

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Сівих Дмитро Георгійович

УДК 621.436.004.6

**ОБГРУНТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО
МОНІТОРИНГУ ТА АВТОМАТИЗОВАНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ
АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Парсаданов Ігор Володимирович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків
головний науковий співробітник
кафедри двигунів внутрішнього згорання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Тартаковський Едуард Давидович,
Українська державна академія
залізничного транспорту, м. Харків,
завідувач кафедри експлуатації
та ремонту рухомого складу.

кандидат технічних наук, доцент

Лісовал Анатолій Анатолійович,
Національний транспортний університет, м. Київ,
доцент кафедри двигунів і теплотехніки.

Захист відбудеться 09.10.2008 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 згорання, ауд. 11.

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

Автореферат розісланий 08.09.2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Триньов О. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні в Україні експлуатуються автомобілі, трактори та сільськогосподарські машини як власного, так і імпортного виробництва, на яких встановлені дизелі з механічним або мікропроцесорним керуванням. Внаслідок природних процесів старіння та зносу під час експлуатації дизелів змінюється технічний стан структурних підрозділів, в системах накопичуються дефекти, які не виявляються та не усуваються своєчасно. Тому значна частина дизелів експлуатується з ушкодженнями або не оптимально відрегульованими системами, що викликає надмірні витрати палива, а рівень токсичності відпрацьованих газів перевищує припустимі норми.

Для підтримки автотракторних дизелів (АТД) у справному стані, як тих що діють, так і тих що розробляються чи вводяться в експлуатацію, потрібне відповідне діагностичне забезпечення як комплекс взаємно погоджених правил, методів, алгоритмів і засобів діагностування в експлуатації. В існуючих засобах діагностування, ще не в повній мірі використовується інформативність параметрів робочих процесів, а кількість вимірюваних параметрів на двигуні часто недостатня для встановлення достовірного діагнозу. Діагностичне обладнання, що використовується в Україні, здебільшого засноване не на функціональних, а на тестових методах й орієнтоване на діагностування дизелів у режимі холостого ходу, що ускладнює виявлення несправностей, які проявляються під навантаженням. Тому важливо визначати діагностичні параметри на робочих режимах дизеля безпосередньо в експлуатації.

Істотну допомогу у постановці діагнозу надають засоби та програми, убудовані безпосередньо в системи керування. Для дизелів українського виробництва електронні системи керування в стадії розробки, в бортових засобах моніторингу часто застосовують застарілі методи та механічні засоби вимірювання, що спричиняє розрив у потоці інформації. Вбудовані засоби на дизелях закордонного виробництва добре розвинуті, але вони переважно тяж тестові, охоплюють тільки параметри електричних компонентів, не наділені функціями накопичення інформації про витрати палива, рівень завантаження дизеля, розподіл часу на експлуатаційних режимах роботи тощо. Саме цієї інформації бракує для визначення технічного стану, виявлення дефектів на стадії їхнього зародження та для прогнозування технічного стану дизеля, що є складовою частиною процесу діагностування.

Поліпшення діагностичного забезпечення АТД в експлуатації є актуальною проблемою, що і визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є частиною науково-дослідних робіт кафедри колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова НТУ "ХПІ", спрямованих на вдосконалення методів та засобів контролю технічного стану енергетичних установок транспортних машин. Здобувач брав участь у господарських договорах:

- «Аналіз сучасного стану та розробка методів розрахунку й автоматизованого проектування систем керування і діагностики» (Харківський державний приладобудівний завод ім. Т. Г. Шевченка);

- «Параметричний синтез і експериментальна перевірка цифрової систе-

ми автоматичного керування паливоподачею танкового дизеля БТД» (Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є поліпшення діагностичного забезпечення автотракторних дизелів шляхом удосконалення методів і технічних засобів для здійснення експлуатаційного моніторингу та автоматизації процедур визначення їхнього технічного стану.

Для досягнення поставленої мети потрібно було вирішити такі завдання:

1. Визначення прогресивних напрямів у діагностичному забезпеченні дизелів та обґрунтування перспективної концепції моніторингу технічного стану АТД в експлуатації з урахуванням режимів їх роботи та навантаження.

2. Вибір інформативних і доступних для вимірювань параметрів робочих процесів та створення комплексу математичних моделей дизеля, необхідних для визначення режимів його роботи, показників функціонування та ступеню навантаження АТД, для формування структурованої бази даних і з'ясування технічного стану двигуна у бортовій системі моніторингу (БСМ).

3. Удосконалення методу оцінки технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) та клапанів на підставі аналізу діаграм тиску у впускному колекторі, у картерному просторі та в циліндрах на такті стиснення; автоматизація пошуку неполадок у цих та інших вузлах дизеля шляхом порівняння коефіцієнтів, які є відношенням поточного діагностичного параметра до нормативного.

4. Розробка датчиків, БСМ, автоматизованої системи дослідження та діагностики (АСДД) та їх складових частин для вимірювання інформативних параметрів та здійснення діагностичних процедур на дизелі.

5. Проведення розрахунків та моторних випробувань для перевірки адекватності створених математичних моделей АТД, з'ясування рівня готовності розроблених технічних засобів та отримання бази даних у форматі БСМ.

Об'єкт дослідження – робочі процеси в системах автотракторного дизеля, які характеризують його технічний стан та режими роботи.

Предмет дослідження – параметри процесів у системах, які є інформаційною основою для реалізації методів експлуатаційного моніторингу та автоматизованого діагностування автотракторних дизелів.

Методи дослідження – всі теоретичні положення дисертаційної роботи базуються на фундаментальній теорії теплових двигунів; при розрахункових дослідженнях використовувався метод математичного моделювання характеристик АТД; методи аналізу робочих процесів покладено в основу моніторингу технічного стану дизелів; метод матеріального балансу застосований при обґрунтуванні й виборі параметрів, які є інформаційною базою для моніторингу й автоматизованого діагностування ДВЗ; експериментальні методи стендових випробувань застосовані при визначенні швидкісних і навантажувальних характеристик автотракторного дизеля.

Наукову новизну одержаних результатів складають:

1. Обґрунтована перспективна концепція моніторингу технічного стану АТД в експлуатації, яка на відміну від існуючих, дає змогу шляхом імітаційного моделювання характеристик дизелів визначати режими їх роботи за витратою палива і частотою обертання колінчатого вала та накопичувати дані про показники функціонування двигунів відповідно до їх завантаження.

