

УДК 621.432.3

doi:10.20998/2413-4295.2021.04.01

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА СПОСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДАМИ НЕРОЗБІРНОГО КОНТРОЛЮ

С. Ю. БІЛИК, Е. В. БОЖКО

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ Розглянуто питання взаємодії схем діагностування двигунів методами нерозбірного контролю, виконано аналіз існуючих методів, та запропоновано використання комплексних підходів, що підвищують надійність роботи двигунів. Проаналізовано методи нерозбірного діагностування з моделюванням розрегулювання систем двигуна під час експлуатації та діагностування початкових етапів несправностей конструктивного та функціонального характеру. Проведений аналіз дозволив визначити прямі діагностичні параметри, які однозначно характеризують стан об'єкта та непрямі, що пов'язані з прямими функціональними залежностями, та виділити найбільш ефективні, з точки зору визначення кореляційних залежностей - прямі методи діагностування, серед яких можна виділити, наприклад, індикацію робочого процесу у циліндрі двигуна. Запропонована відносно проста схема організації вимірювання та визначення сигналів з декількох елементів діагностування одночасно, звідси можна зробити висновок, що інформація з одного каналу вимірювання здатна комплексно охарактеризувати технічний стан декількох елементів механізмів або систем двигуна: вібраційний метод, акустичний метод, методи газової хроматографії, непряме індикаціювання за допомогою визначення напруження у штильках кришки циліндрів, оцінка рівня зносу деталей за вмістом металу у моторному маслі, а також діагностування параметрів за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу. Аналіз методів та способів діагностування двигунів внутрішнього згоряння дозволив дійти висновку, що метод діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу двигуна являє собою перспективний напрям в розвитку методів нерозбірного діагностування двигунів внутрішнього згоряння, використання якого дозволить виконувати оцінку технічного стану двигуна, виявляти і локалізувати несправності, прогнозувати залишковий ресурс та виконувати моніторинг технічного стану двигуна.

Ключові слова: двигуни внутрішнього згоряння; методи нерозбірного контролю; діагностика двигунів; газова хроматографія; оцінка технічного стану двигуна

ANALYSIS OF METHODS AND METHODS OF DIAGNOSING INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY NON-ASSEMBLY CONTROL METHODS

S. BILYK, E. BOZHKO

Department of internal combustion engines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE
e-mail: serhii.bilyk@khp.edu.ua

ABSTRACT The question of interaction of schemes of diagnostics of engines by methods of non-disassembled control is considered, the analysis of existing methods is executed, and the use of the complex approaches increasing reliability of work of engines is offered. Methods of non-detachable diagnostics with modeling of deregulation of engine systems during operation and diagnosing the initial stages of structural and functional malfunctions are analyzed. The analysis allowed to determine the direct diagnostic parameters that unambiguously characterize the state of the object and indirect, associated with direct functional dependencies, and identify the most effective, in terms of determining correlations - direct diagnostic methods, which include, for example, indication of the working process in the engine cylinder. A relatively simple scheme of measuring and determining signals from several diagnostic elements simultaneously is proposed, from which we can conclude that information from one measurement channel can comprehensively characterize the technical condition of several elements of engine mechanisms or systems: vibration method, acoustic method, gas chromatography methods, indirect indication by determining the stress in the studs of the cylinder head, assessing the level of wear of parts on the metal content in the engine oil, as well as diagnosing the parameters of the uneven speed of the crankshaft. Analysis of methods and techniques for diagnosing internal combustion engines led to the conclusion that the method of diagnosing the uneven speed of the engine crankshaft is a promising direction in the development of methods of non-detachable diagnostics of internal combustion engines. residual life and monitor the technical condition of the engine.

Keywords: internal combustion engines; non-detachable control methods; engine diagnostics; gas chromatography; assessment of technical condition of the engine

Вступ

Вважається, що одним з важливих напрямів забезпечення і підтримки технічної (параметричної) надійності двигунів є поступовий перехід від планово-попереджувальної системи ремонту до системи технічного обслуговування за фактичним технічним станом. В цьому випадку система діагностування за фактичним станом передбачає виконання технічного обслуговування, або ремонтів двигуна по мірі необхідності, а не через регламентовані терміни, які інколи не відповідають реальній потребі у ремонті, що призводять або до непотрібної передчасної переборки механізмів, або до ремонтних робіт, які можна було б

попередити у випадку діагностування несправностей ще до появи аварійно небезпечного пошкодження.

