

УДК 621.43:004.8:534.83

Слинько Г.І.¹, Тхор Є.А.²

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ

У сучасному автотранспорті підвищення надійності та ефективності експлуатації двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) безпосередньо пов'язане із впровадженням сучасних методів технічної діагностики. Традиційні підходи, що базуються на вимірюванні параметрів робочого процесу, таких як тиск у циліндрі, температура або склад відпрацьованих газів, потребують складного обладнання та часто є інвазійними. У зв'язку з цим актуальним напрямком є розвиток акустичних методів діагностики, які дозволяють здійснювати оцінку технічного стану двигуна без втручання у його конструкцію.

Акустичний сигнал, що генерується під час роботи ДВЗ, є складною суперпозицією механічних, газодинамічних та ударних процесів. Він містить інформацію про режими роботи двигуна, навантаження, а також можливі

відхилення у функціонуванні окремих вузлів. Це робить акустичний аналіз перспективним інструментом для діагностики.

До сучасних методів акустичної діагностики ДВЗ належать спектральний, часо-частотний та статистичний аналізи сигналів, а також методи машинного навчання.

Спектральний аналіз є одним із базових підходів, що широко використовується для дослідження акустичних сигналів. Він ґрунтується на застосуванні швидкого перетворення Фур'є для переходу від часової до частотної області. У результаті отримується амплітудно-частотний спектр сигналу, який дозволяє виділити основні гармонійні складові, пов'язані з частотою обертання колінчастого валу, роботою клапанного механізму, процесами згоряння та іншими джерелами шуму. Даний метод є ефективним для виявлення періодичних процесів, однак має обмежену інформативність у випадку нестационарних режимів роботи двигуна, зокрема при зміні навантаження або перехідних процесах [1–2].

Більш інформативним є часо-частотний аналіз, який реалізується, зокрема, у вигляді спектрограм. У цьому випадку сигнал розбивається на короткі часові інтервали, для кожного з яких обчислюється спектр, що дозволяє відстежувати зміну частотного складу сигналу у часі. Це особливо важливо для аналізу реальних умов роботи ДВЗ, де процеси мають нестационарний характер. Спектрограми дозволяють виявляти характерні «акустичні підписи» різних режимів роботи двигуна, включаючи зміну обертів, навантаження, а також появу додаткових шумових компонентів. Недоліком методу є залежність результатів від вибору параметрів вікна аналізу та значний обсяг обчислень [3].

Статистичні методи обробки сигналів передбачають виділення узагальнених характеристик акустичного сигналу, таких як середнє значення, дисперсія, енергія сигналу, коефіцієнти асиметрії та ексцесу. Дані ознаки можуть використовуватись як вхідні параметри для подальшої класифікації. Перевагою такого підходу є зменшення розмірності даних та можливість швидкої обробки сигналів. Водночас, агрегування інформації призводить до втрати частини корисних характеристик сигналу, що може негативно впливати на точність діагностики, особливо у складних режимах роботи двигуна.

Найбільш перспективним напрямком розвитку акустичної діагностики є методи машинного навчання та нейромережеві підходи. У цьому випадку акустичний сигнал або його представлення (наприклад, спектрограма) подається на вхід моделі, яка навчається розпізнавати закономірності між ознаками сигналу та відповідними режимами роботи двигуна. Нейронні мережі, зокрема згорткові (CNN), є ефективними для обробки спектрограм,

оскільки здатні автоматично виділяти інформативні ознаки без необхідності їх ручного задання [4].

Перевагою нейромережевих підходів є здатність працювати з великими обсягами даних та враховувати складні нелінійні залежності між параметрами сигналу. Це дозволяє виконувати класифікацію навіть у випадках, коли відмінності між сигналами є незначними, наприклад, при однакових обертах двигуна, але різних умовах навантаження. У таких умовах зміни проявляються переважно у варіаціях амплітуди, шумових складових та розподілу енергії сигналу, що складно виявити традиційними методами.

Разом з тим, застосування нейромереж потребує формування якісної навчальної вибірки, налаштування архітектури моделі та значних обчислювальних ресурсів. Незважаючи на це, саме даний підхід на сьогодні є найбільш перспективним для задач автоматизованої діагностики ДВЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Li Zengfang, He Yong, Xu Gaohuan. Engine Fault Diagnosis Model Based on Sound Intensity Analysis and Neural Network Integration // Journal of Agricultural Machinery. 2008. Vol. 39. № 12. P. 170-173.
2. Randall R. B. Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. Wiley, 2011. 448 p. DOI: 10.1002/9780470977668.
3. Boashash B. Time-Frequency Signal Analysis and Processing. Elsevier, 2016. 81 p.
4. Khan S., Yairi T. A review on the application of deep learning in system health management // Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. Vol. 107. P. 241–265. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.11.024.