

Фуад Ахмад Назар

УДК 621.434.004.6

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ
ПАРАМЕТРІВ В ЇХ СИСТЕМАХ

Спеціальність 05.05.03 – Теплові двигуни

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Колісні та гусеничні машини” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,

Пойда Анатолій Миколайович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри колісних та гусеничних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,

Кудряш Анатолій Петрович,
Інститут проблем машинобудування
Національної академії наук України, м. Харків,
старший науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент,

Білогуб Олександр Віталійович,
Відкрите акціонерне товариство “Автрамат”, м. Харків,
головний конструктор

Провідна установа: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра системотехніки і діагностики транспортних машин, Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Захист відбудеться “ 23 ” жовтня 2003 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, кафедра двигунів внутрішнього згоряння, ауд. 11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 18 ” вересня 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Парсаданов І. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні скорочується і незабаром припиняється виробництво автомобілів з карбюраторними двигунами, які не забезпечують норми токсичності відпрацьованих газів. Натомість на заводі “АвтоЗаЗ-Мотор” налагоджено виробництво двигунів з вприскуванням бензину з мікропроцесорними системами комплексного управління подачею пального і запалювання. Ці двигуни відповідають нормам токсичності “Євро-2”. Такі силові агрегати встановлюють на автомобілі “Ланос”, “Сенс” та “Славути”. Значна частина автомобілів з двигунами такої ж побудови імпортується в Україну, причому здебільшого не нових, а після 5 – 7 років експлуатації за кордоном. Внаслідок природних процесів старіння та зношування техніки в системах цих двигунів накопичуються дефекти, які не виявлені та не усунуті своєчасно. Тому багато автомобілів експлуатуються з пошкодженнями, не відрегульованими як слід системами подачі пального та запалювання, рівень токсичності відпрацьованих газів перевищує припустимі норми. Через те, що сучасні бензинові двигуни та їх системи складні, своєчасне виявлення та усунення дефектів без спеціальних діагностичних засобів майже неможливе. Ефективне діагностування може відбуватися за умов використання досконалих методів, достатньої кількості вимірювальної інформації та високого рівня автоматизації процесу діагностування з використанням інформаційних технологій. В засобах діагностування, що застосовуються в Україні, ще не в повній мірі використано інформативність параметрів робочих процесів, а кількість вимірюваних параметрів на двигуні недостатня для встановлення достовірного діагнозу про його технічний стан. Часто застосовують застарілі методи та механічні засоби вимірювання, які спричиняють розрив в інформаційному потоці і перешкоджають застосуванню сучасних технологій діагностування. Тому удосконалення методів і засобів автоматизованого діагностування є актуальною проблемою для українського двигунобудування, що і визначає значущість дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідних робіт кафедри колісних та гусеничних машин Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (НТУ “ХПІ”) щодо удосконалення методів контролю технічного стану енергетичних установок транспортних засобів. Дослідження вирішує задачу підвищення ефективності діагностування автомобільних двигунів з розподіленим вприскуванням бензину. Воно узгоджується з Державною програмою розвитку двигунобудування в Україні на 2000 – 2005 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка науково обґрунтованих методів та технічних засобів ефективного діагностування автомобільних двигунів з мікропроцесорними системами комплексного управління процесами вприскування бензину та запалювання паливоповітряної суміші.

Об'єкт дослідження – процеси в системах бензинового двигуна з мікропроцесорним управлінням, що залежать від його технічного стану.

Предмет дослідження – параметри процесів в системах, що складають інформаційну основу для автоматизованого діагностування бензинового двигуна.

Методи дослідження. При обґрунтуванні та виборі діагностичних параметрів на підставі аналізу факторів, що впливають на індикаторні показники бензинового двигуна, застосовано метод матеріального балансу. Межі відхилення діагностичних параметрів, вимоги до засобів діагностування та їх класи точності визначено на основі теорії похибок та методів математичної статистики. Методи термоанемометрії покладено в основу дії засобів вимірювання витрат повітря, палива, картерних та відпрацьованих газів. Фізичне моделювання процесів у системах запалювання та вприскування бензину використано при відпрацюванні запропонованих методів та засобів діагностування цих систем. Методи стендових випробувань застосовано при визначенні швидкісних та навантажувальних характеристик автомобільного двигуна.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

- аналіз методів та технічних засобів, що застосовуються в діагностиці, обґрунтування та вибір методів діагностування з застосуванням ЕОМ, що дозволить більш об'єктивно оцінювати технічний стан циліндропоршневої групи, елементів системи паливоподачі та запалювання;
- обґрунтування та вибір діагностичних параметрів, котрі доступні для вимірів та мають високу інформативність;
- розробка алгоритмів автоматизованого діагностування достатньо гнучких, маловитратних за часом та ефективних з достовірності діагнозу;
- розробка діагностичної системи, побудованої за модульним принципом;
- розробка рекомендацій по підвищенню достовірності та ефективності діагностування автомобільних бензинових двигунів з примусовим запалюванням.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено метод виявлення пропусків спалахів у циліндрах поршневих двигунів шляхом контролю параметрів відпрацьованих газів на виході з випускної труби.

2. Запропоновано нову схему процесу автоматизованого діагностування бензинового двигуна: від аналізу середніх по двигунові показників до аналізу діагностичних функцій, що характеризують індивідуальні особливості кожного окремого циліндра.

3. Удосконалено діагностичну модель бензинового двигуна, яка дозволяє вести пошук неполадок на підставі автоматизованого аналізу коефіцієнтів технічного стану окремих вузлів двигуна.

4. Удосконалено метод оцінки технічного стану поршневих кілець та клапанів на основі синхронного запису динамічних процесів – витрат картерних газів та тиску в циліндрі під час про-

крутки колінчатого валу стартером.