Мета роботи

Визначити діагностичні параметри, які безпосередньо характеризують стан об'єкта та пов'язані функціональними залежностями з прямими, та виділити найбільш ефективні, з точки зору визначення кореляційних залежностей, запропонувати відносно просту схему організації вимірювання та охоплення сигналів діагностування одночасно з декількох елементів, яка здатна комплексно охарактеризувати технічний стан декількох елементів або систем двигуна.

Виклад основного матеріалу

За даними Фленсбурського дослідного інституту, 56 % дизелів МАН, що були розібрані за запланованими строками технічного обслуговування були передчасними [1]. Крім того, кожне перебирання та складання механізмів викликає штучний процес припрацювання, під час якого підвищується швидкість зносу деталей і, як наслідок, зменшується загальний ресурс двигуна.

Перехід до експлуатації двигунів за фактичним технічним станом можливий у випадку створення ефективних автоматизованих систем нерозбірного діагностування технічного стану, що призначені для оцінки стану об'єкта, пошуку несправностей і визначення причин їх виникнення, прогнозування залишкового ресурсу і визначення термінів поточного ремонту без зайвого перебирання двигуна. Визначення технічного стану механізмів та систем двигуна без його розбирання дозволить значно зменшити витрати на його ремонт, тому що вартість ремонту складає приблизно 50 % витрат на розбирання та складання.

Відомо, що будь-яке розбирання двигуна негативно впливає на його подальшу працездатність. З якою б ретельністю не було виконано розбирання та збирання, режим затягування з'єднань завжди відрізняється від початкового. Внаслідок відмінностей у деформаціях матеріалів деталей при вторинному збиранні змінюється їхня геометрична форма, порушується співвісність і т.д. Це призводить до того, що при подальшому функціонуванні двигуна знов відбувається припрацювання деталей, яке, як відомо, супроводжується підвищеною швидкістю зносу деталей. На вторинне припрацювання витрачається до 30 % ресурсу роботи вузлів, агрегатів, систем, що зменшує їхню експлуатаційну довговічність [2].

Двигун внутрішнього згоряння є складною термодинамічною, гідравлічною, електронною та механічною системою, що виконує функцію силової установки більшості транспортних засобів і від його технічного стану багато в чому залежить своєчасне виконання робітничих робіт, плану перевезень, та безпека руху. Тому особливу увагу необхідно приділяти двигуну, як одному з головних об'єктів діагностування на транспортному засобі, а саме, вибору комплексу датчиків, за допомогою яких виконується діагностика двигуна без його розбирання.

Метою нерозбірного діагностування є визначення розрегулювання систем та механізмів двигуна у процесі експлуатації та діагностування початкових ознак несправностей конструктивного або функціонального характеру.

Сучасні методи нерозбірного діагностування можна поділити на дві групи [3]:

Функціональний, що передбачає контроль механізмів та систем двигуна без виведення його з експлуатації. В якості контрольних режимів призначають експлуатаційні режими роботи механізмів та систем двигуна.

Тестовий - передбачає виведення діагностування двигуна з експлуатації та контроль параметрів при подачі на двигун та його механізми спеціальних зовнішніх сигналів, або прикладають додаткові зусилля, та спостерігають за реакцією.

У процесі експлуатації двигунів на певних режимах роботи вимірюють заздалегідь визначений набір найбільш інформативних параметрів. Функціональні методи діагностування передбачають індивідуальну оцінку стану конкретного двигуна від створення і до кінця експлуатації. При цьому проводять необхідні виміри через певні, обґрунтовано вибрані проміжки часу. Всі вимірювання параметрів повинні відбуватися за одних і тих же умов роботи, та оцінений вплив стану оточуючого середовища. Як правило, це фіксовані параметри, ефективна потужність і частота обертання колінчастого валу.

Для систем, що реалізують методи функціонального діагностування розглядаються два варіанти виконання:

- збір інформації на транспортній установці з подальшою обробкою на ПЕОМ, та передача її на пункт управління;

- збір та обробка інформації безпосередньо на транспортному засобі (бортова система керування). Така система здатна визначати невідкладні несправності та інформувати про необхідність виконання ремонту.

