

МЕТОДИ НЕРОЗБІРНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

Проводиться огляд методів безрозбірного діагностування тепловозного дизеля та аналіз методу діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчатого валу.

Ключові слова: дизель, методи діагностування дизеля, нерівномірність обертання колінчатого валу, діагностичні параметри

Одним з важливих заходів забезпечення і підтримки надійності технічних об'єктів є поступовий перехід від планово-попереджувальної системи ремонту рухомого складу до технічного обслуговування за фактичним технічним станом. Система утримання за фактичним станом передбачає виконання ремонтів по мірі необхідності, а не через регламентовані терміни які інколи не відповідають реальній потребі у ремонті і призводять або до непотрібного передчасного розбирання механізмів, або до масштабних ремонтних робіт, які можна було б попередити ліквідацією несправності ще до появи аварійно небезпечного пошкодження. За даними Фленнсбурського дослідного інституту, 56 % розібраних за плановим ремонтним строком судових дизелів МАН були передчасними [1]. Крім того, кожне розбирання та складання вузлів викликає штучний процес припрацювання, під час якого підвищується інтенсивність зносу деталей і, як наслідок, зменшує загальний ресурс дизеля.

Перехід до експлуатації рухомого складу за фактичним технічним станом можливий лише за наявності ефективних автоматизованих систем нерозбірного технічного діагностування, призначених для оцінки стану технічних об'єкта, пошуку несправностей і визначення їх причин, прогнозування залишкового ресурсу механізмів і визначення термінів профілактичного ремонту без зайвого розбирання. Визначення технічного стану вузлів дизеля без його розбирання дозволить значно скоротити витрати на його ремонт, тому що вартість ремонту приблизно на 50 % складається з витрат на розбирання та складання.

Дизель тепловоза є складною термодинамічною, гідравлічною та механічною системою, що виконує функцію силової установки і від його технічного стану багато в чому залежить своєчасне виконання плану перевезень та безпека руху. Тому особливу увагу необхідно приділити дизелю, як одному з головних об'єктів діагностування на тепловозі.

Метою нерозбірного діагностування є визначення розрегулювання систем дизеля у процесі експлуатації та виявлення початкових ознак несправностей конструктивного та функціонального характеру.

Існуючі методи нерозбірного діагностування дизеля можна поділити на дві групи [2]:

Функціональний – передбачає контроль обладнання без виведення його з експлуатації. В якості контрольних режимів призначають експлуатаційні режими роботи обладнання.

Тестовий – передбачає виведення об'єкта діагностування з експлуатації та контроль параметрів при подачі на нього спеціального зовнішнього впливу (спостерігають за реакцією).

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

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

- збір інформації на тепловозі з подальшою обробкою на ЕОМ, розташованої у депо;
- збір та обробка інформації безпосередньо на тепловозі (бортова система). Така система здатна визначати невідкладні несправності та інформувати про них локомотивну бригаду.

Діагностичні параметри можна поділити на прямі, які безпосередньо характеризують стан об'єкта та непрямі, що зв'язані функціональними залежностями з прямими. Їм відповідають прямі та непрямі методи діагностування.

Найбільш ефективними з точки зору визначення кореляційних залежностей є прямі методи діагностування, серед яких наприклад, індичювання робочого процесу у циліндрі дизеля. Але використання більшості з прямих методів як правило потребує повного або часткового розбирання дизеля або його вузлів для проведення необхідних вимірювань. Непрямі методи більш складні для побудови кореляційних зв'язків у порівнянні з прямими методами. Прикладами непрямих методів можуть слугувати вібраційний, акустичний, непряме індичювання 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. Переваги непрямих методів: відносна простота організації вимірювання та охоплення сигналів з декількох елементів діагностування одночасно, тобто інформація з одного каналу вимірювання здатна комплексно охарактеризувати технічний стан декількох елементів або систем дизеля.

При порівнянні індичювання та вимірювання нерівномірності обертання колінчастого

валу дизеля очевидно, що останній метод має суттєві переваги за інформативністю. Індичювання характеризує якість робочого процесу в окремому циліндрі, а вимірювання нерівномірності колінчастого валу являє собою комплексний показник, який характеризує роботу всіх систем, що забезпечують виконання робочого процесу всіма циліндрами дизеля.