5. Отримано подальший розвиток методів оцінки працездатності кожного циліндра бензинового двигуна за пропускнуою спроможністю форсунки, коефіцієнтом надлишку повітря та межею спалаху паливоповітряної суміші.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено загальну структуру стаціонарного комплексу для діагностування бензинових двигунів, виготовлено експериментальний зразок комплексу на базі персональної ЕОМ.

2. Розроблено схеми діагностичних модулів, до складу яких увійшли датчики виміру параметрів, котрі характеризують технічний стан циліндропоршневої групи, системи запалювання та систем живлення повітрям і паливом.

3. Розроблено алгоритми автоматизованого діагностування бензинових двигунів, котрі базуються на аналізі безрозмірних діагностичних функцій.

4. Розроблено і виготовлено безмоторні установки для фізичного моделювання процесів у системах запалювання та вприскування бензину.

Результати наукового дослідження передані для впровадження на підприємства автосервісу м. Харків, а також використовуються у навчальному процесі Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” при підготовці студентів по спеціальності 092201.

Особистий внесок здобувача:

- висунуто наукове положення про інформативність відпрацьованих газів на виході з випускної труби, запропонована схема процесу діагностування та удосконалена діагностична модель бензинового двигуна з мікропроцесорним управлінням;

- удосконалено методи оцінки технічного стану форсунок, поршневих кілець та клапанів, працездатності циліндрів;

- оброблено результати заводських стендових випробувань двигуна МеМЗ – 307 заводу “АвтоЗаЗ – Мотор”, який встановлюється на автомобілі “Ланос”, “Сенс” та “Славути”; отримано залежності витрат картерних газів, коефіцієнта надлишку повітря, індикаторних та ефективних показників від частоти обертів по зовнішній швидкісній характеристиці;

- проведено числовий експеримент і визначено межі значень вибраних діагностичних параметрів;

- розроблено функціональні схеми модулів для виміру діагностичних параметрів у впускному та випускному трактах, в системах вентиляції картеру, паливоподачі та запалювання;

- проведено калібрування розроблених датчиків, отримано їх характеристики, визначено точність вимірів.

- проведено експериментальну перевірку на автомобілях запропонованих методів і технічних засобів, які увійшли до складу діагностичного комплексу;

- для процесів, які виникають в системах бензинового двигуна з появою дефектів, за допомогою діагностичного комплексу одержані експериментальні дані у формі осцилограм.

Апробація результатів дисертаційного дослідження.

Основні результати роботи доповідались на науково-технічній конференції Харківського державного автомобільно-дорожнього університету в 1998 р., на міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”: Харків – Мішкольц – Магдебург у 1999 р., на двох науково-технічних конференціях у Харківському державному технічному університеті сільського господарства в 2000 р. та в 2002 р., на 5-му міжнародному конгресі двигунобудівників (Харків – Рибаче) у 2000 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 5 статей у збірниках наукових праць.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, 1-го додатку. Повний обсяг дисертації становить 190 сторінок, з них 10 ілюстрації у тексті, 21 ілюстрація на 19 сторінках, 7 таблиць у тексті, 9 таблиць на 7 сторінках, 1 додаток на 2 сторінках, 112 використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність та необхідність дослідження, його мета та задачі, новизна та практичне значення одержаних результатів, наведена загальна характеристика роботи.

У першому розділі подається огляд автомобільних бензинових двигунів, особливості побудови, висвітлюється їх складність як об’єктів діагностування. Розглянуто методи і засоби технічної діагностики, визначено їх переваги та недоліки, рівень застосування інформаційних технологій та автоматизації, обґрунтовано можливості поліпшення методів діагностування.

У другому розділі на підставі аналізу основних рівнянь теорії двигунів внутрішнього згоряння обґрунтовано доцільність вибору діагностичними параметрами тих, які суттєво впливають на індикаторні показники бензинового двигуна. При цьому прийнято до уваги такі фактори: інформативність параметру, доступність для вимірів, наявність методів і засобів вимірювання.

Складено структурну схему бензинового двигуна з мікропроцесорним управлінням, на основі якої проаналізовано вплив складових частин системи управління на технічний стан двигуна. Показано, що кількість виділеної в циліндрі теплоти, тривалість та повнота згоряння паливоповітряної суміші залежать від кількості та складу горючої суміші, фази запалювання, енергії та тривалості іскрового розряду. Кількість горючої суміші залежить від опору повітряного фільтру, герметичності системи впуску та системи ущільнення циліндропоршневої групи, фаз газорозподілу. Склад горючої суміші насамперед залежить від пропускної спроможності паливних фільтрів, продуктивності насосу та форсунок, роботи стабілізатора та тривалості вприскування, яка в свою чергу залежить від технічного стану контролера та датчиків, що забезпечують його вимірювальною ін-

формацією. Від цих же датчиків залежить і фаза запалювання. Енергія і тривалість іскрового розряду залежать від технічного стану котушки, свічок та високовольтних провідників.

Обґрунтовано положення про те, що відпрацьовані гази на виході з випускної труби ще мають достатній запас енергії і несуть в собі інформацію про те, як завершився робочий процес у об'ємі циліндра. Отже, цей факт можна використати для визначення пропусків спалахування суміші в циліндрі двигуна. Найбільша інформативність припадає на динамічний тиск газового потоку $P_0 = \rho v^2 / 2$, де ρ - щільність, v - швидкість газу. Поряд з цим доцільно скористатися і таким параметром, як оптична щільність (ступінь димності) відпрацьованих газів на виході з випускної труби.

Виходячи з цього, складено перелік діагностичних параметрів, які підлягають вимірюванню: витрата повітря G_e , витрата палива G_m , витрата картерних газів $G_{кз}$, тиск палива P_m у рампі, тиск у впускному колекторі P_{en} , кут випередження запалювання $\varphi_{оз}$, тривалість вприскування τ_{en} , сила струму в іскровому розряді i_p , напруга в первинному U_1 та вторинному U_2 ланцюгах запалювання, динамічний тиск $P_{оз}$, витрати $G_{оз}$ та оптична щільність відпрацьованих газів на виході з випускної труби.