В двигунобудуванні діагностичні параметри поділяють на прямі, які однозначно характеризують стан об'єкта та непрямі, що зв'язані з прямими функціональними залежностями. В цьому випадку кажуть про прямі та непрямі методи діагностування.

З точки зору визначення кореляційних залежностей, найбільш ефективними є прямі методи діагностування, серед яких можна виділити, наприклад, індиціювання робочого процесу у циліндрі двигуна. Відомо, що використання більшості з прямих методів, як правило, потребує повного або часткового розбирання двигуна або його механізмів для проведення необхідних вимірювань. Непрямі методи виявляються більш складними для побудови кореляційних зв'язків у порівнянні з прямими.

Прикладами непрямих методів діагностування можуть слугувати вібраційний, акустичний, методи газової хроматографії, непряме індиціювання за допомогою визначення напруження у шпильках кришки циліндрів, оцінка рівня зносу деталей за вмістом металу у моторному маслі, а також діагностування параметрів за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу. До переваг непрямих методів діагностування відноситься простота організації вимірювання та охоплення сигналів з декількох елементів діагностування одночасно, звідси можна зробити висновок, що інформація з одного каналу вимірювання здатна комплексно охарактеризувати технічний стан декількох елементів механізмів або систем двигуна.

Діагностування реалізують за загальним принципом «від цілого до часткового». Це означає, що перш ніж робити поелементну, або поглиблену діагностику двигуна, необхідно визначити загальний технічний стан його механізмів та систем за вихідними показниками (N_e , M_e , g_e , n , токсичність відпрацьованих газів та їхня димність, рівні шумів та ін.).

Діагностика двигуна індиціюванням та вимірюванням вібрації в наслідок нерівномірності обертання колінчастого валу.

При порівнянні індикювання та вимірювання нерівномірності обертання колінчастого валу двигуна очевидно, що останній метод має суттєві переваги за інформативністю. Індикювання двигуна характеризує якість робочого процесу в окремо розглянутому циліндрі, а вимірювання нерівномірності колінчастого валу являє собою комплексний показник, який характеризує роботу всіх механізмів та систем, що забезпечують виконання робочого процесу у всіх циліндрах двигуна.

Дослідження наукових робіт щодо схем силових зв'язків у кривошипно-шатунному механізмі двигуна показує наявність впливу якості робочого процесу на відхилення у роботі колінчастого валу, тобто кореляційну залежність з індикаторним тиском P_i . Індикаторний тиск, що діє на поверхню поршня - передає більшу його частину через поршневий палець до шатуна. Останній передає зусилля на шатунну шийку колінчастого валу, де безпосередньо виконується завершення перетворення поступового руху поршня у обертальне колінчастого валу [1].

Таким чином, характер зміни індикаторного тиску можна прослідити у характері зміни обертового моменту колінчастого валу.

Обертовий момент фізично пов'язаний з його кутовою швидкістю (рис. 1) та його прискоренням.

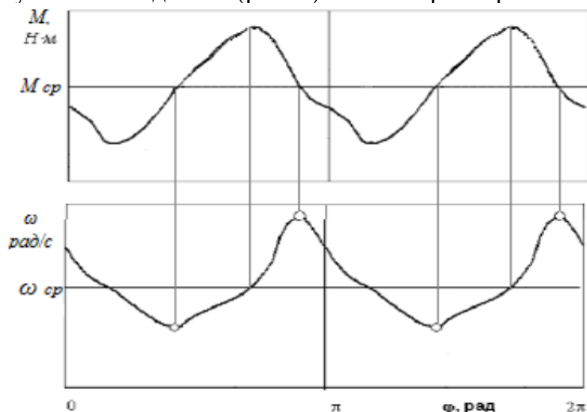


Рис. 1 – Залежність обертового моменту і кутової швидкості колінчастого валу за кутом обертання у випадку рівномірної роботи циліндрів [1]

Ми бачимо, що фізичний зв'язок нерівномірності кутової швидкості дозволяє оцінити вплив можливих несправностей на індикаторний тиск через форму, що представлена на графіку нерівномірності кутової швидкості обертання колінчастого валу. На форму індикаторної діаграми можуть впливати несправності паливної апаратури, циліндро-поршнєвої групи, газорозподільного механізму, системи наддуву та випуску відпрацьованих газів. За один з суттєвих факторів, що визначає зміну індикаторного тиску в циліндрі, виділяють погіршення герметичності камери згоряння, яке викликає зниження тиску стисання і, як наслідок, температури наприкінці процесу стисання. Що виникає внаслідок погіршення розпилювання палива і зниження тиску спалаху.