2. Вперше застосований системний підхід до формування структурованої бази даних у БСМ, який передбачає крім узагальнених показників про витрату палива, швидкість руху та пройдений шлях за увесь час роботи машини, накопичувати таку ж інформацію, розподіляючи її за режимами роботи двигуна, що надає можливість визначати і прогнозувати технічний стан та ресурс дизеля, діагностувати його у два етапи – ранній функціональний експрес-діагноз у БСМ і на цій підставі поглиблене автоматизоване діагностування у АСДД.

3. Удосконалений метод оцінки технічного стану циліндропоршневої групи та клапанів шляхом синхронного запису та порівняння витрат картерних газів, тиску у впускному колекторі, у картерному просторі та тиску в циліндрах на такті стиснення.

4. Набуло подальшого розвитку оцінювання технічного стану окремих вузлів дизеля шляхом порівняння комплексу коефіцієнтів, які є відношенням поточних діагностичних параметрів до нормативних, що забезпечує автоматизований пошук неполадок за допомогою розробленої діагностичної моделі та комплексу програмно-апаратних засобів АСДД.

Практичне значення одержаних результатів для двигунобудування:

1. Створено комплекс математичних моделей, котрі дозволяють: з використанням інформації про ефективний ККД, отриманої при стендових випробуваннях дизеля, визначати його характеристики в експлуатації; ідентифікувати режими роботи і ступінь навантаження ДВЗ за витратами палива й частотою обертання колінчатого вала; формувати структуровану базу даних і з'ясувати загальний технічний стан дизеля у бортовій системі.

2. Розроблено та виготовлено експериментальні зразки датчиків, діагностичних модулів, бортової системи та АСДД для вимірювання, реєстрації інформативних параметрів та здійснення діагностичних процедур; шляхом моторних випробувань підтверджено їх готовність для використання при дослідженні існуючих та доводці розроблюваних дизелів.

3. Удосконалено стенд СДТА 2 шляхом доповнення емулятором датчиків та АСДД, після чого він придатний не лише для регулювання форсунок і ПНВТ з механічними регуляторами, а й випробування перспективних ПНВТ з електронними регуляторами.

4. Експериментально підтверджено, що найвищу точність у визначенні фаз упорскування палива забезпечує метод з оптичним датчиком, який реагує на появу та завершення паливного струменя з розпилювача форсунки.

Результати наукового дослідження реалізовано у 6 екземплярах АСДД, які використовуються у науково-дослідних та навчальних лабораторіях Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Математична модель визначення режимів роботи дизеля за витратами палива і частотою обертання колінчатого вала та запропоновані в роботі методи діагностування АТД використовуються у навчальному процесі НТУ «ХПІ» при підготовці студентів зі спеціальності 7.092201 – «Електричні системи і комплекси транспортних засобів».

Особистий внесок здобувача:

- висунуто наукове положення про доцільність використання єдиного інформаційного середовища для оцінки й прогнозування технічного стану та технічного рівня автотракторних дизелів;

- запропонована схема процесу діагностування АТД у два етапи і розроблений для цього комплекс математичних та діагностичних моделей, проведено числовий експеримент на імітаційній моделі дизеля 6ЧН12/14 (СМД-31);

- удосконалено методи діагностування ПНВТ, ЦПГ та клапанів;

- розроблено функціональні схеми модулів для вимірювання діагностичних параметрів, проведено калібрування розроблених датчиків, отримані їхні характеристики, визначена точність вимірювань;

- проведено експериментальну перевірку в умовах стендових випробувань дизеля 4ЧН12/14 (СМД-18) та на автомобілях розробленої АСДД, отримані експериментальні дані у форматі ВСМ та у формі осцилограм.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні положення та результати роботи доповідалися та отримали схвалення на: науково-технічній конференції (ХДТУСГ, м. Харків 2002 р.), на міжнародній науково-технічній конференції (ХНАДУ, м. Харків 2005 р.), на 8-му та на 12-му міжнародному конгресі двигунобудівників (с. Рибаче 2003 р., 2007 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 9-ти наукових працях у фахових виданнях ВАК України.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 217 сторінок, з них 35 ілюстрацій за текстом, 12 ілюстрацій на окремих сторінках, 11 таблиць за текстом, 8 таблиць на окремих сторінках, 4 додатки на 15 сторінках, 118 найменувань використаних літературних джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтована актуальність теми і необхідність дослідження, сформульована його мета й основні завдання, визначаються шляхи їх вирішення, надана інформація про наукову новизну, практичну значимість одержаних результатів, особистий внесок в них здобувача та їх впровадження, наведена загальна характеристика роботи.

У першому розділі проведено аналіз тенденцій розвитку автотракторних дизелів. Дизель, як об'єкт діагностики, представлений сукупністю характерних вузлів і систем, в яких обмежені можливості вимірювання інформативних параметрів. Подальше їх ускладнення викликає додаткові труднощі у з'ясуванні причин та місць виникаючих пошкоджень.

Проведено аналіз методів і засобів технічного діагностування, визначені їхні переваги й недоліки, рівень автоматизації. Зазначено, що моніторинг параметрів двигуна при виконанні технологічних операцій і технічне діагностування дизеля є ефективними способами підвищення якості експлуатації машин. Обґрунтовано можливість поліпшення методів діагностування.

У другому розділі проведено теоретичне дослідження, обґрунтування й вибір діагностичних параметрів, доступних для вимірювання в автотракторних дизелях. На підставі аналізу, виконаного в розділі 1, обґрунтована необхідність поряд із широко розповсюдженим бортовим тестовим діагностуванням робити функціональний експрес-діагноз автотракторних дизелів. Для цього необхідно скласти модель експрес-діагностики автотракторних дизелів по обмеженій кількості діагностичних параметрів і забезпечити безперервний моніторинг дизелів в експлуатації за цими параметрами.

Найбільш узагальненим методом оцінки технічного стану дизеля і його систем є діагностування за основними показниками роботи. До таких показників відносяться потужність, середній індикаторний або середній ефективний тиск, крутний момент, витрата палива, індикаторний або ефективний ККД. Переважна більшість цих показників мають тісний кореляційний зв'язок з несправностями, порушеннями регулювань паливної апаратури і супровідних процесів. Відомо, що вираження для індикаторних і ефективних показників мають однакову структуру. Відмінності полягають лише в тім, що для індикаторних показників у формулах використовується індикаторний ККД, а для ефективних показників – ефективний ККД.