Враховуючи те, що в сучасних системах управління добре відпрацьовано тестове діагностування складових частин систем і значна частина діагностичної інформації може бути запозичена з бортового контролера через діагностичний роз'єм, вибрано комбінований метод функціонального та тестового діагностування.

Маючи на увазі те, що вимірювальної інформації замало для того, щоб поставити достовірний діагноз, запропоновано схему організації діагностичного процесу, яка передбачає попередню оцінку загального технічного стану двигуна на підставі аналізу невеликої кількості діагностичних параметрів з наступним детальним аналізом показників, які характеризують індивідуальні властивості кожного окремого циліндра як перетворювача хімічної енергії палива в механічну роботу. Реалізація такої схеми процесу діагностування стала можливою тому, що удосконалено діагностичну модель, яку доповнено безрозмірними діагностичними функціями, котрі відбивають вплив технічного стану елементів систем на працездатність окремих циліндрів.

В аналітичній формі діагностична модель має такий вигляд.

Для оцінки загального технічного стану двигуна:

$$\begin{array}{lll}
 \alpha_{cp} = f(G_{\phi}, G_m) & \text{в межах} & \alpha_{cp}^h \leq \alpha_{cp} \leq \alpha_{cp}^6 \\
 G_m = f(n, \mu f_{\phi}, P_m, \tau_{\phi n}) & \text{в межах} & G_m^* \leq G_m \leq G_m^6 \\
 \tau_{\phi n} = f(e_n, e_{G_{\phi}}, e_{t_{жк}}, e_{\lambda}) & \text{в межах} & \tau_{\phi n}^h \leq \tau_{\phi n} \leq \tau_{\phi n}^6 \\
 \varphi_{оз} = f(e_n, e_{G_{\phi}}, e_{t_{жк}}, e_{\delta\delta}) & \text{в межах} & \varphi_{оз}^h \leq \varphi_{оз} \leq \varphi_{оз}^6 \\
 Q_{nc} = f(\eta_H) & \text{в межах} & Q_{nc}^h \leq Q_{nc} \leq Q_{nc}^* \\
 P_m = f(Q_{nc}, \Gamma_{кл}) & \text{в межах} & P_m^h \leq P_m \leq P_m^6 \\
 U_2 = f(U_1, R_{\kappa}, R_{c\phi}) & \text{в межах} & U_2^h \leq U_2 \leq U_2^6
 \end{array} \quad (1)$$

Для детального аналізу індивідуальних властивостей кожного циліндра:

$$\begin{array}{lll}
 K_{\phi} = \frac{\delta P_n}{\delta P_{n_0}}; & & \\
 \alpha_y = \frac{\alpha_{cp}}{K_{\phi}} & \text{в межах} & \alpha_y^h \leq \alpha_y \leq \alpha_y^6 \\
 K_c = \frac{P_c}{P_c^*}; & K_n = \frac{n - n_x}{n}; & \\
 K_{f_{\phi}} = \frac{\eta_i \cdot \alpha_y^*}{\eta_i^* \cdot \alpha_y}; & K_{pi} = K_c \cdot K_{f_{\phi}}; & K_{cp} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z K_i; \\
 \psi_n = \frac{K_n}{K_{ncp}}; & \psi_{pi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi_{cp}}}; & \psi_{\phi} = \frac{\delta P_n}{\delta P_{ncp}}; \\
 \psi_c = \frac{P_c}{P_{ссп}}; & \psi_{A_{кз}} = \frac{A_{кзcp}}{A_{кз}}; & \\
 \psi_{U_1} = \frac{U_1}{U_{1cp}}; & \psi_{U_2} = \frac{U_2}{U_{2cp}}; & \psi_{up} = \frac{\tau_{up}}{\tau_{upcp}},
 \end{array} \quad (2)$$

де $\alpha_{cp}, \alpha_{cp}^h, \alpha_{cp}^6$ – середній по двигуну коефіцієнт надлишку повітря та його нижня і верхня

межа;

G_{ϕ} – витрата повітря;

G_m, G_m^*, G_m^e – витрата палива, її значення на початку експлуатації та верхня межа зміни;

$\mu f \phi$ – поперечний переріз розпилюючих отворів форсунки;

$\tau_{en}, \tau_{en}^h, \tau_{en}^e$ – тривалість впрыскування, її нижня та верхня межа;

$e_n, e_{G_6}, e_{t_{жк}}, e_\lambda$ – параметри сигналів датчиків частоти обертів, витрат повітря, температури охолоджуючої рідини, λ - зонду;

$\varphi_{oz}, \varphi_{oz}^h, \varphi_{oz}^e$ – кут випередження запалювання, його нижня та верхня межі;

e_{od} – параметри сигналу датчика детонації;

$Q_{nc}, Q_{nc}^*, Q_{nc}^h$ – продуктивність паливного насоса, її значення на початку експлуатації та нижня межа;

η_n – об'ємний ККД насоса;

P_m, P_m^h, P_m^e – тиск палива в системі, його нижня та верхня межі;

$\Gamma_{кл}$ – герметичність клапана стабілізатора тиску;

U_2, U_2^h, U_2^e – напруга у вторинному ланцюзі системи запалювання, її нижня та верхня межі;

K_ϕ – коефіцієнт продуктивності форсунки;

$\delta P_n, \delta P_{no}$ – перепад тиску при проливці відповідно форсунки, яка діагностується, та зразкової форсунки;

$\alpha_u, \alpha_u^h, \alpha_u^e$ – коефіцієнт надлишку повітря по окремому циліндру, його нижня та верхня межі;

K_c – коефіцієнт зниження компресії;

P_c^*, P_c – початкове значення компресії та її поточне значення на момент діагностування;

K_n – коефіцієнт розподілу потужності по циліндрах;

n, n_x – частота обертів при всіх працюючих циліндрах та при одному виключеному;