На рис. 2 наведено графічне уточнення впливу зносу верхнього компресійного кільця на форму графіка індикаторного тиску [4].

Можна зробити висновок, що найбільший вплив на індикаторний тиск надають несправності паливної апаратури, тому що саме паливна апаратура забезпечує своєчасність, кількість і якість подачі палива у камеру згоряння.

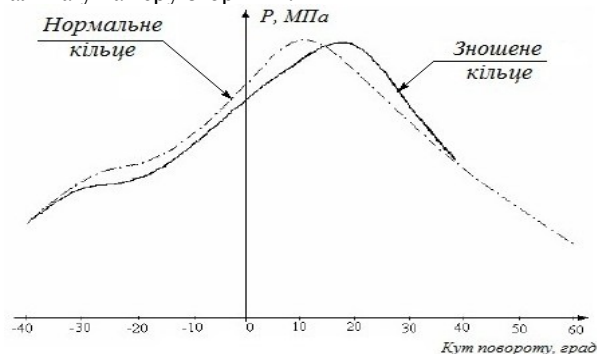


Рис. 2 – Уточнення впливу зносу верхнього компресійного кільця на форму графіка індикаторного тиску [1]

Якщо спрогнозувати можливі несправності форсунок, наприклад закоксування розпилюючих отворів, то можна виявити зниження циклової подачі палива і, як наслідок, зменшення середнього індикаторного тиску. Треба акцентувати увагу, що прогнозується несправна робота форсунок окремого циліндру, а не двигуна в цілому. Зіставлення індикаторних діаграм при нормальній роботі форсунок та при зменшенні циклової подачі, пов'язаної з закоксуванням розпилюючих отворів наведено на рис.3.

На підставі наведених на рис. 3 індикаторних діаграм виконано моделювання графічних залежностей частоти обертання колінчастого валу (рис. 4), на яких спостерігається відповідне збільшення нерівномірності при несправності форсунок [1].

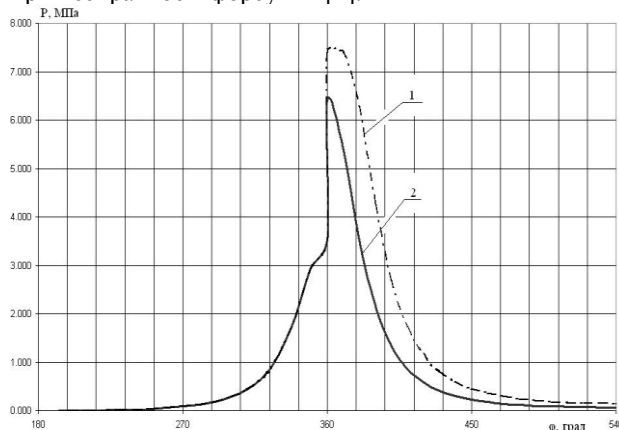


Рис. 3 – Зіставлення індикаторних діаграм при нормальній роботі форсунок (1) та при зменшенні циклової подачі, пов'язаної з закоксуванням розпилюючих отворів (2) [1]

Оскільки, нерівномірність обертання колінчастого валу двигуна викликає значні його вібрації для діагностування технічного стану двигуна пропонується датчик вібрації[5], що зображено на рис.5.

Запропонований датчик вібрації забезпечить підвищення чутливості та надійності роботи датчика в умовах можливих радіальних коливань основних постійних циліндричних магнітів.