Використання ефективних показників дає більшу перевагу в тім, що інформація про них доступніша, ніж інформація про індикаторні показники. Кожний тип дизеля проходить стендові випробування, під час яких знімаються зовнішня швидкісна й навантажувальна характеристики. Якщо відома частота обертання колінчатого вала, ефективна потужність і годинні витрати палива й повітря, то з наведених нижче формул можна визначити ефективний ККД і ін-

ші показники. Ефективна потужність дизеля визначається з відомих залежностей:

$$N_e = (P_e * z * V_h * n) / (60000 * i) \quad \text{або} \quad N_e = (M_{кр} * \pi * n) / 30000; \quad (1)$$

середній ефективний тиск:

$$P_e = Q_n * G_{плц} * \eta_e / V_h \quad \text{або} \quad P_e = Q_n * G_{пвц} * \eta_e / (V_h * \alpha * l_0); \quad (2)$$

коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = G_{пв} / (l_0 * G_{пл}). \quad (3)$$

Циклові подачі палива $G_{плц}$ і повітря $G_{пвц}$ пов'язані з відповідними годинними витратами палива $G_{пл}$ і повітря $G_{пв}$ співвідношеннями:

$$G_{плц} = G_{пл} * i / (60 * n * z); \quad (4)$$

$$G_{пвц} = G_{пв} * i / (60 * n * z). \quad (5)$$

У цих формулах прийняті наступні позначення:

$M_{кр}$ – ефективний крутний момент, V_h – робочий об'єм циліндра, z , i – число циліндрів і коефіцієнт тактності, n – частота обертання колінчатого вала, Q_n – нижча теплота згоряння палива, $G_{плц}$ і $G_{пвц}$ – циклова подача палива й повітря в один циліндр, l_0 – теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, η_e – ефективний ККД.

Наведені залежності дозволяють скласти спрощену модель функціонування дизеля, що відбиває вплив різних факторів на основні його показники. На основі такої моделі можна робити експрес-діагноз автотракторного дизеля (рис. 1) по обмеженій кількості діагностичних параметрів і обґрунтовано вибрати групи інформативних параметрів для його поглибленого функціонального діагностування.

Отже на АТД важливі та доступні для вимірювання наступні параметри: положення органа керування (ОК) паливним насосом високого тиску (ПНВТ), наприклад, рейки; частота обертання колінчатого вала; годинні витрати палива $G_{пл}$ і повітря $G_{пв}$. За цими параметрами доцільно організувати експлуатаційний моніторинг. З огляду на те, що для рішення інших суміжних завдань при проектуванні й експлуатації дизелів є потреба в такій інформації, запропоновано системний підхід до формування бази даних при моніторингу. Тоді до переліку параметрів, що записуються, слід додати: швидкість руху машини й час роботи дизеля на кожному режимі.

Обґрунтування й вибір доступних для вимірювання параметрів при поглибленому функціональному діагностуванні дизеля в стаціонарній діагностичній системі здійснено на підставі структурного аналізу двох характерних типів дизелів, застосовуваних в Україні: з механічною й з

мікропроцесорною системою керування. За допомогою графів проаналізовані причинно-наслідкові зв'язки параметрів і показників робочого процесу цих дизелів з технічним станом їхніх систем. Незважаючи на розходження в кількості вузлів і зв'язків між ними, графи в кореневій частині ідентичні схемі, зображеній на рис. 1. Отже відповідно формулам (1) та (2) загальний технічний стан та режим роботи дизеля будь-якого типу можна визначити по витраті палива, частоті обертання колінчатого вала й ККД.

На підставі викладеного, запропоновано діагностувати дизель у два етапи: перший етап – експрес-діагноз у бортовій системі, другий етап – поглиблене діагностування в стаціонарній діагностичній системі.

На основі структурного аналізу та графів обґрунтовані й обрані інформативні параметри для поглибленого функціонального діагностування найважливіших агрегатів і систем дизеля в стаціонарній діагностичній системі.

Третій розділ присвячений розробці моделей, необхідних для визначення ефективних показників дизеля, за якими здійснюється моніторинг та діагностування. Запропоновано визначати їх шляхом **імітаційного моделювання** характеристик дизеля. Загальний вигляд імітаційної моделі $E=f(x_i; y_i)$, де E – результат дії системи, що моделюється; x_i – змінні, котрими можна управляти; y_i – змінні, котрими управляти не можна. Тобто модель включає комбінацію змінних, параметрів, функцій залежності, обмежень й цільову функцію. Якщо змінну стану системи, породжену у її середині, закріпити, то вона стає параметром моделі. Параметри не змінюються в процесі дослідження. Згідно з формулами (1) – (5) ефективну потужність двигуна також можна виразити через витрату палива та ефективний ККД

$$N_e = Q_H * G_{плл} * \eta_e / 3600 = Q_H * G_{пллц} * \eta_e * n / (60 * i), \quad (6)$$

а застосований в оцінках ефективності функціонування двигуна коефіцієнт використання потужності представити

$$K_{ен} = N_e / N_e = (G_{плл} * \eta_e) / (G_{пллн} * \eta_{ен}) = (G_{пллц} * \eta_e * n) / (G_{пллцн} * \eta_{ен} * n_n), \quad (7)$$

де $G_{пллн}$, $G_{пллцн}$, $\eta_{ен}$, n_n – показники з додатковим індексом «н» відносяться до режиму номінальної потужності. Відносні значення показників:

$$\bar{M}_{кр} = M_{кр} / M_{крн}; \quad \bar{G}_{плл} = G_{плл} / G_{пллн}; \quad \bar{G}_{пллц} = G_{пллц} / G_{пллцн}; \quad \bar{\eta}_e = \eta_e / \eta_{ен}; \quad \bar{n} = n / n_n.$$

З урахуванням прийнятих позначень:

$$\bar{M}_{кр} = \bar{G}_{пллц} \cdot \bar{\eta}_e, \quad (8)$$

$$K_{ен} = \bar{N}_e = \bar{G}_{плл} \cdot \bar{\eta}_e = \bar{G}_{пллц} \cdot \bar{\eta}_e \cdot \bar{n}. \quad (9)$$