K_{fi} – коефіцієнт працездатності циліндра, який оцінюється за ознаками індикаторного ККД η_i та коефіцієнту надлишку повітря α ;

η_i^*, η_i – початкове та поточне значення індикаторного ККД;

α_u^*, α_u – початкове та поточне значення коефіцієнта надлишку повітря;

K_{pi} – коефіцієнт завантаження циліндра;

K_{cp} – середнє значення будь-якого коефіцієнта із множини Z ;

Z – число циліндрів двигуна;

$\Psi_{pi}, \Psi_n, \Psi_\phi, \Psi_c, \Psi_{Акз}, \Psi_{U1}, \Psi_{U2}, \Psi_{up}$ – діагностичні функції, які визначаються як відношення поточного значення параметра, притаманного даному циліндру, до середнього значення таких же

параметрів із сукупності значень для всіх циліндрів: за середнім індикаторним тиском, за частотою обертів, за продуктивністю форсунок, за компресією, за амплітудою витрат картерних газів, за напругами у первинному та вторинному ланцюгах системи запалювання, за тривалістю іскрового розряду.

При порівнянні цих функцій робиться висновок про технічний стан того чи іншого вузла. Виконання умови $\psi_c < \psi_{Акк}$ вказує на дефекти в клапанах, а $\psi_n < \psi_{pi}$ – на неполадки в системі запалювання даного циліндра.

Запропоновані схема та модель покладені в основу алгоритмів діагностування.

У третьому розділі обґрунтовано і викладено вимоги до технічних засобів діагностування. Серед цих вимог найважливішими є: невелика кількість засобів вимірювання та мінімальний їх вплив на процеси, що відбуваються в системах бензинового двигуна; забезпечення достатньої кількості інформації, оптимальної точності та достовірності інформації при мінімальній трудоемкості основних та допоміжних операцій при діагностуванні; застосування електричних методів вимірювання фізичних величин та обчислювальної техніки.

Дві останні вимоги обумовлені сучасним рівнем технічних засобів діагностування, в яких широко застосовується обчислювальна техніка. В таких системах для вимірів кожної фізичної величини, яка є діагностичним параметром, виділяється окремий канал, який являє собою послідовне сполучення датчика, підсилювача сигналу та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Сумарне значення похибки в такому вимірювальному каналі визначається формулою

$$\gamma = \pm [c + d(\frac{X_n}{X} - 1)], \quad (3)$$

де $c = \gamma_{ад} + \gamma_m$; $d = \gamma_{ад}$;

$\gamma_{ад}, \gamma_m$ – адитивна та мультиплікативна складові похибок;

X, X_n – поточне та нормоване значення вимірюваної величини.

Клас точності вимірювального пристрою характеризується числами c/d .

Визначено класи точності вимірювальних каналів для всього переліку діагностичних параметрів. Для більшості каналів клас точності 2/1. Тому для більшості діагностичних параметрів сумарна похибка вимірювання за формулою (3) становить

$$\gamma_c = \pm [2 + 1(\frac{X_n}{X} - 1)].$$

Показано, що швидкодія АЦП впливає на точність вимірювання швидкоплинних процесів. Доведено, що при діагностуванні бензинових двигунів час перетворення аналогової величини в цифровий код в АЦП не повинен перевищувати 1,5 мкс. Для зменшення динамічної похибки у

складі АЦП має бути пристрій виборки – збереження, а для забезпечення безперервності вимірів вбудовано буфер типу FIFO.

Обґрунтовано і вибрано методи вимірювання діагностичних параметрів. Витрати повітря, палива та картерних газів запропоновано вимірювати методами термоанемометрії; тиск – методом напівпровідникової тензометрії; температуру – напівпровідниковим термодіодом; димність відпрацьованих газів (оптичну щільність) – методом оптоелектроніки.

Ланкою зв'язку між об'єктом діагностування та ЕОМ є пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО). Застосовано модульний принцип побудови ПЗО. Для цього усі діагностичні параметри розподілено на п'ять груп за ознакою причетності до вимірів параметрів однієї з систем. Пристрій, до складу якого входять датчики певної групи, названо діагностичним модулем, або модулем контролю параметрів. Це дозволило скоротити кількість одиниць вимірів, які підключаються до об'єкту діагностування, бо 14 датчиків розміщені у п'яти модулях.

Розроблено схеми діагностичних модулів. Модуль контролю параметрів системи запалювання (М1) містить Д1.1 – датчик іскри, Д1.2 – датчик напруги у вторинному ланцюзі системи запалювання, Д1.3 – датчик напруги у первинному ланцюзі, Д1.4 – стробоскоп. На структурній схемі діагностичного комплексу (рис. 1) кожен модуль виділено окремою групою з відповідною цифрою на другому знакомісці в позначеннях датчиків.

Модуль контролю параметрів у системі вприскування бензину (М2) має канал Д2.1 для виміру тривалості вприскування τ_{en} , датчик Д2.2 виміру тиску палива P_m , датчик Д2.3 виміру витрат палива G_m та Д2.4 компенсації температури палива t_f .

Модуль контролю параметрів у системі впуску (М3) має лише два датчики Д3.1 – тиск у впускному колекторі P_{en} та витрат повітря Д3.2 – G_e .

Модуль контролю параметрів пульсуючого потоку на виході із випускної труби (М4) має у складі три датчики: Д4.1 – датчик динамічного тиску P_{oz} , Д4.2 – датчик швидкості потоку або витрат відпрацьованих газів G_{oz} та датчик Д4.3 – димності або оптичної щільності газового потоку.

Модуль контролю циліндропоршневої групи (М5) має у складі два датчики: Д5.1 – датчик тиску у циліндрі P_c та Д5.2 – датчик витрат картерних газів $G_{кз}$.