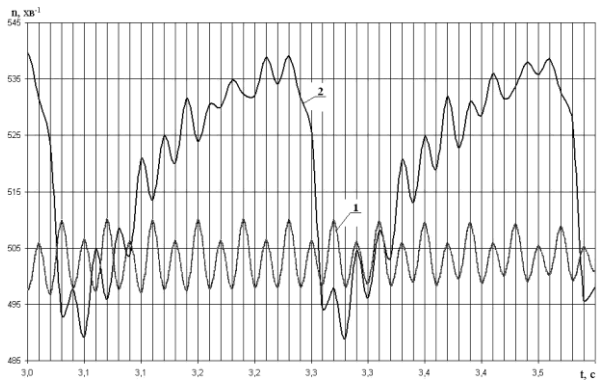


Рис. 4 – Залежність частоти обертання колінчастого валу моделі двигуна від часу на режимі холостого ходу при нормальній роботі форсунки (1) та при її несправності (2) [1]

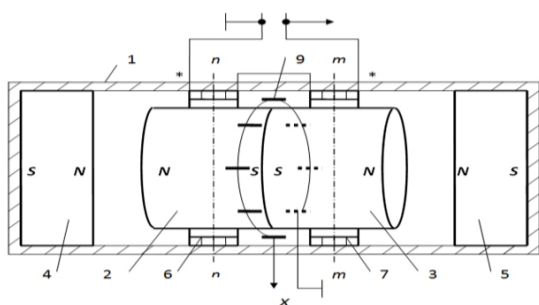


Рис. 5 – Конструкція датчика вібрації [5]

З урахуванням комплексного підходу взаємодії схем діагностування двигунів методами нерозбірного контролю пропонується спосіб застосування газохроматографіческого поділу неорганічних і органічних компонентів відпрацьованих газів, що можливо реалізувати з використанням багатоклоночної системи, що складається з однієї капілярної (PLOT / SiO₂) і трьох наповнених газо-адсорбційних колонок (БАУ, полисорб-1, цеоліт Саа), а також метанатора і блоку-реактора з міддю. Що дозволяє без попереднього концентрування проводити прямий аналіз ОГ з одночасним визначенням неорганічних (CO, CO₂, NO_x, H₂S) і органічних (w-алканів і аренів до С_n) компонентів в діапазонах роботи двигунів внутрішнього згоряння [6].

Девіація кутової швидкості обертання колінчастого валу надає змогу непрямим методом діагностування відслідкувати якість роботи кожного окремого циліндру без вимірювання його індикаторного тиску, а головне, визначити стан кривошипно-шатунного механізму двигуна без його розбирання.

У сучасних умовах покоління ЕОМ дозволяє створювати бортові системи синтезу та аналізу, а також портативні системи експрес-діагностики, основою для яких може слугувати нерозбірний метод діагностування за нерівномірністю обертання колінчастого валу.

Для отримання показників нерівномірності обертання колінчастого валу двигуна, сигналів датчиків, необхідно з високим ступенем дискретизації у часі зняти показники його «провороту» на незначний кут. У більшості конструкцій дані «провороту» колінчастого валу визначаються, за допомогою диференціального датчика Холла, що під'єднується до

колінчастого валу двигуна. Датчик встановлюється на торцевій частині колінчастого валу двигуна Д50 з боку привода масляного насоса або генератора. На рис. 6 зображено схему встановлення датчика [1,9].

У даному випадку прилад зчитує дані про різницю часу проходження впадини між зубцями шестірни датчика з достатньо високою точністю (мілісекунди), але не дозволяє встановити, якій фазі роботи двигуна відповідає певний часовий показник. Пристрій записував 625 часових проміжків за один оборот колінчастого валу двигуна. Цього достатньо для дизельного двигуна, що має шість циліндрів (фіксувався час проходження кута 0,576 градусів). Д50 - чотиритактний двигун, інакше кажучи прохід повного робочого циклу відбувався за два оберти колінчастого валу та записувався пакет з 1250 часових показників. Для представлення пакетів експериментальних даних та опису станів двигуна вони записувалися до comma separated values файлів, назва яких відповідала порядковим номерам робочих циклів експериментів.

Змодельовані стани роботи двигуна Д50 і їх кодування наведено у табл. 1. [9].

