

П. В. ЧИШКАЛА, Д. В. МЕШКОВ, Е. В. БОЖКО

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА МЕТОДАМИ БЕЗРОЗБІРНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

В роботі проведено аналіз ефективних методів діагностики дизелів, та проаналізовано особливості діагностики методами, за параметрами. Окремо перелічено недоліки описуваних методів. Вказано основні причини виникнення несправностей у вузлах паливної апаратури дизельних двигунів. Прикладами доведено, що самим кращим, аналізуючи визначення кореляційних залежностей діагностованих двигунів, є прямі методи, а саме індичіювання робочого процесу у циліндрі дизеля. Встановлено, що методи технічного діагностування не потребують розбирання паливної апаратури та зарекомендували себе як універсальні і оперативні, що дозволяють комплексно оцінити стан дизелю. Детально описано методи нерозбірної діагностування стану дизельного двигуна, досліджено особливості таких непрямих методів діагностики, як вібраційний, акустичний, непряме індичіювання за допомогою визначення напруження у шпильках кришки циліндрів, оцінка величини зносу деталей за вмістом металу у моторній оливі, а також діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу. Метод по діагностичці віброакустичним методом може бути використаний для визначення технічного стану таких елементів, як паливний насос високого тиску, форсунки і паливопідкачуючий насос. Крім того, дано характеристику мотор-тестерів, вузькоспеціалізованих тестерів та автосканерів. Особливістю діагностики за допомогою комп'ютерного автосканера є те, що вона дозволяє оцінювати стан вузлів комплексно, тобто з врахуванням взаємного впливу несправностей один на одного. Наголошено, що найбільш ефективними можна вважати такі методи, що не потребують розбирання, а найбільш точну оцінку технічного стану паливної апаратури можна дати з використанням методу діагностування за параметрами робочих процесів.

Ключові слова: діагностика, методи, дизельний двигун, системи технічного діагностування, авто сканер, технічний стан, нерозбірні методи діагностики.

П. В. ЧИШКАЛА, Д. В. МЕШКОВ, Э. В. БОЖКО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

В работе проведен анализ эффективных методов диагностики дизелей, и проанализированы особенности диагностики методами, по параметрам. Отдельно перечислены недостатки описываемых методов. Указаны основные причины возникновения неисправностей в узлах топливной аппаратуры дизельных двигателей. Примерами доказано, что самым лучшим, анализируя определение корреляционных зависимостей диагностированных двигателей, являются прямые методы, а именно индуцирование рабочего процесса в цилиндре дизеля. Установлено, что методы технического диагностирования которые не требуют разборки топливной аппаратуры зарекомендовали себя как универсальные и оперативные, которые позволяют комплексно оценить состояние дизеля. Подробно описаны методы неразборного диагностирования состояния дизельного двигателя, исследованы особенности таких косвенных методов диагностики, как вибрационный, акустический, косвенное индицирование с помощью определения напряжения в шпильках крышки цилиндров, оценка величины износа деталей с содержанием металла в моторном масле, а также диагностирование с неравномерностью частоты вращения коленчатого вала. Виброакустический метод по диагностике дизеля может быть использован для определения технического состояния таких элементов, как топливный насос высокого давления, форсунки и топливоподкачивающий насос. Кроме того, дана характеристика мотор-тестеров, узкоспециализированных тестеров и автосканеров. Особенностью диагностики при помощи компьютерного автосканера является то, что он позволяет оценивать состояние узлов комплексно, то есть с учетом взаимного влияния неисправностей друг на друга. Отмечено, что наиболее эффективными можно считать следующие методы, которые не требуют разборки, а наиболее точную оценку технического состояния топливной системы дизеля можно дать с использованием метода диагностирования по параметрам рабочих процессов.

Ключевые слова: диагностика, методы, дизельный двигатель, системы технической диагностики, авто сканер, техническое состояние, неразборные методы диагностики.

