepustnicy powietrza;
- recyrkulacją spalin;
- dopływem wtórnego powietrza;
- opróżnianiem i regeneracją filtra z węglem aktywnym;
- układem doładowania;
- układem zmiany faz rozrządu;
- układem wyłączania cylindrów z pracy;
- układem zapłonowym;
- załączeniem sprężarki klimatyzacji [9, 10].

W nowszych rozwiązaniach sterownik silnika wymienia informacje z innymi sterownikami samochodu przez szynę CAN. Wymiana danych dotyczy sterownika układu napędowego, sterownika zabezpieczenia pojazdu przed kradzieżą, sterownika urządzeń komfortu. Ta wymiana informacji pozwala sterować silnikiem tak aby nie przekraczając dopuszczalnych emisji toksyn i hałasu, zapewniając stabilny ruch pojazdu na drodze, spełnić oczekiwania kierowcy. Optymalne sterowanie musi też zapewnić jak najmniejsze zużycie paliwa w danych warunkach [9].

Podstawowym wskaźnikiem pracy silnika ZI jest współczynnik nadmiaru powietrza. Jeśli sterownik określi ten współczynnik dla danych warunków pracy, to do wyznaczenia dawki paliwa wystarczy wyznaczyć ilość napływającego do silnika powietrza. Bardzo trudne do optymalnego sterowania są stany przejściowe pracy silnika. Uwzględnienie zjawisk dynamicznych, takich jak: ciśnienie w kolektorze dolotowym, skraplanie paliwa na zimnych ściankach kolektora i cylindra, zawirowania i strefy różnego składu mieszanki oraz inne, jest bardzo trudne. Zastosowanie w ostatnich latach adaptacyjnego sterowania pracą silników samochodowych poprawiło jakość sterowania przy zmieniających się parametrach struktur, np. niepowtarzalność produkcji silników, zużycie eksploatacyjne.

Osiągnięcie zadawalających rezultatów w tym kierunku umożliwia zastosowanie w pojazdach elektroniki co pozwala na precyzyjne dostosowanie dawki paliwa. Odpowiednio dobrana mieszanka tak by mogła ulec w zupełności spaleni i możliwość uzyskania w wyniku jej spalania maksymalnej pracy, powoduje iż można kontrolować emisje składników toksycznych i zwiększać trwałość silnika. Dlatego zastosowanie sterowników we współczesnych silnikach stało się rzeczą nierozłączną. Zastosowanie znacznej ilości czujników pozwalających na ciągłą kontrolę pracy silnika i sterowanie dawką paliwa dla zadanych warunków pracy silnika stwarza większe ryzyko wystąpienia uszkodzenia któregośkolwiek z elementów całego systemu sterowania [3, 5, 7, 8].

Wystąpienie uszkodzenia któregośkolwiek z czujników związanych z pracą silnika niesie ze sobą następstwa w niewłaściwej jego pracy a co z tym się wiąże powoduje większe skażenie środowiska naturalnego. Obecnie stosowane sterowniki posiadają funkcje trybu awaryjnego umożliwiającą dalszą pracę silnika przy uszkodzonym jednym z czujników dobierając zastępczą wartość sygnału dla sterownika

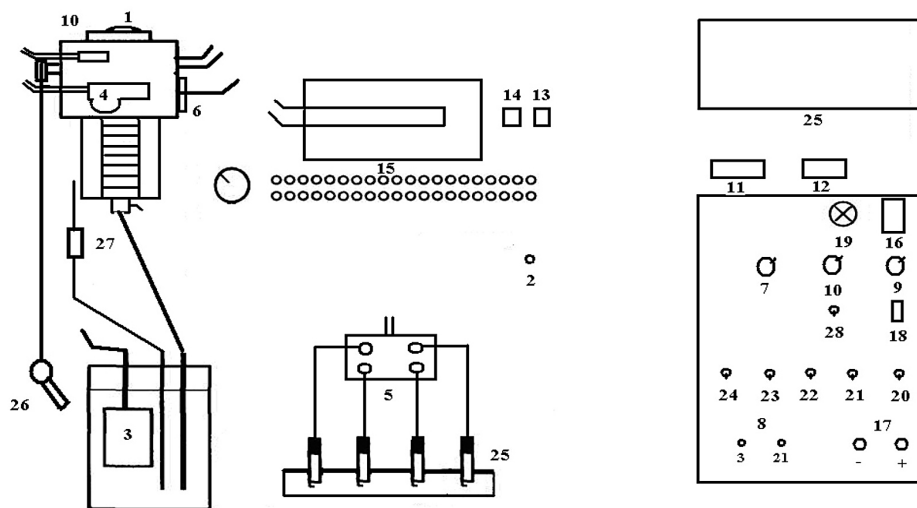
Dlatego tak ważne jest aby te uszkodzenia występowały jak najrzadziej a ich ewentualne powstanie miało jak najmniej odczuwalne skutki. Badania symulacyjne mają na celu wskazanie zależności pomiędzy uszkodzeniami powstałymi w torze paliwowym i ich skutkami przekładającymi się na skażenie środowiska. Analiza sygnałów czujników i odpowiedzi na niewłaściwy sygnał przez sterownik pozwoli przy wykorzystaniu analizatora spalin wskazać w jakim stopniu nastąpi zmiana składników toksycznych.