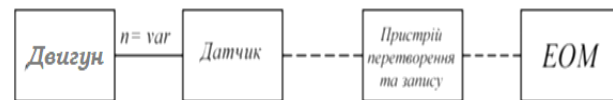


Рис. 6 – Структура пристрою реєстрування сигналів колінчастого валу двигуна [9]

Таблиця 1 - Змодельовані стани двигуна і їх кодування [9]

Стан двигуна	Код стану
несправність у першому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 1st off is0
несправність у першому циліндрі через відкриття клапана	cylinder 1st off is1
несправність у другому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 2nd off is 0
несправність у другому циліндрі через відкриття клапана	cylinder 2nd off is 1
несправність у третьому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 3rd off is0
несправність у четвертому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 4th off is0
несправність у четвертому циліндрі через відкриття клапана	cylinder 4th off is1
несправність у п'ятому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 5th off is0
несправність у шостому циліндрі через відсутність згоряння	cylinder 6th off is0
несправність у шостому циліндрі через відкриття клапана	cylinder 6th off is1
робочий стан	good 300kWt
робочий стан на потужності 300 кВт	good

В роботі [7-9] для генерування вихідних даних було необхідно визначити показники станів і математичні моделі для їх відображення в алгоритмі програми. Узагальнюючі функції на всіх вибірках експериментальних даних були побудовані з використанням моделей машинного навчання.

Статистичні відмінності часових показників у сигналах різних станів роботи двигуна Д50, що приведено на рис. 7, мають суттєво різні розподіли.

Вигляд сигналів для різних станів системи електронного керування наведено у графічній формі на рис.8.

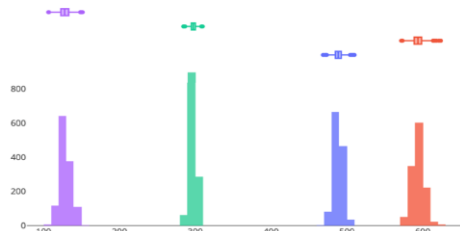


Рис. 7 – Статистичні відмінності часових показників у сигналах різних станів роботи двигуна Д50 [9]

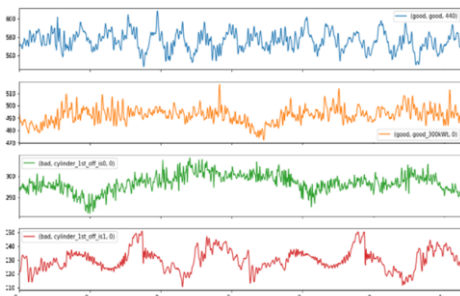


Рис. 8 – Сигнали різних станів системи ЕКД [9]

Обговорення результатів

В ході проведеного аналізу можна дійти висновку, що перспективними напрямками в подальших дослідженнях та розробках щодо використання характеристик нерівномірності кутової швидкості обертів колінчастого валу (інших елементів конструкцій транспортних засобів) для завдань діагностування, аналізу та прогнозування станів вузлів двигунів є - використання інших категорій експертної вхідної інформації, дослідження додаткових технічних систем, розробка інтелектуальних систем аналізу накопичуваної інформації та планування моніторингу транспортних засобів.

Станом на теперішній час було зроблено достатню кількість спроб використовувати нерівномірність кутової швидкості колінчастого валу, у якості керуючого сигналу методами нерозбірного контролю для оцінки технічного стану двигуна, але єдиного підходу в технічних та теоретичних рішеннях не спостерігається [10,11].

Метод діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу двигуна являє собою перспективний напрям в розвитку методів нерозбірного діагностування двигунів внутрішнього згоряння, використання якого дозволить виконувати оцінку технічного стану двигуна, виявляти і локалізувати несправності, прогнозувати залишковий ресурс та виконувати моніторинг технічного стану двигуна. Огляд наукових робіт з діагностування двигунів внутрішнього згоряння показав необхідність створення більш досконалих математичних моделей, вдосконалення розроблених методик та використання систем штучного інтелекту для підвищення достовірності діагнозів [12].

Висновки

Аналіз сучасних досліджень методів та способів діагностування двигунів внутрішнього згоряння методами нерозбірного контролю дозволив дійти висновку, щодо використання комплексного

підходу під час створення схем діагностування двигунів методами нерозбірного контролю, що дозволяє, враховуючи вимоги щодо підвищення техніко-економічних показників, підвищення вимог щодо екологічних показників, забезпечити підвищення ресурсу, та отримати економічний ефект у споживача.