P. CHISHKALA, D. MESHKOV, E. BOZHKO

FORMATION OF A FLOW-LINE TECHNICAL DIESEL ENGINE BY THE METHOD OF SAFETY-FREE DIAGNOSTICS

The analysis of diagnostic methods of diesel engines is given. The principle of diagnostics by certain methods, parameters, by which the diagnostics of fuel injection equipment is conducted, as well as disadvantages of one or another method are considered. The main causes of derangements in the nodes of the fuel injection equipment of diesel engines are determined. The examples have proved that the direct diagnostics methods are the most effective in determining correlation dependencies, for example, indicating the workflow in a diesel cylinder. It is particularly established that the methods of technical diagnostics do not require dismantling of the fuel injection equipment and have proven themselves to be versatile and operative, allowing to comprehensively evaluate the condition of the diesel. The methods of non-separable diagnostic of the condition of a diesel engine are described in detail, the features of such indirect diagnostic methods as vibration, acoustic, indirect indicating by determining the voltage in the cylinder head studs, estimation of the wear rate of component parts with a metal content in engine oil, as well as diagnosing with uneven rate speed of the crankshaft. The vibro-acoustic diagnostic method of a diesel engine can be used to determine the technical condition of such elements as a diesel fuel injection pump, nozzles, and a fuel-priming pump. In addition, the characteristics of motor testers, highly specialized testers and auto scanners are given. A diagnostic feature using a computer auto scanner is that it allows evaluating the condition of nodes in a comprehensive manner, that is, taking into account the mutual influence of derangements on each other. It is noted that the methods that do not require disassembling can be considered the most effective, and the most accurate assessment of the technical condition of the diesel fuel system can be given using the diagnostic method according to the parameters of work processes.

Key words: diagnostics, methods, diesel engine, technical diagnostics systems, auto scanner, technical condition, non-disassembling diagnostic methods.

© П. В. Чижкала, Д. В. Мешков, Е. В. Божко, 2021

Вступ

Автомобільні ДВЗ зазвичай експлуатуються умовах, що постійно змінюються: температура навколишньої середовища, вологість, тиск. Під час експлуатації автомобіля, 40 %–65 % несправностей виникають в результаті неправильної роботи двигуна. Для своєчасного виявлення несправності, а також оцінки поточного стану технічного засобу необхідна своєчасна діагностика [1].

Технічна діагностика дизельних двигунів внутрішнього згоряння спрямована на визначення технічного стану механізмів, функціональних систем і робочих процесів в дизельних двигунах в умовах експлуатації. Для цього застосовуються засоби діагностування, за допомогою яких здійснюється контроль і пошук несправностей в механізмах і системах двигунів.

До основних показників дизельного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) відносяться потужність, крутний момент і витрата палива, та екологічні показники. Перераховані параметри знаходяться в тісному кореляційному зв'язку з несправностями в роботі таких систем і механізмів двигуна як: механізм газорозподілу, паливна система, система повітряпостачання, система змащування, система охолодження, кривошипношатунний механізм [2].

При експлуатації з часом відбувається зміна параметрів, виникають несправності, які супроводжуються зменшенням потужності і збільшенням витрати палива, збільшенням забруднення навколишньої середовища. Як наслідок, зростають експлуатаційні витрати. У більшості випадків зміна характеристик дизеля викликається несправностями паливної апаратури (ПА), на яку припадає 55 %–70 % всіх відмов, що виникають у дизельному двигуні [3].

Мета роботи

- 1 Вивчити методи діагностики дизельного двигуна.
- 2 Проаналізувати ефективність даних методів.
- 3 Описати дані методи.

Виклад основного матеріалу

До найбільш поширених методів контролю технічного стану паливної апаратури висуваються такі вимоги:

- обов'язкова достовірність отриманих діагностичних результатів;
- можливість прогностичного визначення несправності за стандартизованими показниками;
- час використання методу та можливість автоматизації діагностичного процесу;

– метод дослідження із загальнодоступними приладами [4].