Особливістю розроблених модулів є те, що вони не тільки перетворюють фізичні величини в електричні сигнали, а й здійснюють управляючу дію на деякі виконавчі пристрої: на котушку запалювання, блокуючи іскру; на форсунку – при перевірці її продуктивності методом проливки; на стробоскоп – при визначенні кута випередження запалювання.

Усі розроблені модулі виготовлено, їх датчики відкалібровано, отримано градуировочні характеристики.

На основі синтезованих модулів розроблено структурну схему діагностичного комплексу з використанням персональної ЕОМ та АЦП як основної ланки у ланцюзі між модулями та ЕОМ.

Крім п'яти згаданих модулів та АЦП, до складу діагностичного комплексу (рис. 1) увійшли цифровий осцилограф, схема управління модулями та інтерфейс послідовного обміну з бортовим контролером управління двигуном.

До складу АЦП входять: мультиплексор MUX на 32 вхідних канали, власне АЦП 12 біт, запам'ятовуючий пристрій $2K \times 16$ типу FIFO, програмований підсилювач, пристрій вибирання – збереження та схема управління АЦП. 15 каналів мультиплексора з'єднані з датчиками модулів М1 – М5, декілька вільних каналів MUX разом з підсилювачем складають канали цифрового осцилографа, за допомогою якого на екрані можна спостерігати форми сигналів датчиків чи виконавчих пристроїв в системі управління бензинового двигуна.

Інтерфейс послідовного обміну забезпечує зв'язок з бортовим контролером і дає змогу одержати від нього інформацію про результати тестів у системі управління: технічний стан датчиків і виконавчих пристроїв.

База даних містить інформацію про технічні характеристики двигунів, схеми систем управління та технічні характеристики їх складових частин (датчиків та виконавчих пристроїв), константи та межі змін діагностичних параметрів.

Четвертий розділ присвячено розробці алгоритмів автоматизованого діагностування бензинових двигунів з мікропроцесорним управлінням. Наведено загальну схему побудови алгоритму, яка передбачає послідовність виконання діагностичних операцій: вибір програмного модуля; введення вхідних даних та констант; вимір діагностичних параметрів; обчислення діагностичних функцій; порівняння результатів, виведення на екран графіків, діаграм, числових даних.

Алгоритм працює в діалоговому режимі, який визначається вибором кнопок $K_{бм}$ та K_p , котрі означають відповідно: вибір тестових процедур з базового меню та вибір наступного режиму роботи. В загальній структурі алгоритму (рис. 2) кнопки базового меню мають наступне призначення:

- | | | |
|------------|---|--|
| $K_{бм} =$ | { | <ul style="list-style-type: none"> 1 – меню обміну інформацією з контролером системи управління двигуном; 2 – тест контролю пуску двигуна; 3 – контроль системи запалювання та параметрів у випускній трубі; 4 – контроль системи вприскування бензину; 5 – контроль циліндропоршневої групи; 6 – контроль системи впуску та фаз газорозподілення; 7 – алгоритми мультиметра; 8 – алгоритми цифрового осцилографа. |
|------------|---|--|

Кнопка K_p вибору наступного режиму означає:

$K_p=0$ – діагностування продовжується;

$K_p=1$ – діагностування завершено.

Літерами $P_1 - P_9$ позначено рисунки заставок кнопки процедур:

P_1 – базове меню з кнопками $K_{бм}$;

P_2 – обмін з контролером і так далі за переліком, наведеним вище.

A_0 – алгоритм встановлення початкових умов;

АОК – алгоритм обміну інформацією з контролером двигуна;

АКП – алгоритм контролю пуску двигуна;

АСПБ – алгоритм контролю системи подачі бензину;

АСЗ – алгоритм контролю системи запалювання та системи випуску;

АКЦПГ – алгоритм контролю циліндропоршневої групи;

АСВФ – алгоритм контролю системи впуску та фаз газорозподілу;

АМ – алгоритм мультиметра;

АО – алгоритм осцилографа.

Наведено детальний виклад кожного алгоритму у формі таблиць чи схем. Зазначено, що деякі процедури варто об'єднати в одному алгоритмі. Наприклад, процедуру контролю системи запалювання та розподіл потужності по циліндрах, а також визначення компресії та перевірка технічного стану форсунок.

На основі розроблених алгоритмів, котрі являються основою функціонування системи, розроблено програмне забезпечення.

У п'ятому розділі наведено результати перевірки розроблених методів та технічних засобів діагностування на безмоторних установках та на автомобільних бензинових двигунах. Метою експериментального дослідження було: накопичення експериментальних даних для перевірки діагностичної моделі; підтвердження правомірності вибору діагностичних параметрів та методів діагностування; експлуатаційна перевірка технічних засобів.

Експериментальне дослідження проводилось у три етапи. На першому етапі дослідження проводили на двигуні виробництва ГРП "АвтоЗаЗ - Мотор" типу МеМЗ 307 в умовах стендових випробувань з застосуванням штатного стендового обладнання та залученням деяких розроблених модулів: М1, М2 та датчика витрат картерних газів. Об'єкт випробувань: двигун об'ємом 1,3 л, потужністю 50 кВт при частоті обертів 5500 хв^{-1} , діаметр циліндра – $75 \times 10^{-3} \text{ м}$, хід поршня – $73,5 \times 10^{-3} \text{ м}$, ступінь стиснення – $9,0 \div 9,2$. Двигун обладнано системою вприскування бензину та системою запалювання з двома котушками без розподілювача з мікропроцесорною системою комплексного управління "Мікас – 7.6" російського виробництва. Результатами цих випробувань стали зовнішня швидкісна характеристика двигуна та навантажувальні характеристики, в яких визначено середній ефективний та індикаторний тиск, механічні втрати, ефективний, індикаторний та меха-

нічний ККД, коефіцієнт надлишку повітря, витрати палива та картерних газів.