Аналіз силових зв'язків у кривошипно-шатунному механізмі дизеля показує наявність впливу якості робочого процесу на девіацію колінчастого валу, тобто кореляційну залежність з індикаторним тиском. Індикаторний тиск діє на поверхню поршня, який передає більшу його частину через поршневий палець до шатуна. Останній передає зусилля на шийку колінчастого валу, де і виконується завершення перетворення поступового руху поршня у обертальне. Таким чином характер зміни індикаторного тиску можна прослідити у характері зміни обертового моменту колінчастого валу. Обертовий момент фізично зв'язаний з його кутовою швидкістю (рис. 1) та прискоренням.

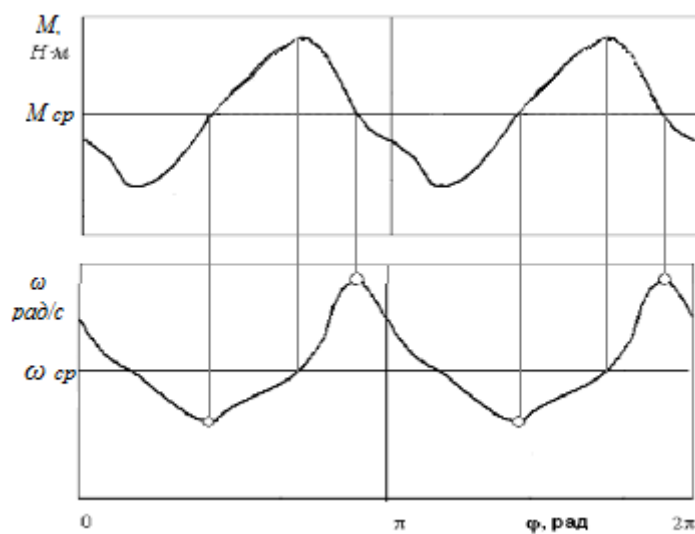


Рис. 1. Зміна обертаючого моменту M і кутової швидкості ω колінчастого валу за кутом обертання φ при рівномірній роботі циліндрів

Фізичний зв'язок нерівномірності кутової швидкості дозволяє відслідковувати вплив несправностей на індикаторний тиск через форму графіка нерівномірності кутової швидкості обертання колінчастого валу. На форму індикаторної діаграми впливають несправності паливної апаратури, циліндро-поршневої групи, газорозподільного механізму, системи наддування та випуску відпрацьованих газів. Одним з

суттєвих факторів, який визначає зміну тиску в циліндрі, є погіршення герметичності камери згоряння, що викликає зниження тиску стискання і, як наслідок, температури в кінці процесу стискання. Це є причиною погіршення розпилювання палива і зниження тиску спалаху. На рис. 2 приведена графічна інтерпретація впливу зносу верхнього компресійного кільця на форму графіка індикаторного тиску [2].