Зважаючи на те, що на ефективний ККД суттєво впливають швидкісний і навантажувальний режими, позначимо залежність його від частоти обертання по зовнішній швидкісній характеристиці $\bar{\eta}_{ен} = f(\bar{n})$, а вплив навантаження на

ефективний ККД – залежністю ККД від циклової подачі при роботі дизеля по навантажувальній характеристиці $\bar{\eta}_{eg} = f(\bar{G}_{nлц})$, тоді узагальнений ефективний ККД при різних умовах роботи двигуна можна подати як

$$\bar{\eta}_e = \bar{\eta}_{eg} \cdot \bar{\eta}_{en}. \quad (10)$$

Його можна визначити для кожного типу дизеля при стенових випробуваннях, для цього необхідно зняти зовнішню швидкісну характеристику й декілька навантажувальних характеристик, для них визначити ККД та у вигляді масиву констант записати в пам'ять ЕОМ. За таких умов закріпимо $\bar{\eta}_e$ як параметр системи. Тоді для визначення крутного моменту в умовах експлуатації достатньо знати змінні $G_{пл}$ та n .

Адекватність моделі перевірена за даними, опублікованими по дизелю 6СН12/14. Похибка визначення показників по моделі не перевищує 5 %.

Імітаційна модель є основою математичних моделей, необхідних для:

- ідентифікації режимів роботи дизеля за $G_{пл}$ та n ;
- моніторингу завантаження дизеля в експлуатації;
- формування структурованої бази даних у бортовій системі моніторингу;
- експрес-діагнозу дизеля та деяких його систем на борту машини.

Модель ідентифікації режимів роботи встановлює правила визначення режимів. Вона передбачає наступні дії: після вимірювання змінних V , n , θ_{oy} , $G_{пл}$, $G_{пв}$ обчислюється циклова подача палива, вибираються з пам'яті значення $\bar{\eta}_{en} = f(\bar{n})$ та $\bar{\eta}_{eg} = f(\bar{G}_{нлц})$, обчислюється узагальнений ефективний ККД, визначається крутний момент. Отже стає відомий режим роботи та вид режиму (холостий хід, тяговий режим, сталий режим чи перехідний); обчислюється сумарна витрата палива, тривалість роботи дизеля на режимі та інші показники, передбачені конкретною програмою.

Моделі моніторингу дизеля та формування структурованої бази даних встановлюють правила розподілу, запису і збереження результатів вимірювання та обчислення. В їх основу покладено принцип, запропонований професором Шеховцовим А. Ф. в імовірнісних моделях завантаження двигунів, відповідно до якого все поле можливих режимів роботи дизеля замінюється представницькими полігонами, тобто дискретними значеннями $M_{кри}$ та n_i . Імовірність P_i роботи дизеля на певному режимі визначається залежністю $P_i = f(M_{кри}, n_i)$.

Імовірнісна модель експлуатації квазістаціонарна: вважається, що показники не змінюються суттєво протягом часткового наробітку. У реальних умовах експлуатації завжди існує «флуктуація» навантаження. В моделях, що розробляються, прийняте припущення: режим вважається сталим, якщо від попереднього до наступного вимірювання кон-

трольований показник не виходить за межі полігону. Застосувавши запозичений принцип та прийняте припущення, кожен змінний чи показник роботи двигуна в межах окремо взятого i -го полігону приводимо до його центру з конкретним значенням M_{kpi} та n_i . При повторенні однакових режимів сумарна витрата палива та час роботи дизеля на цих режимах додаються до попередніх, а інші показники усереднюються в межах полігону. Кількість полігонів визначається із співвідношення

$$Z_n = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2\varepsilon_0} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{t}, \quad (11)$$

де P_{\max} , P_{\min} – максимальне й мінімальне значення параметра, що досягає при роботі двигуна у всьому діапазоні характеристик; $t=2\varepsilon_0$, крок розподілу полігонів, ε_0 – припустиме відхилення параметра від значення у центрі полігону.

Структуровану базу даних можна представити тривимірною матрицею станів з координатами X, Y, Z, які є адресами центрів полігонів та іменами змінних. X – по частоті обертання колінчатого вала; Y – по крутному моменту; Z – ідентифікатор імен змінних. Отже значення M_{kpi} та n_i , що визначають поточний режим, можуть служити адресою для запису у пам'яті обчислених показників, притаманних тільки певному режиму.

Якщо адресний простір пам'яті БСМ 16 двійкових розрядів (A0 – A15), то його розподіл може бути таким.

A15	A14	A13	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
N				Z				Y				X			

N – додатковий ідентифікатор (порядковий номер), наприклад, періоду виконання певного технологічного циклу.

Похибка обчислення крутного моменту 5 % для визначення режиму припустима, а для діагностики – надто велика. Тому згадані моделі використовуються лише для визначення режимів роботи та розподілу інформації для її збереження.

Модель функціонального діагностування дизеля в бортовій системі доповнює засоби самодіагностики електронних компонентів, технологія яких побудована на аналізі сигналів системних датчиків. Ця модель спрямована на визначення технічного стану дизеля по виконанню ним основної функції – забезпеченню заданого $M_{кр}$ на валу при заданій n . Визначення технічного стану будь-якого технічного об'єкта базується на порівнянні поточного значення діагностичного параметра (ДП) з нормою. По відхиленню його від норми визначається вид технічного стану. Вихід ДП за припустиму межу означає, що об'єкт несправний. Для дизеля такою межею вважають припустиме зменшення N_e або $M_{кр}$, які можна

виразити через побічні показники:

$$\delta \bar{N}_e = \delta \bar{M}_{кр} + \delta \bar{n} = \delta \bar{G}_{нлц} + \delta \bar{\eta}_e + \delta \bar{n}, \quad (12)$$

$$\delta \bar{M}_{кр} = \delta \bar{G}_{нлц} + \delta \bar{\eta}_e = \delta \bar{G}_{нвц} - \delta \bar{\alpha} + \delta \bar{\eta}_e, \quad (13)$$

де позначено відносні зміни $\delta \bar{M}_{кр}$ – крутного моменту, $\delta \bar{G}_{нвц}$ і $\delta \bar{G}_{нлц}$ – циклової подачі повітря й палива; $\delta \bar{\eta}_e$ – ефективного ККД, $\delta \bar{\alpha}$ – коефіцієнта надлишку повітря, $\delta \bar{n}$ – частоти обертання колінчатого вала.