Підтверджено правомірність застосування витрат картерних газів як діагностичного параметру, оскільки на режимах малих навантажень і малій частоті обертів цей показник сягає значень, які притаманні максимальним навантаженням. Отримано експериментальні дані і перевірено дійовість діагностичної моделі, а також підтверджена працездатність розроблених діагностичних модулів.

На другому етапі досліди проведено на безмоторних установках, які були розроблені і виготовлені для цих дослідів. Перша установка являє собою безконтактну систему запалювання з електричним приводом постійного струму. На ній відпрацьовувався модуль М1 контролю параметрів системи запалювання.

Друга безмоторна установка – це система вприскування бензину на базі LE-Jetronic, в котрій датчики замінені імітаторами у вигляді резисторів змінного опору, а замість сигналів частоти обертів подається сигнал генератора змінюваної частоти. На цій установці відпрацьовувався метод діагностування форсунок шляхом проливки, а також алгоритми діагностування паливного насосу, стабілізатора тиску, перевірялась робота модуля контролю системи вприскування бензину.

Третій етап досліджень передбачав випробування дослідного зразка діагностичного комплексу безпосередньо на автомобілі. Метою випробувань була перевірка працездатності комплексу в умовах експлуатації.

Перевірку здійснювали на автомобілях Nissan Sunny з двигуном об'ємом 1600 см³, центральним вприскуванням бензину, системою комплексного управління Nissan ECCS та Ford Sierra з двигуном ДОНС об'ємом 2000 см³, розподіленим вприскуванням бензину і системою комплексного управління ЕЕС–IV. Обидва двигуни обладнані каталітичними нейтралізаторами відпрацьованих газів та датчиками концентрації кисню. Вимірювання діагностичних параметрів здійснювали за допомогою розроблених модулів за схемою, запропонованою в роботі: спочатку вимір та аналіз параметрів, що характеризують загальний стан двигуна, а потім параметри, які характеризують роботу кожного окремого циліндра.

На автомобілі Nissan Sunny результати вимірів наступні. В пам'яті бортового контролера виявлено код помилки, який посилається на неполадки датчика концентрації кисню. Модуль контролю параметрів відпрацьованих газів на виході з випускної труби зафіксував підвищену на 30% щільність відпрацьованих газів та велику нерівномірність динамічного тиску газового потоку (рис. 3).

Крім діаграми динамічного тиску на рис. 3 зображено сигнали ідентифікації номера циліндра, процеси в котушці запалювання та в електромагнітній форсунці. Аналіз цих діаграм показав, що тривалість вприскування бензину становить 3 ms замість 2 ms, процеси в котушці запалювання проходять нормально, кут випередження запалювання становить 10⁰ (в межах норми). Низький

рівень динамічного тиску на виході з випускної труби для 4-го циліндра свідчить про відсутність згоряння в ньому.

Вимірювання компресії за допомогою відповідного модуля (рис. 4) дало наступні результати: циліндр 1 – 1,4 МПа, циліндр 2 – 1,45 МПа, циліндр 3 – 1,47 МПа, циліндр 4 – $0,85 \div 0,9$ МПа.

Таким чином в двигуні автомобіля Nissan Sunny порушення герметичності 4-го циліндра та вихід з ладу датчика концентрації кисню (λ – зонда).

На автомобілі Ford Sierra результати вимірів показали, що коди помилок в бортовому контролері відсутні, двигун споживає палива та повітря на 20% більше, ніж новий, при цьому $\alpha=1$. Витрата картерних газів також збільшилась у 2,5 рази, датчики параметрів газового потоку на виході з випускної труби пропусків спалахування не зафіксували. Та найбільш важливі результати (див. табл. 1 та рис. 5) були одержані при аналізі роботи кожного окремого циліндра.

Таблиця 1–

Значення параметрів для окремих циліндрів

№ п/п	Найменування параметру	Поз- на-чення	Значення параметру по циліндрах				
			середнє	1	2	3	4
1	Максимальний тиск в циліндрі, МПа	P_c	1,157	1,1	1,2	1,15	1,18
2	Витрата картерних газів, кг/год.	$A_{кз}$	4,04	4,00	3,90	4,16	4,10
3	Перепад тиску при проливці форсунок, кПа	δP_n	62,25	65	58	62	64
4	Частота обертів колінчатого валу, хв ⁻¹	n_x	1600	1200	1240	1190	1170

Результати діагностування (рис. 5) свідчать: для першого циліндра $\psi_c < \psi_{Акз}$ – неполадки в клапанах; для другого циліндра $K_\phi = 0,93$, а для першого $K_\phi = 1,04$ – порушення характеристик форсунок; $\psi_n \approx \psi_{pi}$ – відсутність неполадок в системі запалювання.

Результати перевірки дозволяють зробити висновок про правомірність застосування запропонованих методів та працездатність технічних засобів діагностування.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу науково-технічної літератури обґрунтована необхідність удосконалення методів та засобів технічного діагностування автомобільних двигунів з вприскуванням бензину та мікропроцесорним управлінням. Обґрунтована доцільність вибору величин, які впливають на індикаторні показники двигуна, як діагностичних параметрів. Складено перелік вимірюваних параметрів, до числа яких, окрім традиційно вимірюваних компресії та напруги на свічках запалювання, увійшли витрати повітря, палива та картерних газів, а також тиск у впускному та палив-

ному колекторах, параметри пульсуючого потоку газу на виході з випускної труби. Обґрунтовано та вибрано електричні методи виміру діагностичних параметрів.

2. Вибір електричних методів виміру дозволив ліквідувати розрив інформаційного потоку, який мав місце при застосуванні механічних засобів виміру, автоматизувати процес діагностування та використати інформаційні технології на всіх етапах виконання діагностичних процедур: прийом інформації з бортового контролера автомобіля; отримання даних та їх обробка від датчиків діагностичного комплексу; вибір потрібної інформації з бази даних; обробка даних та подача результатів у вигляді числових величин, діаграм та графіків.