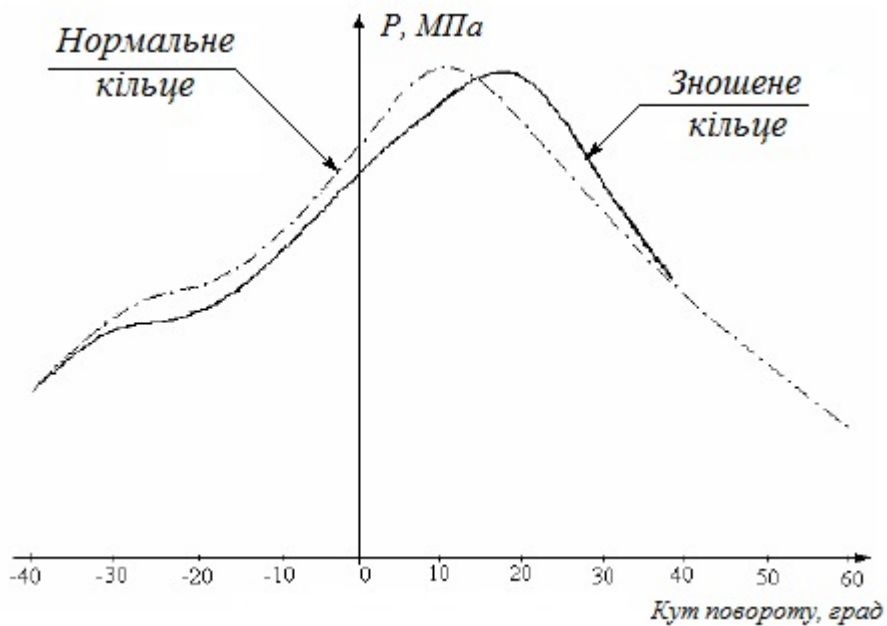


Рис. 2. Залежність індикаторного тиску від зносу верхнього компресійного кільця

Найбільший вплив на індикаторний тиск надають несправності паливної апаратури, тому що саме паливна апаратура забезпечує своєчасність і якість подачі палива у камеру згоряння. При несправності форсунки, наприклад при закоксуванні розпилюючих отворів, спостеріга-

ється зниження циклової подачі палива і, як наслідок, зменшення середнього індикаторного тиску. Порівняння індикаторних діаграм при нормальній роботі форсунки та при зменшенні циклової подачі наведено на рис. 3.

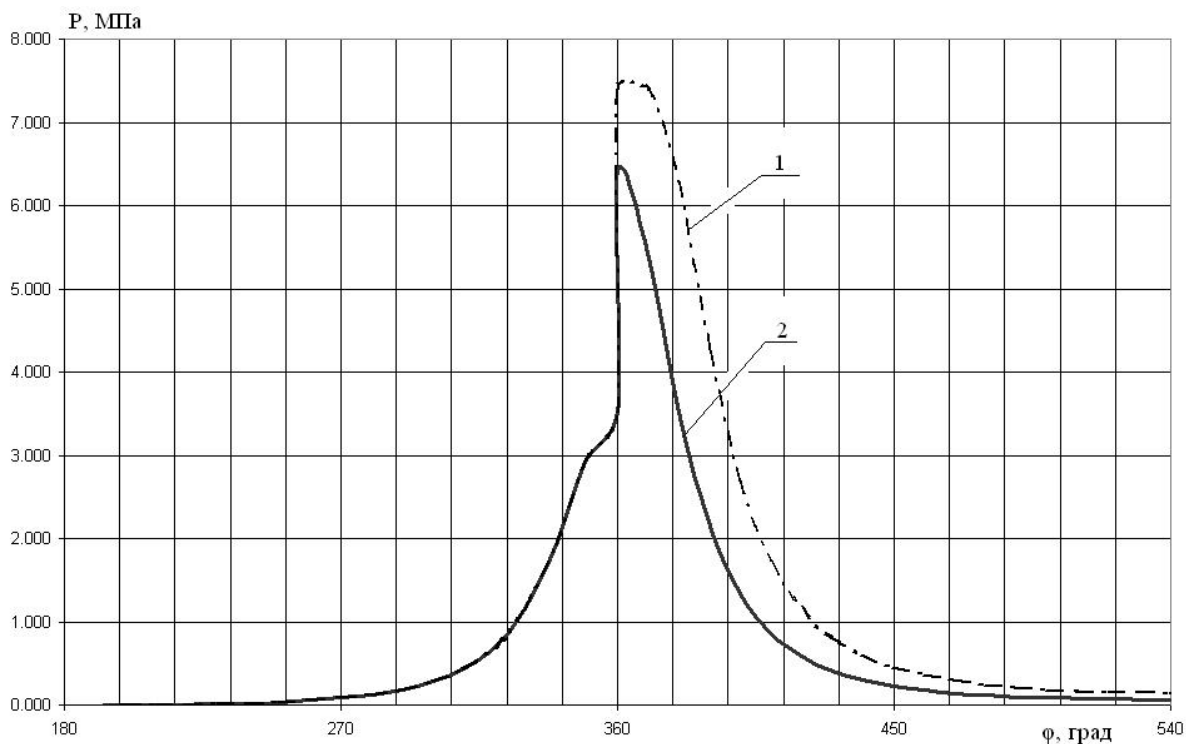


Рис. 3. Порівняння індикаторних діаграм при нормальній роботі форсунки (1) та при її несправності (2)

На основі наведених вище індикаторних діаграм змодельовано графічні залежності частоти обертання колінчастого валу (рис. 4), на яких

спостерігається характерне збільшення нерівномірності при несправності форсунки [3].