BADANIA SYMULACYJNE

Opis stanowiska

Badania symulacyjne wymagały wykonania stanowiska układu wtryskowego Mono-Motronic MA 1.7. Układ pochodzi z samochodu Fiat Tempra 1.6 IE (55kW).

Stanowisko umożliwia obserwację pracy układu wtryskowego w różnych warunkach (rys. 1). Możliwe jest to, przez zmianę sygnałów z czujnika położenia przepustnicy, czujnika temperatury płynu chłodzącego, czujnika temperatury powietrza, sondy lambda oraz czujnika hallotronowego. Elektroniczne urządzenie sterujące od-



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania układu wtryskowego Mono-Motronic MA 1.7: 1 - wtryskiwacz, 2 - elektrozawór oczyszczania par paliwa, 3 - pompa paliwa, 4 - silnik regulacji na biegu jałowym, 5 - cewka zapłonowa, 6 - czujnik położenia przepustnicy, 7 - czujnik tlenu, 8 - czujnik prędkości obrotowej wału korbowego, 9 - czujnik temperatury silnika, 10 - czujnik temperatury powietrza, 11 - miernik czasu wtrysku, 12 -obrotomierz, 13 -przełącznik główny, 14 -przełącznik pompy paliwa, 15 -zespół sterowania, 16 -włącznik zapłonu, 17 -zasilanie (+, -), 18 -przełącznik bezwładnościowy, 19 -lampka kontrolna, 20 -symulacja uszkodzenia czujnika temperatury silnika, 21 -symulacja uszkodzenia czujnika temperatury powietrza, 22 -symulacja uszkodzenia czujnika tlenu, 23 -symulacja uszkodzenia czujnika położenia przepustnicy, 24 -symulacja uszkodzenia nastawnika przepustnicy, 25 - świece zapłonowe, 26 - regulacja położenia przepustnicy, 27 - filtr paliwa, 28 -przełącznik czujnika powietrza (rzeczywisty/symulacja)

czytuje zmianę sygnałów i ustala dawkę wtryskiwanego paliwa możliwą do zaobserwowania. Dodatkowe urządzenie (miernik czasu wtrysku) pozwala na pomiar czasu wtrysku w różnych warunkach pracy symulowanych przez obsługującego tablicę pomiarową.

Stanowisko zbudowane jest z następujących układów:

- układu elektrycznego, w skład, którego wchodzi: elektroniczne urządzenie sterujące, instalacja elektryczna;
- układu z czujnikiem indukcyjnym symulującym zmianę prędkości obrotowej wału korbowego ;
- układu paliwowego, który składa się z elektrycznej pompy paliwa, filtra i manometru służącego do pomiaru ciśnienia w układzie.

Celem badań jest przeprowadzenie symulacji na stanowisku pomiarowym oraz obserwacja zmiany czasu wtrysku w zależności od zmiany parametrów wybranych czujników układu wtryskowego wprowadzanych do sterownika.

Na stanowisku do badań symulacyjnych układu Mono-Motronic będą przeprowadzone następujące badania:

- pomiar zmiany czasu wtrysku paliwa w zależności od zmiennych symulowanych warunków pracy układu wtryskowego,
- symulacja uszkodzeń czujników układu wtryskowego oraz ich wpływ na zmianę czasu wtrysku.