3. Запропоновано схему організації процесу автоматизованого діагностування: від аналізу діагностичних параметрів, які характеризують загальний технічний стан двигуна, до аналізу вимірювальної інформації, яка відбиває сутність процесів кожного окремого циліндру як системи, що перетворює хімічну енергію палива в механічну роботу. Реалізація в повній мірі такої схеми стала можливою тому, що в роботі:

- застосовано прогресивні методи вимірів витрат повітря, палива та картерних газів, а також параметри пульсуючого потоку відпрацьованих газів на виході з випускної труби; по них оцінюється загальний технічний стан двигуна;

- удосконалено метод оцінки герметичності робочої камери на підставі синхронного запису діаграм зміни тиску в циліндрі та втрат робочого тіла через систему ущільнення в картер; це дозволяє диференційовано підходити до оцінок ущільнюючої дії поршневих кілець та клапанів;

- удосконалено метод діагностування електромагнітних клапанних форсунок шляхом статичної проливки їх безпосередньо на двигуні; за рахунок застосування чутливого датчика тиску вдалося не тільки підвищити в 2 – 3 рази точність визначення пропускної спроможності форсунок, але й скоротити час проливки та знизити ризик отруєння бензином λ -зонду та каталітичного нейтралізатора;

- отримано подальший розвиток методів оцінки працездатності кожного циліндра за коефіцієнтом надлишку повітря, індикаторним ККД та пропускною спроможністю форсунки, що в комбінації з методом виключення циліндрів дає змогу точніше визначати дефекти.

На підставі всього цього удосконалена модель та розроблені алгоритми автоматизованого діагностування бензинового двигуна, особливістю котрих є те, що при визначенні діагнозу кожного циліндра як системи перетворення енергії використовується від 9 до 15 безрозмірних діагностичних функцій. Це підвищує достовірність і збільшує глибину діагностування.

4. Сформульовано вимоги до засобів автоматизованого діагностування двигунів, обґрунтовані та вибрані методи вимірів діагностичних параметрів, проведена оцінка точності вимірів. Для більшості параметрів клас точності вимірювального каналу становить 2/1. На підставі одержаних результатів розроблені схеми засобів вимірювання та складена структурна схема стаціонарної ді-

агностичної системи на базі персональної ЕОМ. При цьому застосовано принцип модульної побудови пристрою зв'язку з об'єктом, що дозволило 14 вимірювальних перетворювачів розмістити в 5-ти діагностичних модулях, скоротити кількість одиниць вимірів, що з'єднуються з об'єктом. Це в 2 – 3 рази скорочує витрати часу на допоміжні операції при діагностуванні. Діагностичні модулі виготовлено, відкалібровано, для них отримані градуїровочні характеристики. Проведено експериментальну перевірку модулів на безмоторних установках та на двигуні.

5. Розроблено та виготовлено безмоторні установки з системою вприскування бензину та системою запалювання, на яких шляхом фізичного моделювання відтворювались процеси в цих системах; перевірялись та відпрацьовувались розроблені методи та діагностичні засоби.

6. На підставі одержаних результатів виготовлено експериментальний зразок діагностичної системи, працездатність котрої перевіряли на безмоторних установках та на автомобільних двигунах. Випробування підтвердили правомірність обраних та удосконалених методів і ефективність розроблених засобів діагностування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пойда А. Н., Ярмак Н. С., Деговцова Т. Г., Аверьянова Н. В., Назар Ф. А. Выбор информативных параметров для высокоэффективной диагностики транспортных силовых установок // Механіка та машинобудування.-Харків: 1998.- № 1.- С. 99 – 104.

В статті здобувачем виконано аналіз впливу неполадок на показники бензинового двигуна, обґрунтовано перелік вимірюваних параметрів, серед яких масові витрати повітря, палива, картерних газів та газодинамічні характеристики відпрацьованих газів.

2. Пойда А. Н., Аверьянова Н. В., Ярмак Н. С., Деговцова Т. Г., Назар Ф. А. Диагностирование автотракторных двигателей методом выключения цилиндров // Вісник ХДТУСГ.-Харків: 2000.- Вип. 1.- С. 54 – 61.

В статті здобувач доповнив метод відключення циліндрів аналізом відносних змін витрат картерних газів, коефіцієнта надлишку повітря, середнього індикаторного тиску.

3. Пойда А. Н., Ярмак Н. С., Аверьянова Н. В., Назар Ф. А., Деговцова Т. Г. Современные технологии в исследовании и диагностировании поршневых двигателей // Авиационно-космическая техника и технология.- Харьков: ХАИ.- 2000.- Вып. 19.- С. 420 – 424.

В статті здобувачем запропоновано використовувати в технології діагностування поршневих двигунів такі критерії як коефіцієнти технічного стану окремих груп і вузлів, виводячи на екран значення цих показників у вигляді діаграм з помітками допускових зон.

4. Пойда А. Н., Задорожная Н. В., Назар Ф. А. Диагностическая модель двигателя с распределённым впрыскиванием бензина // Тракторная энергетика в растениеводстве. - Сб. научн. тр. -Харьков: ХГТУСХ.- 2002.- Вып. 5. - С. 122 – 128.

В статті здобувачем запропоновано при формуванні діагностичної моделі ввести до її складу окремі модулі для ідентифікації діагностичних параметрів: тиск в циліндрі, енергію іскрового розряду, витрату картерних газів, частоту обертів, що полегшить пошук неполадок у двигуні.

5. Пойда А. Н., Назар Ф. А., Аверьянова Н. В., Деговцова Т. Г. Диагностика и обслуживание транспортных средств с применением программно-технических комплексов // Сб. научн. тр. ХГПУ “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”.- Харьков: ХГПУ.- 1999.- Вып. 7 в 4-х частях. Ч. 2.- С. 331 – 335.