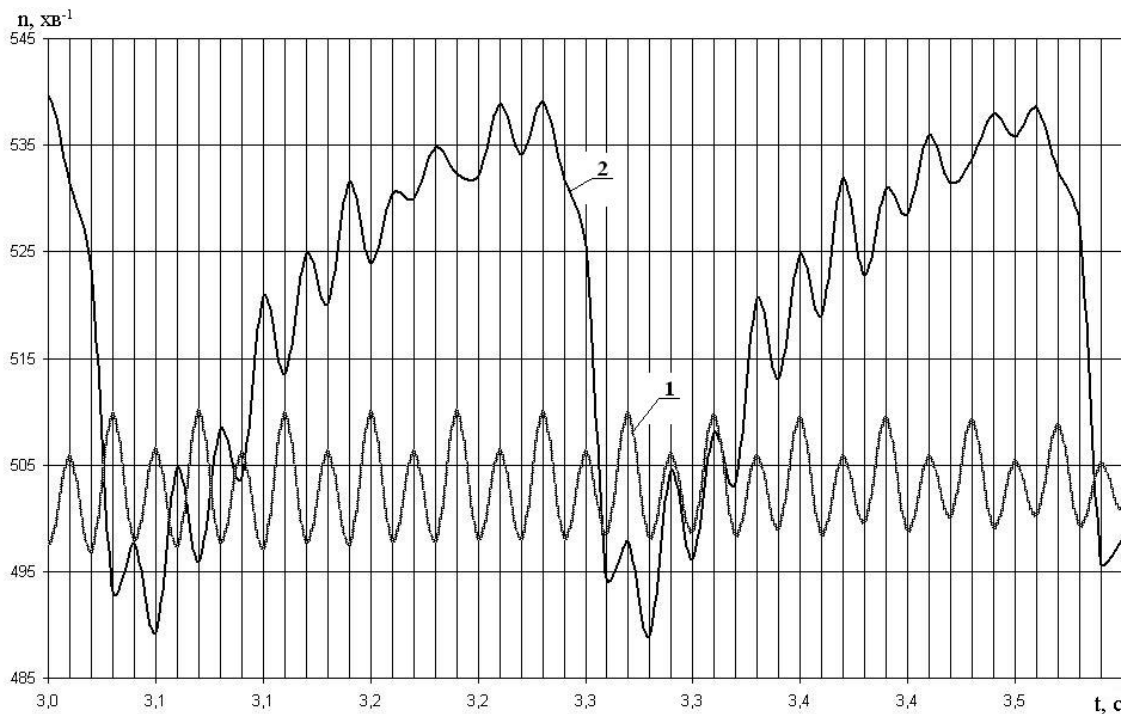


Рис. 4. Залежність частоти обертання колінчастого валу моделі дизеля від часу на режимі холостого ходу: 1 – нормальна робота всіх циліндрів, 2 – всі циліндри справні окрім першого правого, максимальний тиск згоряння якого знижено на 1 МПа внаслідок несправності форсунки

Отже девіація кутової швидкості обертання колінчастого валу надає змогу непрямим методом відслідкувати якість роботи кожного з циліндрів без вимірювання індикаторного тиску, а також визначити стан кривошипно-шатунного механізму без його розбирання.

У сучасних умовах розвиток ЕОМ дозволяє створювати бортові системи моніторингу, а також портативні системи експрес-діагностування, основою для яких може слугувати метод діагностування за нерівномірністю обертання колінчастого валу.

Аналіз наукових робіт показав, що станом на теперішній час було зроблено достатню кількість спроб використовувати нерівномірність кутової швидкості колінчастого валу для оцінки технічного стану дизеля, але єдиного підходу в технічних та теоретичних рішеннях не спостерігається.