Badanie zmiany czasu wtrysku paliwa w zależności od stopnia uchylenia przepustnicy

Badanie $t_w = f(\alpha_p)$ przeprowadzono dla następujących warunków ustalonych:

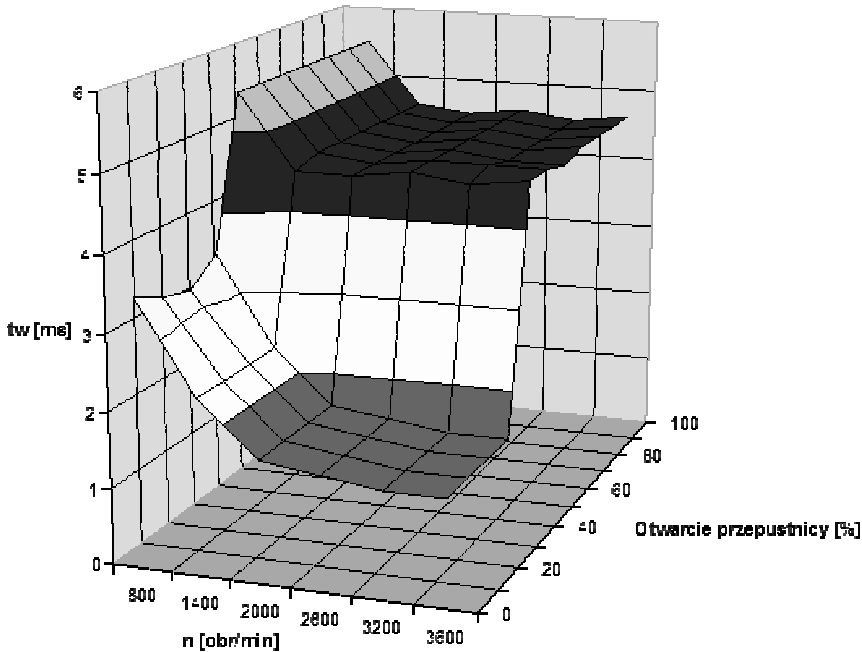
- temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80\text{ }^\circ\text{C}$, (353 K);
- temperatura powietrza w układzie dolotowym: $T_p = 20\text{ }^\circ\text{C}$, (293 K)
- napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4\text{ V}$.

Badanie przeprowadzono dla uchylenia przepustnicy w zakresie od 0° do 100° , ze skokiem, co 10° . Pomiar przeprowadzono przy różnych prędkościach obrotowych od $n = 800\text{ obr/min}$. do $n = 3600\text{ obr/min}$. Prędkość obrotowa $n = 3600\text{ obr/min}$. była prędkością maksymalną ponieważ sterownik MA 1.7. przy tej prędkości odcinał wtrysk paliwa.

Wyniki badań zostały przedstawione na rysunku 2.

Symulacja uszkodzeń czujników układu wtryskowego oraz analiza ich wpływu na zmianę czasu wtrysku paliwa

Pomiary czasu wtrysku w zależności od symulacji uszkodzeń czujników układu wtryskowego, przeprowadzono dla następujących danych:



Rys. 2. Zmiana czasu wtrysku paliwa $t_w = f(\alpha_p)$

1. Układ bez uszkodzeń:
 - temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80^\circ \text{C}$, (253 K);
 - temperatura powietrza: $T_p = 20^\circ \text{C}$, (293 K);
 - napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4 \text{ V}$.
2. Uszkodzenie czujnika temperatury płynu chłodzącego T_s .
 - temperatura powietrza: $T_p = 20^\circ \text{C}$, (293 K);
 - napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4 \text{ V}$.
3. Uszkodzenie czujnika temperatury powietrza T_p .
 - temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80^\circ \text{C}$, (253 K)
 - napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4 \text{ V}$.
4. Uszkodzenie sondy lambda λ .
 - temperatura powietrza: $T_p = 20^\circ \text{C}$, (293 K)
 - temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80^\circ \text{C}$, (253 K);
5. Uszkodzenie czujnika położenia przepustnicy.
 - temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80^\circ \text{C}$, (253 K);
 - temperatura powietrza: $T_p = 20^\circ \text{C}$, (293 K);
 - napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4 \text{ V}$.
6. Uszkodzenie nastawnika przepustnicy.
 - temperatura płynu chłodzącego: $T_s = 80^\circ \text{C}$, (253 K);
 - temperatura powietrza: $T_p = 20^\circ \text{C}$, (293 K)
 - napięcie sondy lambda: $\lambda = 0,4 \text{ V}$.