Оскільки для розподіленої паливної апаратури конкретному положенню рейки ПНВТ і частоті обертання колінчатого вала відповідає конкретна циклова подача палива $G_{нлц}$, то при фіксованих значеннях положення рейки та частоти обертання вала різниця між вихідною цикловою подачею палива $G_{нлц}^e$ та поточною $G_{нлц}$ відображає технічний стан паливного насоса. Для акумуляторних систем фіксованими параметрами є частота обертання колінчатого вала й тривалість упорскування палива. Якщо згадану різницю віднести до вихідної циклової подачі палива $G_{нлц}^e$, то отримаємо діагностичну функцію, яка відображає загальний технічний стан паливного насоса автотракторного дизеля

$$\delta \bar{G}_{нлц} = 1 - G_{нлц} / G_{нлц}^e. \quad (14)$$

Таку ж діагностичну функцію можна записати і для витрати повітря

$$\delta \bar{G}_{нвц} = 1 - G_{нвц} / G_{нвц}^e, \quad (15)$$

де $G_{нвц}^e$, $G_{нвц}$ - вихідна і поточна витрата повітря.

Обидві діагностичні функції можна застосовувати для діагностування паливного насоса та турбокомпресора безпосередньо в експлуатації. Зміни циклових подач повітря $\delta \bar{G}_{нвц}$ й палива $\delta \bar{G}_{нлц}$ мають тісний кореляційний зв'язок зі зміною ефективного ККД $\delta \bar{\eta}_e$, тому відповідно до рівнянь (12) і (13) вони відображають також і загальний технічний стан автотракторного дизеля.

Для здійснення діагностичних процедур необхідно в пам'яті пристрою мати записи вихідних значень $G_{нлц}^e$ та $G_{нвц}^e$ при фіксованих положеннях рейки ПНВТ та частоти обертання вала. Ці записи та результати першого етапу функціонального діагностування дизеля зберігаються в окремій області пам'яті бортової системи і є частиною структурованої бази даних.

Для поглибленого діагностування дизеля запропонована модель, що дає змогу вибрати групи параметрів та порядок їх вимірювання, обчислення та аналіз результатів за допомогою комп'ютера швидкодіючих процесів в основних системах дизеля: у турбокомпресорі, впускному та випускному колекторі, у картерному просторі й циліндропоршневій групі, в форсунках та паливному насосі, в датчиках системи керування.

У кожній із перерахованих систем аналізуються параметри (Π): тиск, температура (якщо доступна для вимірювань), та витрата повітря, газу чи палива. Для цього їх треба синхронно записувати в комп'ютер у цифровій формі як $\Pi = f(\tau)$, у базі даних зберігати вихідні значення Π^e та норми цих параметрів Π^* .

Оскільки кожен параметр може мати постійну та змінну складові, то вимірюється та аналізується постійне P_{Π} , амплітудне значення P_a і форма контрольованого параметра, а також відношення поточної амплітуди P_a до вихідної P_a^e як $K = P_a / P_a^e$, відхилення від норми $\delta = P - P^*$, середнє значення амплітуд параметра P_{cp} , відношення амплітуд ψ та різниця між ними δP для відповідних циліндрів, які представляються у відносних величинах $\psi = P_{ai} / (\frac{1}{z} \sum_1^z P_{ai}) = P_{ai} / P_{cp}$ та $\overline{\delta P} = (P_{\max} - P_{\min}) / P_{cp}$.

На підставі аналізу комплексу параметрів робиться висновок про технічний стан вузла, агрегату, системи чи дизеля в цілому.

У четвертому розділі йдеться про розробку та дослідження взаємодіючих програмно-технічних засобів, необхідних для здійснення двох етапів діагностики. Розроблено структурну схему БСМ, запропоновано схему інформаційного обміну між бортовою і стаціонарною системами, обґрунтовані та вибрані компоненти цих систем. Викладено основні принципи побудови й функціонування АСДД, складена її структурна схема (рис. 2) на основі серійного аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та персонального комп'ютера. Датчики, що перетворюють вимірювані параметри в електричні сигнали, об'єднані у вимірювальні модулі.

М1: відмітка ВМТ; тиск палива перед форсункою; підйом голки форсунки; кут повороту колінчатого вала; сигнал вібрації форсунки від посадки голки; ознака руху паливного струменя – швидкозмінні параметри паливоподачі;

М2: тиск, температура та витрата палива – стаціонарні параметри палива.

М3: тиск, витрата та температура повітря – система живлення повітрям.

М4 вимірює температури: ВГ; в системі мащення; охолодної рідини.

М5: тиск у циліндрі; тиск та витрата картерних газів – для оцінки ЦПГ.

Кожний розроблений модуль являє собою закінчений вузол і може, при необхідності, використовуватися окремо.

Тиск у впускному колекторі і в картерному просторі та витрати картерних газів вимірюються датчиками серійного виробництва, а тиск у циліндрі датчиком з підсилювачем власної конструкції. Чутливий елемент його з наклеєними усередині тензорезисторами із зовні охолоджується водою.

Початок подачі й тривалість упорскування палива визначається по переміщенню голки форсунки або руху паливного струменя. Для цього розроблені оптоелектронні датчики, що працюють у пронизуючих променях інфрачервоного діапазону. Для вимірювання витрат палива у циркуляційних системах паливоподачі дизелів розроблено диференційний датчик власної конструкції.

Для роботи АСДД обране програмне забезпечення «PowerGraph», яке забезпечує: збір, реєстрацію й візуалізацію даних у режимі реального часу; редагування, математичну обробку, аналіз, зберігання, імпорт і експорт да-

них .

У п'ятому розділі наведені результати, які отримані шляхом розрахунків та експериментальних досліджень про вплив технічного стану на показники дизеля та перевірку можливості формувати базу даних у форматі БСМ і працездатність в експлуатації розроблених методів і технічних засобів.

1. Вплив технічного стану дизеля на показники функціонування перевірили, скориставшись даними від розробника про вихідні та граничні показники дизеля 6ЧН12/14 при номінальній частоті обертання колінчатого вала, розраховали ефективний ККД, годинну витрату і циклову подачу палива та відхилення значень кожного показника (табл. 1).