В статті здобувачем наведено результати аналізу методів і технічних засобів, які застосовуються при діагностиці бензинових двигунів, та результати експериментальної перевірки ідентифікації дефектів в цих двигунах за газодінамічними та оптичними характеристиками відпрацьованих газів. Здобувач прийняв участь у складанні структурної схеми діагностичного апаратно-програмного комплексу.

АНОТАЦІЇ

Фуад Ахмад Назар. Обґрунтування та реалізація методів автоматизованого діагностування бензинових двигунів на основі аналізу параметрів в їх системах. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – теплові двигуни. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2003.

Дисертацію присвячено обґрунтуванню та розробці методів і технічних засобів діагностування автомобільних двигунів з вприскуванням бензину та мікропроцесорним управлінням. Запропоновано нетрадиційну схему та модель діагностування з виміром витрат повітря, палива та картерних газів, удосконалено методи діагностування форсунок, визначення працездатності циліндрів і на цій основі розроблено алгоритми автоматизованого діагностування та створено діагностичний комплекс з персональною ЕОМ в контурі. В комплексі застосовано модульний принцип побудови пристрою зв'язку з об'єктом, що дало змогу скоротити до 5 кількість приєднаних до об'єкту вимірювальних пристроїв. Виготовлено дослідний зразок діагностичного комплексу, працездатність якого перевірено на безмоторних установках та на автомобільному двигуні. Випробування підтвердили правомірність вибраних та удосконалених методів і ефективність розроблених діагностичних засобів.

Ключові слова: бензиновий двигун, технічний стан, діагностичний комплекс, автоматизація.

Фуад Ахмад Назар. Обоснование и реализация методов автоматизированного диагностирования бензиновых двигателей на основе анализа параметров в их системах. Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – тепловые двигатели. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена обоснованию и разработке методов и технических средств диагностирования автомобильных двигателей с впрыскиванием бензина и микропроцессорным управлением. На основании обзора научно-технической литературы обоснована необходимость совершенствования методов и средств технического диагностирования двигателей этого класса. Показана целесообразность выбора в качестве диагностических параметров величин, влияющих на индикаторные показатели двигателя. Предложен перечень измеряемых параметров, в число которых, кроме традиционно измеряемых компрессии и напряжения на свечах зажигания, включены расходы воздуха, топлива, картерных газов, а также давление во впускном и топливном коллекторах, параметры пульсирующего потока на выходе из выпускной трубы.

Для измерения диагностических параметров выбраны электрические методы измерения, что позволило устранить разрывы в информационных потоках, автоматизировать процесс диагностирования и применить информационные технологии на всех этапах этого процесса.

Предложена схема организации процесса автоматизированного диагностирования: от анализа параметров, характеризующих общее техническое состояние двигателя, к анализу информации, отражающей индивидуальные свойства каждого цилиндра. Усовершенствован метод оценки герметичности рабочих полостей цилиндров, основанный на синхронной записи изменяющихся давлений в цилиндре и расхода картерных газов, что позволило отдельно оценивать уплотняющее действие поршневых колец и клапанов. За счёт применения чувствительного датчика давления топлива усовершенствован метод диагностирования электромагнитных форсунок путём проливки их непосредственно на двигателе. Получил развитие метод оценки работоспособности каждого цилиндра по коэффициенту избытка воздуха и индикаторному КПД, что в комбинации с методом выключения цилиндров позволяет более точно определить неисправность. На основе этого усовершенствована модель и разработаны алгоритмы автоматизированного диагностирования бензинового двигателя, в которых используются безразмерные диагностические функции для оценки технического состояния каждого цилиндра и элементов, обслуживающих его.

Выбраны методы измерения диагностических параметров, сформулированы требования к средствам измерения, произведена оценка точности и разработаны схемы датчиков, структурная схема стационарной диагностической системы на основе персональной ЭВМ. При этом использован принцип модульного построения устройства связи с объектом, что позволило 14 измерительных преобразователей разместить в 5-ти диагностических модулях и сократить число подключаемых к объекту единиц и в 2 – 3 раза уменьшить затраты времени на выполнение вспомогательных операций.

Изготовлены и откалиброваны диагностические модули. Их работоспособность проверена на безмоторных установках и при стендовых испытаниях автомобильного двигателя с впрыскиванием бензина. С использованием разработанных методов и технических средств изготовлен экспериментальный образец диагностического комплекса, работоспособность которого проверена на безмоторных установках и на автомобильном двигателе. Испытания подтвердили правомерность выбранных и усовершенствованных методов и эффективность разработанных диагностических средств.

Ключевые слова: бензиновый двигатель, техническое состояние, диагностический комплекс, автоматизация.

Foad Ahmad Nazar. A substantiation and realization of automated diagnosing methods for petrol engines by analysis of parameters in their systems. The manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. on speciality 05.05.03 - thermal engines. - National Technical University “ Kharkov Polytechnical Institute ”, Kharkov, 2003.

The dissertation is devoted to a substantiation and development of diagnosing' methods and means of automobile engines with a gasoline injection and microprocessor management. It is offered the non-conventional layout and model of diagnosing with measurement of air expenses, fuel and crankcase gases, and methods of atomizers diagnosing are advanced, definitions of work capacity of cylinders and on this basis are developed algorithms of the automated diagnosing and created the diagnostic unit including the personal computer. In the complex is applied the modular principle of device construction and connection with the object that has enabled to reduce up to 5 amount of the measuring devices attached to object. The research sample of a diagnostic complex is made, which work capacity is checked up on engineless benches and on the automobile engine. Tests have confirmed legitimacy of the chosen both advanced methods and efficiency of the developed diagnostic means.

Key words: petrol engine, technical condition, diagnostic complex, automation.

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Ніконов О. Я.

Підп. до друку 17.09.2003 р. Формат видання 145×215.

Формат паперу 60×90/16. Папір Certain. Друк – ризографія.

Обсяг 0,9 авт. арк. Наклад 100 прим. Зам. № 432.

Видавничий центр НТУ “ХП”. Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ “ХП”, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21