Список літератури

1. Боднар Б. Є., Очкасов О. Б., Дещора О. Я., Черняев Д. В. (ДПТ). Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2012. Вип. 41. С. 56-60.
2. Задворнов Я. М., Рязанцев В. В. Особливості віброакустичного діагностування технічного стану спряжень деталей дизельних двигунів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2016. 4. Р.175-185.
3. Кончаков Е. И. *Техническая диагностика судовых энергетических установок*. - Владивосток: ДВГТУ, 2007. - 112 с.
4. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.2. Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. За редакцією проф. А.П. Марченка, проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ "ХП", 2004.
5. Патент на корисну модель 2015 р. Номер патенту: 103326 Дата подання заявки: 18.06.2015 Дата, з якої є чинними права: 10.12.2015 МПК: G01H 11/02 (2006.01), G01H 11/06 (2006.01) бюл. № 23/2015.
6. Разработка способа определения состава отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и исследование капиллярных колонок с диоксидом кремния для разделения смесей углеводородов. Смирнов Петр Владимирович. Специальность 05.11.11 - Хроматография и хроматографические приборы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук Москва. – 2008.
7. Ved M. *Feature Selection and Feature Extraction in Machine Learning: An Overview*. 2018. 19. 7. URL: <https://medium.com/@mehulved1503/featureselection-and-feature-extraction-in-machine-learning-an-overview-57891c595e96>.
8. Васильев Є. А., Прокопенко А. С. Методика діагностування поршневих двигунів внутрішнього згоряння за результатами їх непрямого відображення. *Збірник наукових праць студентів електромеханічного факультету*. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. Вип. 6. С. 184-192.
9. Скалозуб В. В. Автоматизований експертний комплекс із дослідження та прогнозування параметрів силових енергетичних установок локомотивів / В. В. Скалозуб, О. Б. Очкасов, Д. В. Кібець // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2020. - № 2. - С. 8-18.
10. Наконечний А. Й., Гетьман О. Л. Методи та засоби діагностування роботи двигуна автомобіля за оцінкою його віброакустичних характеристик. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: *Автоматика, вимірювання та керування*. 2018. 907. 38-43.
11. Шкрегаль О. М., Лимаренко В. О., Рильський Д. О. Застосування сучасних діагностичних методів та засобів підвищення технічного рівня машин. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. 145. 174-178.
12. Колобов К. С. Дослідження впливу несправностей систем та механізмів дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. 29 (68). № 1 (3). Р. 103-108.

References (transliterated)

1. Bodnar B. E., Ochkasov O. B., Decyura O. Ya., Chernyaev D. V. (DIIT) Metodi nerozbiernogo diagnostuvannya dizeliv pri ekspluatatsii ruhomogo skladu. *Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznits'nogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 41, D. Vid-vo Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana, 2012. 41. 56-60.
2. Zadornov Ya. M., Ryazancev V. V. Osoblivosti vibroakustichnogo diagnostuvannya tekhnichnogo stanu spryazhen' detalej dizel'nih dviguniv. *Mekhanizaciya ta elektrifikaciya sil's'kogo gospodarstva*, 2016, 4, 175-185.
3. Konchakov E. I. Tekhnicheskaya diagnostika sudovyh energeticheskikh ustanovok. Vladivostok. DVG TU, 2007. 112 s.
4. Dviguni vnutrishn'ogo zgoryannya: Seriya pidruchnikiv u 6 tomah. T.2. Dovidka konstrukcij forsovanih dviguniv nazemnih transportnih mashin. Za redakciyu prof. A.P. Marchenka, prof. A.F. SHEkhovcova – Harkiv. Vidavn. centr NTU “HPI”, 2004.
5. Patent na korisnu model' 2015 r. Nomer patentu: 103326 Data podannya zayavki: 18.06.2015 Data, z yakoi e chinnimi prava: 10.12.2015 MPK: G01H 11/02 (2006.01), G01H 11/06 (2006.01) byul. № 23/2015.
6. Razrabotka sposoba opredeleniya sostava otrabotavshih gazov dvigatelej vnutrennego sgoraniya i issledovanie kapillyarnyh kolonok s dioksidom kremniya dlya razdeleniya smesey uglevodorodov. Smirnov Petr Vladimirovich. *Special'nost' 05.11.11. Hromatografiya i hromatograficheskie pribory. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk Moskva*. 2008.
7. Ved M. Feature Selection and Feature Extraction in Machine Learning: An Overview, 2018, 19, 7. Available at: <https://medium.com/@mehulved1503/featureselection-and-feature-extraction-in-machine-learning-an-overview-57891c595e96>.
8. Vasil'ev E. A., Prokopenko A. S. Metodika diagnostuvannya porshnevih dviguniv vnutrishn'ogo zgoryannya za rezul'tatami ih nepryamogo vidobrazhennya. Zbirnik naukovih prac' studentiv elektromekhanichnogo fakul'tetu. – Poltava. PoltNTU, 2015, 6, pp. 184-192.
9. Skalozub V. V. Avtomatyzovaniy ekspertnyi kompleks iz doslidzhennia ta prohnozuvannia parametrov sylovykh enerhetychnykh ustanovok lokomotyviv / V. V. Skalozub, O. B. Ochkasov, D. V. Kibets // *Informatsiino-keruichi systemy na zaliznychnomu transporti*. - 2020. - № 2. - S. 8-18.
10. Nakonechnij A. J., Get'man O. L. Metodi ta zasobi diagnostuvannya roboti dviguna avtomobilya za ocinkoyu jogo vibroakustichnih charakteristik. *Visnik Nacional'nogo universitetu "Lvivs'ka politehnika"*. Seriya: *Avtomatika, vimiryuvannya ta keruvannya*, 2018, 907, pp. 38-43.
11. ShHkregal' O. M., Limarenko V. O., Ril'skij D. O. Zastosuvannya suchasnih diagnostichnih metodiv ta zasobiv pidvishchennya tekhnichnogo rivnya mashin. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im. P. Vasilenka*, 2014, 145, 174-178.
12. Kolobov K. S. Doslidzhennya vplivu nespravnojest sistem ta mekhanizmiv dizelya na jogo ekologichni, energetichni pokazniki ta temperaturu vidprac'ovanih gaziv. *Vcheni zapiski Tavrijs'kogo nacional'nogo universitetu im. V.I. Vernads'kogo. Seriya: Tekhnichni nauki*, 2018, 29(68), 1(3), pp. 103-108.