Таблиця 1 –

Вихідні та граничні значення показників для дизеля 6ЧН12/14

Показник		Значення		Відхилення від вихідного, %
		вихідне	граничне	
1		2	3	4
1	Номінальна частота обертання колінчатого вала, хв ⁻¹	2000	2050 – 1990	+2,5... – 0,5
2	Потужність експлуатаційна, кВт	184 ⁺⁹	170	7,6
3	Крутний момент, Н·м	877	807	7,98
4	Середня циклова подача палива	165 – 170	110	33,3 – 37,1
5	Питома витрата палива на режимі експлуатаційної потужності, г/кВт·год	239	272	12,13
6	Ефективний ККД, %	35,44	31,14	12,13
7	Годинна витрата палива, кг/г	43,976	46,24	-5,14
8	Циклова подача палива, г/цикл	0,7329	0,7706	-5,14

Як свідчать розрахунки для граничного технічного стану дизеля 6ЧН12/14 на номінальному режимі зниження потужності та крутного моменту з розбіжністю в 0,38% ($\delta \bar{M}_{кр} = 7,98\%$, $\delta N_e = 7,6\%$) становлять в середньому 7,8%, а ефективний ККД знизився на $\delta \bar{\eta}_e = 12,13\%$. Хоча продуктивність ПНВТ (середня циклова подача палива по штуцерах насоса) знизилася на 33 – 37%, проте циклова подача на цьому режимі за рахунок дії регулятора збільшилася на $\delta \bar{G}_{плц} = 5,14\%$ і частково компенсує зниження ККД. Важливо з'ясувати вплив технічного стану ПНВТ на зовнішню швидкісну характеристику (ЗШХ) дизеля.

Скориставшись опублікованою ЗШХ нового й гранично зношеного паливного насоса розподільного типу моделі VE фірми BOSCH, шляхом імітаційного моделювання визначили

зміни ЗШХ дизеля 6ЧН12/14 (рис. 3). Моделювали 4 варіанти комплектації двигуна 6ЧН12/14: новий дизель з новими ПНВТ штатним (вихідна характеристика) та ПНВТ моделі VE фірми BOSCH; дизель 6ЧН12/14 зі зниженим на 5% η_e з ПНВТ моделі VE зі зниженою на 5% подачею палива та критично зношений.

Розрахунки свідчать, що ЗШХ дизеля змінюється нерівномірно. На номінальному режимі $\delta N_e=9\%$, на середній частоті обертання $\delta N_e=25\%$, а на низьких частотах обертання $\delta N_e=40\%$.

2. Коректування алгоритмів діагностування, відпрацювання програмно-технічних засобів на стенді СДПА 2, доповненому емулятором датчиків і АСДД, перевірили працездатність усього комплексу. На фізичній моделі акумуляторної системи з електромагнітною штифтовою форсункою впорскування бензину з'ясовували достовірність визначення фаз впорскування палива. Процеси у фізичній моделі зображені на рис. 4, а), де: 1 – сила струму в електромагніті форсунки, 2 – переміщення голки форсунки, 3 – вібрація корпусу форсунки, 4 – рух паливного струменя. Експериментально доведено, що датчик руху паливного струменя найточніше відображує фази впорскування палива. Це підтверджено також і на стенді СДПА 2 для дизельної форсунки.

3. Експериментальне дослідження на моторному стенді з дизелем 4ЧН12/14 було спрямоване на перевірку каналів індицирування. На рис. 4, б) приведено осцилограми процесів в дизелі 4ЧН12/14 при відключеному 4-ому циліндрі, де 1 – відмітка ВМТ, 2 – кут повороту колінчатого валу, 3 – тиск у циліндрі, 4 – тиск палива, 5 – підйом штанги форсунки, 6 – рух паливного струменя. Ці процеси записані з додатковою форсункою, оснащеною вказаними датчиками. При працюючому 4-ому циліндрі (рис. 4, в) записали процеси в дизелі: 1 – відмітка ВМТ, 2 – кут повороту колінчатого валу, 3 – індикаторна діаграма, 4 – тиск палива, 5 – підйом штанги форсунки, 6 – вібрація корпусу форсунки. За результатами стендових випробувань одержали дані про ефективні показники у форматі бази даних БСМ (рис. 5).

4. З метою експлуатаційної перевірки і ступеню готовності АСДД до практичного використання випробування проводили на автомобілях. Першим об'єктом був 4-х циліндровий чотиритактний рядний дизель автомобіля Skoda Octavia 1,9 TDI с проміжним охолодженням повітря, свічами накаливання, системою перепуску ВГ у впускну систему й нейтралізацією шкідливих речовин на виході каталізатором

окисного типу. Система газотурбінного наддуву оснащена клапаном управління турбіною шляхом перепуску ВГ, клапаном рециркуляції ВГ, датчиками тиску, температури та витрати повітря. Система живлення паливом розділена: ПНВТ розподільного типу серії VE з електронним керуванням кутом випередження за допомогою електроклапана та регулювання тривалості подачі дозуючою шайбою з датчиком її ходу; форсунка гідромеханічна двоступінчастого упорскування з п'ятьма отворами у розпилювачі.

При тестуванні пам'яті контролера кодів помилок не виявлено. Аналіз сигналів штатних та додаткових датчиків і виконавчих пристроїв у різних комбінаціях показав працездатність всіх систем дизеля. Осцилограми збережені в базі даних і використовувалися як зразкові.

Наступним об'єктом тестування був 6-ти циліндровий чотиритактний дизель автомобіля AUDI A6 з робочим об'ємом 2,3 л з такими ж системами, як і в дизелі автомобіля Skoda Octavia 1,9 TDI. Спираючись на осцилограми, збережені в базі даних від попередніх випробувань по дизелю Skoda Octavia 1,9 TDI, була виявлена несправність клапана перепуску ВГ у системі управління турбіною.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні поставлена та вирішена науково-практична задача щодо поліпшення діагностичного забезпечення автотракторних дизелів шляхом удосконалення методів і технічних засобів для здійснення експлуатаційного моніторингу та автоматизації процедур визначення їх технічного стану. Вирішення задачі забезпечено застосуванням перспективних підходів до функціонального діагностування ДВЗ та здійснення його у два етапи, що створює передумови для своєчасного виявлення та усунення несправностей.