Основною причиною виникнення несправностей у вузлах ПА дизельних двигунів є знос. Найбільше вплив на роботу системи паливоподачі має знос прецизійних вузлів, таких як плунжерна пара, нагнітальний клапан і розпилувач. В результаті таких видів зношування має місце місцевий знос в сполученнях прецизійних вузлів. Тому роботи, спрямовані на розробку методів, способів і засобів технічного діагностування ПА є актуальними [1, 4].

Сучасні методи діагностики двигунів внутрішнього згоряння ґрунтуються на використанні різних стендів, спеціальних пристроїв і пристосувань. Тим не менше, виявити більшість несправностей складно у зв'язку з їх поступовим виникненням [3].

Сутність одного з методів діагностики дизельного двигуна полягає в аналізі сигналу частоти і прискорення обертання колінчастого вала. Після проходження кожним поршнем верхньої мертвої точки, колінчастий вал на короткий час прискорюється. Якщо в циліндрі не відбулося загоряння палива, то частота обертання колінчастого вала не збільшується, а навпаки зменшується. Таким чином, можна оцінити роботу кожного циліндру поршневого двигуна за величиною прискорення колінчастого вала.

Слід сказати, що в даний час розроблені різні стенди, пристосування, пристрої та методи для оцінки окремих параметрів технічного стану ДВЗ, відмінності яких полягають у виборі груп діагностичних параметрів і виявленні форми їх функціональних зв'язків із структурними параметрами. У той же час, виявити більшість відмов в ПА важко внаслідок того, що їх вплив на вихідні показники дизеля аналогічний впливу відмов в системах повітряпостачання і газорозподілу.

При використанні методу нерозбірного діагностування працездатності елементів дизельного двигуна важливе визначення степені розрегулювання систем дизеля. Досліджуваний метод нерозбірного діагностування ділять на такі дві основні групи як:

– Функціональний метод, який контролює елементи двигуна під час його експлуатації і визначає відтворюваність експлуатаційних режимів.

– Тестовий метод, який включає в себе процедуру виведення двигуна з експлуатації з послідовним контролем стандартизованих факторів зовнішнього впливу.

Під час роботи двигуна, згідно вимог нерозбірних методів діагностування, вимірюють наперед визначені параметри, що характеризують стан двигуна. Функціональні методи проводять індивідуальну оцінку параметрів дизельного двигуна в стандартизованих часових інтервалах і отримують

діагностичні показники в однакових умовах (ефективна потужність і показник частоти оберту колінчастого валу).

Дані методи мають такі недоліки, як повне або часткове розбирання дизельного двигуна. Непрямі методи є складнішими за вищеописані методи і включає вібраційний та акустичний методи, непряме індиціювання з визначенням напруження у шпильках кришки циліндрів, оцінку степені зносу деталей по показникам якості моторного масла, діагностування частоти обертання колінчастого валу. Основними перевагами непрямих методів є: організація дослідження, одночасне діагностування кількох сигналів з двигуна.

Методи технічного діагностування не потребують розбирання паливної апаратури та зарекомендували себе як універсальні і оперативні, що дозволяють комплексно оцінити стан дизелю. Для такої діагностики застосовується складне електронне обладнання, яке вимагає високої кваліфікації майстра-діагноста. Найбільш перспективними з методів діагностики є віброакустичний метод, методи діагностування з аналізу комплексних параметрів і метод діагностування за параметрами робочого процесу.

Використання магнітоелектричного методу передбачає реєстрацію змінюваного магнітного потоку в намагнічених деталях діагностованого механізму під час роботи елементів двигуна. Індукована електрорушійна сила, що фіксується магнітоточувливим датчиком, пропорційна швидкості руху намагніченої деталі. Магнітоелектричний метод визначає такі показники двигуна, як реєстрація переміщення, фазові параметри деталей агрегатів, показник відхилення діагностичних параметрів від стандартизованих значень. Але слід відзначити, що для даного методу існують складності через нестабільність магнітних властивостей досліджуваних елементів (наприклад визначення параметрів руху елементів форсунки (голки, штанги)), тому в таких випадках користуються обмеженою інформацією про стан двигуна.