У роботі [4] для вимірювання частоти обертання за цим методом використовували два оптичних дискових датчика для урахування компенсації крутильних коливань довгого колінчастого валу дизеля 10Д100. У більш пізній закордонній праці [5] для цього вимірювання використовують один ультразвуковий датчик швидкості, а крутильні коливання 20-циліндрового судового дизеля компенсують за допомогою більш досконалої математичної моделі. Таким чином, за допомогою лише одного дат-

чика та ЕОМ система здатна адекватно відслідковувати впливи на девіацію частоти обертання валу. Крім того доцільно використати у розробці системи діагностування елементи штучного інтелекту на основі нейронних мереж. Така система здатна автоматично визначати наявність, ступінь та причину несправності. У роботі [6] на дизель-генераторі з електронним керуванням подачі палива встановлено два датчики кутової швидкості колінчастого валу: біля маховика та з торцевої частини генератора. Датчики забезпечують зворотній зв'язок системи керування подачею палива для компенсування крутильних коливань колінчастого валу та зменшення нерівномірності частоти обертання. У роботі [7] представлена методика непрямого визначення потужності механічних витрат автомобільного двигуна шляхом вимірювання миттєвих кутових швидкостей колінчастого валу. Описана методика використовується для діагностування несправностей двигуна та для адаптивного керування мінімальною частотою обертання колінчастого валу на холостому ході за параметром потужності механічних витрат. До недоліків цього методу слід віднести неоднозначність визначення ступеня зносу корінних підшипників колінчастого валу. У роботі [8] розроблено метод діагностування дизельних двигунів вантажних автомобілів за нерівномірністю кутової швидкості колінчастого валу, а також методику

регулювання циклової подачі палива на основі розробленого методу діагностування.

Аналіз методів та способів діагностування ДВЗ дозволив дійти висновку, що метод діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу дизеля являє собою перспективний напрям в розвитку методів нерозбірного діагностування ДВЗ, використання якого дозволить виконувати оцінку технічного стану дизеля, виявляти і локалізувати несправності, прогнозувати залишковий ресурс та виконувати моніторинг технічного стану дизеля. Огляд наукових робіт з діагностування показав необхідність створення більш досконалих математичних моделей, вдосконалення розроблених методик та використання систем штучного інтелекту для підвищення достовірності діагнозів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шишкин, В. А. Анализ неисправностей и прототипирование поврежденных судовых дизелей [Текст] / В. А. Шишкин. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.
2. Кончаков, Е. И. Техническая диагностика судовых энергетических установок [Текст] : учеб. пособие / Е. И. Кончаков. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 112 с.
3. Боднар, Б. Є. Моделювання нерівномірності обертання колінчастого валу дизеля [Текст] / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв, О. Я. Децюра // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 18–25.
4. Марченко, Б. Г. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 1. Модели динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора [Текст] / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович // Техн. электродинамика. – 1998. – № 5. – С. 36–40.
5. Model-based diagnosis of large diesel engines based on angular speed variations of the crankshaft [Text] / M. Desbazeille [et al.] // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2010. – Vol. 24. – P. 1529–1541.
6. Östman, F. Active control of torsional vibrations of reciprocating engines [Text] / F. Östman, H. T. Toivonen // Control Engineering Practice. – 2008. – Vol. 16. – P. 78–88.
7. Иванов, Р. В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потер [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Иванов Роман Валерьевич; [Гос. образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский гос. техн. ун-т»]. – Волгоград, 2010. – 15 с.
8. Борщенко, Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Борщенко Ярослав Анатольевич. – Тюмень, 2003. – 175 с.

Надійшла до редколегії 05.12.2011.

Прийнята до друку 14.12.2011.

Б. Е. БОДНАРЬ, О. Б. ОЧКАСОВ, О. Я. ДЕЦЮРА, Д. В. ЧЕРНЯЕВ

МЕТОДЫ БЕЗРАЗБОРНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Проводится обзор методов неразборного диагностирования тепловозного дизеля и анализ метода диагностирования по неравномерности частоты вращения коленчатого вала.

Ключевые слова: дизель, методы диагностирования дизеля, неравномерность вращения коленчатого вала, диагностические параметры

B. Ye. BODNAR, O. B. OCHKASOV, O. Ya. DETSYURA, D. V. CHERNYAYEV

METHODS OF NONSEPARABLE DIAGNOSTICS OF DIESEL ENGINES IN OPERATION OF ROLLING STOCK

Methods of nonseparable diagnostics of diesel engine and an analysis of method for diagnostics on uneven angular speed of the crankshaft are reviewed.

Keywords: diesel, diesel diagnostic methods, uneven rotation of crankshaft, diagnostic parameters