Pomiar przeprowadzono dla stałej prędkości obrotowej $n = 800$ obr/min, co dopowiada całkowicie zamkniętej przepustnicy $\alpha_p = 0^\circ$.

Pomiar powtórzono dla różnych prędkości obrotowych w zakresie $n = 800$ – 3600 obr/min. i odpowiadającym im otwarciu przepustnicy $\alpha_p = 10^\circ$ – 50° . Zestawienie wyników czasów wtrysku (t_w [ms]) dla uszkodzeń poszczególnych czujników przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników t_w dla uszkodzeń poszczególnych czujników

| Symulacja błędów | | | t_w [ms] | | | | | |
|------------------|----------------|---------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------|------------------------|
| | | | bez błędów | czujnik temperatury chłodziwa | czujnik temperatury powietrza | czujnik tlenu | czujnik przepustnicy | nastawnik przepustnicy |
| Lp. | α_p [%] | n [obr/min] | | | | | | |
| 1 | 0 | 800 | 3,6 | 2,6 | 3 | 4,6 | 2,6 | 2,6 |
| 2 | 10 | 1400 | 5,2 | 4,4 | 5,4 | 6,3 | 4,4 | 4,4 |
| 3 | 20 | 2000 | 5,1 | 4,4 | 5,3 | 5,6 | 4,4 | 4,4 |
| 4 | 30 | 2600 | 4,8 | 4,4 | 5,3 | 5,5 | 4,4 | 4,4 |
| 5 | 40 | 3200 | 4,4 | 4,4 | 5,3 | 5,5 | 4,4 | 4,4 |
| 6 | 50 | 3600 | 4,4 | 4,4 | 5,3 | 5,5 | 4,4 | 4,4 |

Badania z użyciem analizatora spalin dla wybranych uszkodzeń

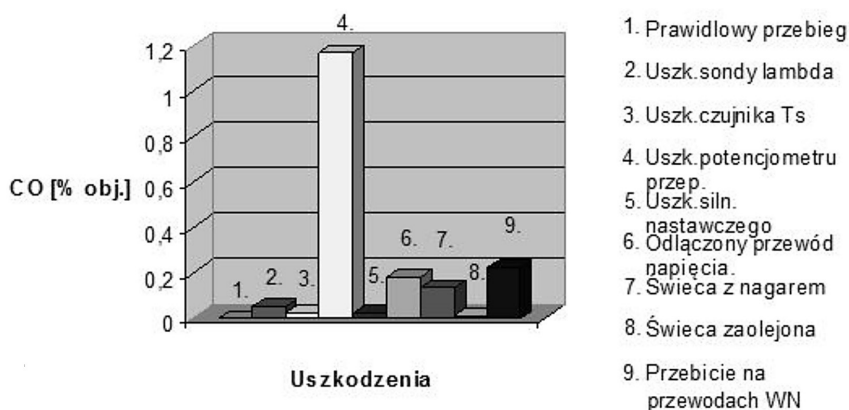
Badania zostały przeprowadzone na hamowni silnikowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu analizatora spalin Bosch RTT 110 rok produkcji 1993. Badania przeprowadzono dla pojazdu marki Volkswagen Golf III zasilany jednopunktowym wtryskiem paliwa o pojemności 1600 cm^3 z 1995 roku. Wyniki badań zostały umieszczone w tabelach, a różnice w składzie spalin dla poszczególnych składników przedstawiono na rysunkach.

Badania przeprowadzono na silniku rozgrzanym ($t_s. 80^\circ\text{C}$) przy prędkości obrotowej 850 [obr/min], wyjątkiem był pomiar dla silniczka nastawczego gdzie prędkość wynosiła [1070 obr/min]

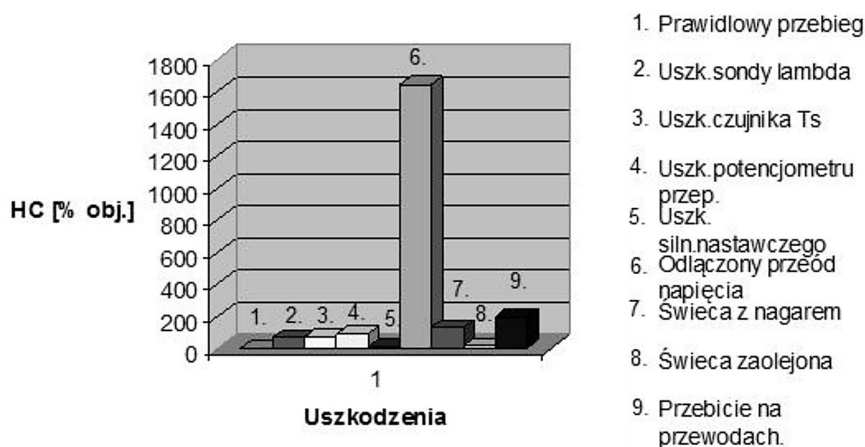
Dla potrzeb badań zasymulowano następujące rodzaje uszkodzeń, oraz wykonano analizę wyników silnika sprawnego oraz poszczególnych uszkodzeń pod względem analizy spalin:

- odłączona sonda λ ,
- odłączony czujnik temperatury,
- odłączony potencjometr przepustnicy,
- odłączony silnik nastawczy,
- odłączony przewód wysokiego napięcia pierwszego cylindra,
- uszkodzona świeca (pokryta nagarem),
- uszkodzona świeca (zaolejona),
- przebicie na przewodach wysokiego napięcia.

Zawartość CO w odniesieniu do poszczególnych uszkodzeń przedstawiono na rysunku 3. natomiast zawartość węglowodorów HC w odniesieniu do poszczególnych uszkodzeń przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Zawartość CO w odniesieniu do poszczególnych uszkodzeń



Rys. 4. Zawartość węglowodorów HC w odniesieniu do poszczególnych uszkodzeń

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić iż duży wpływ na czas wtrysku posiada kąt otwarcia przepustnicy i jeżeli ten kąt jest większy to czas wtrysku jest dłuższy. Symulując uszkodzenia poszczególnych czujników można stwierdzić, że największe wartości czasu wtrysku (tw [ms]) występują przy uszkodzeniu sondy lambda. Uszkodzenie nastawnika przepustnicy powoduje ograniczenie

czasu wtrysku (tw) co związane jest z adaptacją sterownika dla nominalnej prędkości biegu jałowego.

Odpowiedzią na uszkodzenie potencjometru przepustnicy, było zwiększenie obrotów biegu jałowego. Przekroczona została wartość CO, natomiast wartość węglowodorów HC wrosła pozostając jednak w granicach normy. Wartość λ spadła co wpłynęło na wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej.

Podczas badania składu spalin dla odłączonego przewodu wysokiego napięcia pierwszego cylindra gwałtownie wrosła wartość węglowodorów HC przekraczając dopuszczalne normy.

Wiedza na temat sposobów oceny właściwości ekonomicznych ze względu na zużycie paliwa oraz ekologicznych ze względu na emisję zanieczyszczeń w czasie eksploatacji pojazdów staje się dużo bogatsza w przypadku analizy uszkodzeń (symulacji) elektrycznych urządzeń pojazdów samochodowych.

LITERATURA

1. Auto poradnik. Kody usterek. Wydawnictwo Auto, Warszawa 1999.
2. Auto poradnik. Wtrysk benzyny. Wydawnictwo Auto, Warszawa 1999.
3. Bosch. Sterowanie silników o zapłonie iskrowym, WKŁ Warszawa 2002.
4. White C., Randal M., Kody usterek. WKŁ, Warszawa 2006.
5. Dziubiński M., Elektroniczne układy pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Gabriel Borowski, Lublin 2004.
6. Dziubiński M., Laboratorium elektrotechniki i elektroniki samochodowej. WPL, Lublin 2004.
7. Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S., Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych. WPL, Lublin 1999.
8. Kasedorf J., Układy wtryskowe benzyny. WKŁ, Warszawa 2000.
9. Kneba Z., Makowski S., Zasilanie i sterowanie silników. WKŁ, Warszawa 2004.
10. Wendeker M., Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 1999.

THE RESEARCH OF SIMULATION OF THE FUEL'S INJECTION SYSTEM BOSCH MOTRONIC

Abstract

The paper presents the results of simulations of selected electrical equipment in the cars. The study was conducted for the electronic fuel injection system Bosch Motronic. The study recorded the fuel injection timing and simulation of mechatronic elements damages. The experimental simulation studies enable analysis of various sensor signals and their impact on the ecological aspects of the combustion process. The study was conducted for the original fuel injection system controller Bosch MA 1.7 and the real object Mono-Motronic system components of the combustion process by registering with the exhaust gas analyzer.

Key words: fuel injection system, sensors, analysis of the combustion process.