Віброакустичний метод діагностики може бути використаний для визначення технічного стану таких елементів, як паливний насос високого тиску (ПНВТ), форсунки і паливopідкачуючий насос. Метод заснований на реєстрації віброакустичних сигналів, які виникають в процесі роботи ДВЗ і подальшому їх аналізі з метою визначення несправного елемента системи.

Перевагою віброакустичного методу діагностування є відсутність розбірно-складальних операцій, простий спосіб закріплення первинних перетворювачів на об'єкті діагностування, а такі нові методи, як лазерна вібродіагностика допускають безконтактне знімання сигналу. Недоліком даного методу є обробка, інтерпретація діагностичної інформації, розпізнавання параметрів і дефектів, що

складним і трудомістким процесом, а отримані значення не є досить інформативними.

Найбільш часто в практиці використовують методи діагностики з аналізу комплексних параметрів для визначення технічного стану дизельного двигуна і його систем в цілому. Загальним недоліком таких підходів є вплив інших систем ДВЗ на їх зміну, що в свою чергу, збільшує час пошуку конкретної несправності, трудомісткість і вартість діагностування.

Також для діагностики дизельних двигунів застосовують мотор-тестери, вузькоспеціалізовані тестери, автосканери. Мотор-тестери це універсальні електронні прилади, призначені для проведення вимірювань параметрів роботи двигуна. Параметри вимірюються за допомогою спеціальних датчиків і пробників, що входять в комплект приладу. Як правило, мотор-тестери дозволяють вимірювати наступні параметри:

- частота обертання колінчастого вала;
- температура масла;
- напруга акумулятора.

Вузькоспеціалізовані тестери застосовуються для діагностики певного типу автомобілів, вимірювання параметрів здійснюється за допомогою зовнішніх датчиків.

Автосканер – прилад для комп'ютерної діагностики основних систем сучасного автомобіля. Автосканер підключається до шини обміну даними між блоками автомобіля, що дозволяє отримувати інформацію про його стан, вимірювати характеристики, зчитувати показання з датчиків. Особливістю діагностики за допомогою комп'ютерного автосканера є те, що вона дозволяє оцінювати стан вузлів комплексно, тобто з врахуванням взаємного впливу несправностей один на одного.

В даний час більшість автомобілів обладнані електронним блоком, який безперервно обробляє інформацію від датчиків і контролює систему управління дизельним двигуном. Сучасні діагностичні сканери зчитують і аналізують інформацію із вбудованих датчиків про технічний стан систем і агрегатів двигуна.

Найбільш ефективно оцінити стан дизельного двигуна можна за параметрами робочого процесу. Метод заснований на вимірюванні параметрів частотно-часової групи, якими характеризується більшість процесів дизеля. Якість протікання процесу впорскування і стан деталей паливної апаратури можуть бути оцінені за такими показниками, як кут випередження подачі палива, тривалість впорскування, максимальний і середній тиск впорскування, фактор динамічності циклу впорскування (відношення кількості палива, що подається в циліндр двигуна за період затримки займання, до циклової подачі палива). При діагностиці паливної апаратури за вказаними характеристиками, аналіз її працездатності проводять по осцилограмам процесу

впорскування палива, шляхом виділення характерних ділянок. Осцилограми отримують в ustalених режимах роботи при постійній частоті обертання колінчастого вала двигуна. За осцилограмами тиску впорскування палива виявляють більшість несправностей паливної апаратури.

Діагностування проводять шляхом порівняння еталонної та досліджуваної осцилограм, знятих на одному і тому ж режимі роботи двигуна. Методи діагностування ПА по параметрам відпрацьованих газів є універсальними і дозволяють реєструвати несправну роботу паливної системи. Однак параметри відпрацьованих газів є функцією також і технічного стану агрегатів наддуву та циліндропоршневої групи. Через це такі методи є недостатньо об'єктивними через велику кількість факторів, що впливають на параметри відпрацьованих газів, і підходять тільки для постановки попереднього діагнозу.