Відомості про авторів (About authors)

Білик Сергій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, НТУ «ХПІ»; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-8813-5652; e-mail: serhii.bilyk@khp.edu.ua.

Bilyk Serhii – Associate Professor of Engineering Science, NTU “KhPI”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-8813-5652; e-mail: serhii.bilyk@khp.edu.ua.

Божко Едуард Валерійович – аспірант, НТУ «ХПІ»; м. Харків, Україна; e-mail: eduardbozhko7585@gmail.com.

Bozhko Eduard – graduate student, NTU “KhPI”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: eduardbozhko7585@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Білик С. Ю., Божко Е. В. Аналіз методів та способів діагностування двигунів внутрішнього згорання методами нерозбірного контролю. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 4 (10). С. 3-8. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.01.

Please cite this article as:

Bilyk S., Bozhko E. Analysis of methods and methods of diagnosing internal combustion engines by non-assembly control methods. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 4(10), pp. 3–8, doi:10.20998/2413-4295.2021.04.01.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Білик С. Ю., Божко Э. В. Анализ методов и способов диагностирования двигателей внутреннего сгорания методами неразборного контроля. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 4 (10). С. 3-8. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.01.

АННОТАЦІЯ Рассмотрены вопросы взаимодействия схем диагностирования двигателей методами неразборного контроля, выполнен анализ существующих методов и предложено использование комплексных подходов, повышающих надежность. Проанализированы методы неразборного диагностирования с моделированием разрегулирования систем в процессе эксплуатации и выявления начальных признаков неисправностей конструктивного и функционального характера. Проведенный анализ позволил определить прямые диагностические параметры и косвенные, и выделить наиболее эффективные - прямые методы диагностирования, среди которых, например, индцирование рабочего процесса в цилиндре двигателя. Анализ методов и способов диагностирования двигателей позволил прийти к выводу, что метод диагностирования по неравномерности частоты вращения коленчатого вала двигателя представляет собой перспективное направление в развитии методов неразборного диагностирования двигателей, использование которого позволит выполнить оценку технического состояния, выявлять и локализовывать остаточный ресурс и осуществлять мониторинг технического состояния двигателя.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания; методы неразборного контроля; диагностика двигателей; газовая хроматография; оценка технического состояния двигателя

Надійшла (received) 27.11.2021