Рішення даної задачі дозволило одержати наступні результати:

1. Систематизовано прогресивні напрями у поліпшенні діагностичного забезпечення ДВЗ, обґрунтована перспективна концепція моніторингу технічного стану автотракторних дизелів в експлуатації з урахуванням режимів їх роботи та завантаження.

2. На підставі структурного аналізу дизелів обґрунтовані й обрані інформативні і доступні для вимірювань параметри робочих процесів; запропоновано застосувати функціональну діагностику дизеля у два етапи: попередній етап – експрес-діагноз у БСМ, наступний поглиблений – у АСДД.

3. Для реалізації системного підходу у формуванні структурованої бази даних і з'ясування загального технічного стану дизеля у бортовій системі моніторингу створено комплекс математичних моделей, призначених для іденти-

фікації режимів роботи і ступеню навантаження ДВЗ; серед них базовою є імітаційна модель, що заснована на використанні інформації про ефективний ККД, отриманої при стендових випробуваннях дизеля, яка дозволяє визначати його характеристики в експлуатації за витратами палива й частотою обертання колінчатого вала.

4. Удосконалено метод оцінки технічного стану циліндропоршневої групи та клапанів шляхом синхронного запису та порівняння витрат картерних газів, тиску у впускному колекторі, у картерному просторі та тиску в циліндрах на такті стиснення; для автоматизації пошуку неполадок у цих та інших вузлах дизеля запропоновано порівнювати коефіцієнти, які є відношенням поточного діагностичного параметра до нормативного.

5. Розроблено конструкції датчиків, схеми БСМ, АСДД та діагностичних модулів, призначених для вимірювання, реєстрації інформативних параметрів та здійснення діагностичних процедур.

6. Удосконалено стенд СДТА 2 шляхом доповнення емулятором датчиків та АСДД, що робить його придатним не лише для регулювання форсунок і ПНВТ з механічними регуляторами, а й для випробування перспективних ПНВТ з електронними регуляторами.

7. Експериментально підтверджено, що найвищу точність у визначенні фаз упорскування палива забезпечує метод з оптичним датчиком, який реагує на появу та завершення паливного струменя з розпилювача форсунки.

8. Виконано розрахунки для перевірки адекватності розроблених математичних моделей ДВЗ (похибка не перевищує 5 %); проведено моторні випробування на стенді та на автомобілях для отримання бази даних у форматі БСМ та для перевірки працездатності технічних засобів; підтверджена їх готовність для використання при дослідженні існуючих та доводці розроблюваних дизелів.

9. Результати наукового дослідження впроваджені і використовуються у науково-дослідних та навчальних лабораторіях ХНАДУ та у навчальному процесі НТУ «ХП» при підготовці студентів зі спеціальності 7.092201 – «Електричні системи і комплекси транспортних засобів».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пойда А. Н., Палий А. В., Сивых Д. Г. Переносные и встроенные средства диагностирования тракторных дизелей // Тракторная энергетика в растениеводстве. – Харків: ХГТУСХ. – 2002. – Вып. 5. – С. 114 – 121.

Здобувач запропонував діагностувати систему паливоподачі дизеля за коефіцієнтами технічного стану.

2. Пойда А. Н., Палий А. В., Сивых Д. Г. Основные принципы автоматизации исследования и диагностирования поршневых двигателей // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2003. Вип. 42/7. – С. 93 – 95.

Здобувач сформулював принципи побудови і функціонування АСДД та вимог до характеристик функціональних модулів.

3. Пойда А. Н., Палий А. В., Сивых Д. Г. Применение вэйвлет-преобразования для идентификации параметров в механизмах поршневых двигателей // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. – №1. – С. 269 – 272.

Здобувач виконав аналіз публікацій з віброакустичних методів та провів експеримент на електромагнітній клапанній форсунці.

4. Пойда А. Н., Сивых Д. Г. Автоматизированная система исследования и диагностирования автотракторных дизелей // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – №1. – С. 125 – 131.

Здобувач запропонував будувати систему за модульним принципом, експериментально перевірів її працездатність на дизелі СМД-18.

5. Пойда А. Н., Сивых Д. Г. Выбор информативных параметров и формирование базы данных в автоматизированной системе мониторинга и диагностирования автотракторных дизелей // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – №2. – С. 102 – 108.

Здобувач обґрунтував перелік інформативних параметрів, сформулював вимоги до структури бази даних БСМ в системній постановці, на прикладі дизеля СМД-31А розраховував вибірку вихідних даних.

6. Пойда А. Н., Гужва Е. Е., Проскурин А. М., Сивых Д. Г. Системный подход к управлению рабочими процессами, мониторингу и диагностированию транспортных машин // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – Вып. 16. – С. 22 – 24.

Здобувач розробив концепцію обліку режимів роботи транспортних дизелів, склав схему інформаційного обміну БСМ та АСДД.

7. Абрамчук Ф. И., Пойда А. Н., Сивых Д. Г., Проскурин А. М. Новая автоматизированная система исследования и диагностирования автотракторных дизелей // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. –

2005. – Вып. 17. – С. 28 – 34.

Здобувач взяв участь в експериментальній перевірці розробленого комплексу на дизелі, отримав осцилограми процесів у його системах.

8. Парсаданов И. В., Пойда А. Н., Сивых Д. Г. Модель идентификации режимов работы автотракторных дизелей в условиях эксплуатации // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2007. – №1. – С. 114 – 118.

Здобувач обґрунтував можливість визначення режимів роботи в експлуатації дизеля за витратами палива й частотою обертання колінчатого вала та виконав розрахунки для перевірки адекватності моделі.

9. Пойда А. Н., Парсаданов И. В., Сивых Д. Г. Модель мониторинга загрузки автотракторных дизелей в эксплуатации // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2007. – №2. – С. 126 – 131.

Здобувач запропонував алгоритм визначення параметрів і накопичення інформації в структурованому вигляді.

АНОТАЦІЇ

Сівих Д. Г. Обґрунтування та реалізація методів експлуатаційного моніторингу та автоматизованого діагностування автотракторних дизелів. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2008.