Методи технічного діагностування ПА потребують часткового або повного її розбирання, але вони є простими у виконанні і основному вимагають від майстра-діагноста знання конструкції дизеля і пристрою складових елементів ПА, які описані в різних нормативно-технічних і експлуатаційних документах, а також у спеціалізованій сервісній літературі.

До недоліків цих методів можна віднести необхідність в частковому або повному розбиранні елементів та дизеля, що збільшує час постановки діагнозу і знижує надійність ПА в цілому, так як при розбірно-складальних роботах.

Аналіз використовуваних методів і способів технічного діагностування стану дизеля показав, що найбільш ефективними можна вважати такі методи, що не потребують розбирання, а найбільш точну оцінку технічного стану ПА можна дати з використанням методу діагностування за параметрами робочих процесів. Виходить з цього, пріоритетними можна вважати роботи, що спрямовані на створення технічних засобів діагностування, які забезпечують отримання точної інформації про фактичний технічний стан об'єкту діагностування без його розбору.

При побудові таких технічних засобів діагностування необхідно враховувати наявність наступних пріоритетних можливостей:

- 1) формування баз даних по діагностованій техніці;
- 2) діагностування вузлів ПА без її демонтажу з ДВЗ;
- 3) оцінка паливно-енергетичних показників ДВЗ;
- 4) постановка діагнозу в автоматизованому режимі;
- 5) подальша модернізація діагностичної системи.

При детальному розгляді кожного з представлених пунктів можна виділити наступні основні складові елементи сучасних засобів технічного діагностування:

– персональний комп'ютер (ПК), на якому за допомогою спеціальних програмних продуктів формуються бази даних за результатами діагностування і проводиться їх аналіз з подальшим прогнозуванням залишкового ресурсу техніки або окремо її систем (елементів). При цьому, завчасно призначаються необхідні операції з технічного обслуговування або поточного ремонту з метою виключення можливого простою техніки;

– аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
– комплект датчиків для підключення до діагностованого об'єкту;

– спеціалізоване програмне забезпечення з функцією постановки діагнозу і рекомендацій для механіка по усуненню виявленої проблеми. Результатом наявності такого інтелектуального елемента в діагностичній системі є істотне скорочення часу на пошук і усунення несправності;

– модульна основа засобу технічного діагностування дозволяє розділити діагностування кожного вузла обстежуваного об'єкта на окремі модулі. Таким чином, можна проводити діагностування, як окремих систем так і в цілому всього об'єкту.

Це дозволяє логічно організувати подальший розвиток діагностичної системи, модернізувати кожен її елемент, незалежно один від одного. У таких системах можливо реалізувати складні діагностичні алгоритми, що дозволяють отримувати вичерпну діагностичну інформацію про стан об'єкту діагностування.

Висновки

За результатами виконаних досліджень встановлено, що роботи по створенню методів і засобів технічного діагностування стану дизеля необхідно проводити у напрямку зниження трудомісткості, підвищення якості та оперативності одержуваної діагностичної інформації про технічний стан об'єкту діагностування. Діагностичні системи доцільно створювати з урахуванням модульної основи, оскільки з'являється можливість створювати додаткові функції і можливості діагностування шляхом впровадження в систему.

Наведені результати свідчать, що сучасні пристрої і методи діагностики дизельних двигунів дозволяють проводити поглиблену діагностику, знімати широкий спектр інформації про параметри роботи автотранспортних засобів і знаходити рішення завдань у дослідницькій та практичній сфері діагностики.

Список літератури

1. Бабанін О. Б. Аналіз методів діагностування паливної апаратури дизелів / О. Б. Бабанін, О. В. Буцький // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2017. – Вип. 168. – С. 31–37. – ISSN 1994-7852 (print). – ISSN 2413-3795 (on-line). – DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.168.2017.101586>.
2. Колобов К. С. Розробка методики експрес-діагностування дизеля / К. С. Колобов // LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей (Київ, 17–19 травня 2017 р.). – Київ: Національний транспортний університет, 2017. – С. 51.
3. Колобов К. С. Програмований технологічний процес експрес-діагностування дизеля / К. С. Колобов // LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей (Київ, 16–18 травня 2018 р.). – Київ: Національний транспортний університет, 2018. – С. 47.
4. Сіманенков А. Л. Автоматичне регулювання температури у системах паливо-підготовки / А. Л. Сіманенков // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 16) : збірник тез доповідей (м. Тернопіль, 1 грудня 2016 р.). – Тернопіль, 2016. – Вип. 16. – С. 89–92. – ISSN 2522-932X. – URL: http://www.konferenciaonline.org.ua/download.php?file=file_1633504750.pdf (дата звернення: 14.02.2021).

References (transliterated)

1. Babanin O. B., Buc'kyj O. V. (2017), "Analiz metodiv diagnostuvannja palyvnoi' aparatury dyzeliv [Analysis of methods diagnosing of the fuel equipment of diesel engines]", *Zbirnyk*

- naukovykh prac' Ukrain's'kogo derzhavnogo universytetu zaliznychnogo transportu* [Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport], vol. 168. pp. 31–37, ISSN 1994-7852 (print), ISSN 2413-3795 (on-line), DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.168.2017.101586>.
2. Kolobov K. S. (2017), "Rozrobka metodyky ekspres-diagnostuvannja dyzelja [Development of a method for Rapid diesel diagnostics]", *LXXIII naukova konferencija profesor'ko-vykladac'kogo skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobitnykiv vidokremlyenyh strukturyh pidrozdiliv universytetu (Kyj'v, 17–19 travnja 2017 r.)* [LXXIII scientific conference of teaching staff, postgraduates, students and employees of separate structural divisions of the University (Kiev, 17–19 May 2017)], pp. 51, National transport university, Kiev.
3. Kolobov K. S. (2018), "Programovanyj tehnologichnyj proces ekspres-diagnostuvannja dyzelja [Programmable technological process of Rapid diesel diagnostics]", *LXXIV naukova konferencija profesor'ko-vykladac'kogo skladu, spivrobitnykiv vidokremlyenyh strukturyh pidrozdiliv universytetu (Kyj'v, 16–18 travnja 2018 r.)* [LXXIV scientific conference of teaching staff, employees of separate structural divisions of the University (Kiev, 16–18 May 2018)], pp. 47, National transport university, Kiev.
4. Simanenkov A. L. (2016), "Avtomatyчне reguljuvannja temperatury u systemah palyvo-pidgotovky [Automatic temperature control in fuel preparation systems]", *Mizhnarodna naukova internet-konferencija "Informacijne suspil'stvo: tehnologichni, ekonomichni ta tehnicni aspekty stanovlennja (vypusk 16)* [International academic and research internet conference "Information society: technological, economic and technical aspects of formation (issue 16)"], vol. 16, pp. 89–92, ISSN 2522-932X, Access mode: http://www.konferenciaonline.org.ua/download.php?file=file_1633504750.pdf (accessed 14 February 2021).

Надійшла (received) 18.04.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чишкала Павло Васильович (Chiškala Pavel Vasильevich, Chishkala Pavlo) – аспірант кафедри двигуни внутрішнього згоряння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: chishkala1991199179@gmail.com.

Мешков Денис Вікторович (Meshkov Denis Viktorovich, Denis Meshkov) – кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри двигуни внутрішнього згоряння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Denys.Meshkov@khp.edu.ua; <https://scholar.google.com.ua/citations?user=lf0WF-4AAAAJ&hl=ru>.

Божко Едуард Валерійович (Bozhko Eduard Valer'evich, Bozhko Eduard) – аспірант кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.