Дисертацію присвячено діагностичному забезпеченню автотракторних дизелів з традиційним механічним та мікропроцесорним управлінням. Запропоновано і покладено в основу новий підхід у визначенні ефективних показників дизеля в умовах експлуатації шляхом імітаційного моделювання його характеристик. Розроблено математичні моделі, які дають змогу визначати режими роботи за витратами палива й частотою обертання колінчатого вала, накопичувати дані про завантаження дизеля, проводити експрес-діагноз дизеля на борту машини, що забезпечує інформацією задачі визначення технічного рівня, прогнозування технічного стану та ресурсу.

Розроблено модель моніторингу та діагностування дизеля, методи діагностування форсунок, паливного насосу, створено діагностичний комплекс з персональною ЕОМ в контурі, в якому застосовано модульний принцип побудови програмно-апаратних засобів. Виготовлено дослідний зразок діагностичного комплексу, працездатність якого перевірено на стенді з дизелем та на автомобілях. Підтверджено правомірність вибраних та удосконалених методів і ефективність розроблених діагностичних засобів.

Ключові слова: дизель, технічний стан, моніторинг, діагностування, програмно-апаратний комплекс, автоматизація.

Сивых Д. Г. Обоснование и реализация методов эксплуатационного мониторинга и автоматизированного диагностирования автотракторных дизелей. Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Энергетические установки и двигатели. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2008.

В диссертации поставлена и решена научно-практическая задача улучшения диагностического обеспечения автотракторных дизелей с традиционными механическими и микропроцессорными системами управления. На основе анализа научно-технической литературы и сравнительной оценки с мировыми аналогами, обоснована необходимость усовершенствования методов и средств мониторинга и технического диагностирования этих объектов. Предложен системный подход к формированию базы данных в процессе рядовой эксплуатации автотракторных дизелей, который базируется на информационной общности задач определения технического уровня и прогнозирования технического состояния и ресурса этих дизелей.

На основе структурного анализа дизелей с гидромеханическим и микропроцессорным управлением предложено применить функциональное диагностирование дизеля в два этапа: первый этап в бортовой системе, второй этап – в стационарной диагностической системе. Обоснованы и выбраны информативные параметры для эксплуатационного мониторинга и бортового экспресс-диагноза, определён формат записи данных в память бортовой системы мониторинга и диагностики. Двухэтапное диагностирование позволит более эффективно эксплуатировать транспортное средство путём проведения своевременных регулировок и ремонта систем дизеля. Обслуживание будет производиться не в сроки планово-предупредительного ремонта, а по факту возникновения отклонений, обнаруженных диагностической системой, что исключит работу двигателя с неполадками или скрытыми отказами. При автоматизированной локализации неисправности сокращается время на восстановление транспортного средства, исключается необходимость проверки всех систем – исправные узлы не подвергаются демонтажу и разборке.

Предложено определять крутящий момент в эксплуатации дизелей по текущим измерениям расхода топлива и частоты вращения коленчатого вала по имитационной модели, в которой неизменным параметром выбран эффективный КПД дизеля, определяемый в условиях стендовых испытаний и заносимый в память бортовой системы в виде массива констант.

Адекватность имитационной модели проверена на основе опубликованных данных по автомобильному дизелю 6ЧН12/14 (СМД 31.15). Ошибка моделирования не превысила 5%.

Имитационная модель положена в основу математических моделей, которые необходимы для определения режимов работы дизеля по расходу топлива и частоте вращения коленчатого вала, накопления данных о загрузке дизеля, экспресс-диагностики дизеля на борту машины. На основе этих моделей появилась возможность диагностирования дизелей в два этапа. В бортовой системе наряду с широко употребляемыми эксплуатационными показателями о расходе топлива, времени работы, скорости движения машины и пройденном пути, накапливается та же информация с распределением её по полигонам в соответствии с режимами работы двигателя. Это предоставляет возможность использовать информацию в уточнённых по режимам и времени работы моделях определения и прогнозирования технического состояния, износа и ресурса дизеля.

Разработана диагностическая модель разделенной системы топливоподачи с золотниковыми дозирующими элементами, которая позволяет в условиях эксплуатации непосредственно на автомобиле или тракторе определить наличие неполадок в системе.

Разработана структурная схема автоматизированной системы исследования и диагностирования автотракторных дизелей, изготовлен экспериментальный образец программно-аппаратного диагностического комплекса, работоспособность которого проверена на испытательном стенде с дизелем и на автомобилях. Испытания подтвердили правомерность выбранных и усовершенствованных методов, а также эффективность разработанных диагностических средств. Шесть экземпляров комплекса внедрены в практику научно-исследовательских работ и в учебный процесс. Комплекс может использоваться как автохозяйствами для диагностирования и поддержания своего автопарка в исправном состоянии, так и в исследовательских целях при испытаниях существующих и доводке разрабатываемых автотракторных дизелей.

Усовершенствован стенд СДТА-2, который был дополнен эмулятором датчиков и автоматизированной системой исследования и диагностирования, после чего он стал пригоден не только для регулировки форсунок и ТНВД с механическими регуляторами, но и испытания перспективных ТНВД с электронными регуляторами.

Ключевые слова: дизель, техническое состояние, мониторинг, диагностика, программно-аппаратный комплекс, автоматизация.

Sivikh D. G. Ground and realization of methods for operating monitoring and automated diagnosticating of autotractor's diesel engines. Manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.05.03 – Power plants and engines – the National technical

university “Kharkov polytechnic institute”, Kharkov, 2008.

Dissertation is devoted the problem of monitoring and diagnostic providing of autotractor’s diesels with traditional mechanical and microprocessor control the system. The simulation model of diesel and mathematical models which enable to determine the operations modes of diesel on the expense of fuel and crankshaft rotation frequency is developed, to accumulate information about the load of diesel, to conduct the expressdiagnosis of diesel aboard a machine, that provides information of task of determination of technical level, prognostications of the technical state and resource. On the basis of these models possibility of the stage-by-stage diagnosticating of diesels appeared is early expressdiagnostics aboard a machine and deep diagnosticating in the stationary system.

The diagnostic model of a part system of fuel serve is resulted with slide-valve batchings elements, which allows in the conditions of exploitation directly on a car or tractor to define the presence of defects in the system.

Developed and made experimental standard of diagnostic complex the capacity of which is tested on a tent-bed test with a diesel and on cars. Tests were confirmed by legitimacy of the chosen and improved methods and efficiency of the developed diagnostic facilities.

Keywords: diesel, technical state, monitoring, diagnosticating, complex, automation.