Теоретичні основи розробки та експлуатації систем озброєння

UDC 629.083

DOI: 10.30748/soivt.2020.64.06

V. Voitov¹, Yu. Chepurnyi², A. Statygin²

¹*Petro Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv*

²*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

CONTACTLESS DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL STATE OF THE VALVE MECHANISM OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The aim of the study is to analyze the possibilities of developing a contactless diagnostics system of the technical state of the valve mechanism, which excludes mounting sensors on the body of the diagnosed equipment, by using a directional microphone as a sensitive element. In order to test the proposed hypothesis, a directional microphone designed to measure the level of acoustic noise, sound pressure level and to obtain amplitude-frequency characteristics in the range of 10-10 kHz has been used. In the work, an experimental determination of the spectrum of the valve mechanism acoustic vibration and its comparison with the spectrum obtained from an accelerometer has been carried out; the principle of building an automated diagnostic system using a directional microphone has been formulated.

Keywords: *acoustic vibration, diagnostics, directional microphone, monitoring, spectral analysis.*

Introduction

General Problem Statement. Using the example of diagnostics of the technical state of diesel power units, we consider the formation of the vibroacoustic characteristics of an internal combustion engine and the features of an extended analysis of vibration parameters, as well as identification of typical equipment defects.

Analysis of vibration parameters is the only non-destructive testing method that makes it possible to define the actual technical state of a dynamically operating unit without lingering downtime. That is why vibration diagnostics is a mandatory procedure when implementing industrial safety expertise of technical devices. Today, there are many ways to measure and to analyze the vibration parameters of process equipment. They can be divided into two groups: contact and contactless methods. Contact methods involve direct contact of the sensor with the diagnostic object. When using the contactless method, the sensor is placed at a distance from the object. The technical literature describes many systems for monitoring and diagnosing the technical state of technological units, using both contact and contactless methods.

Analysis of the Recent Research and Publications. The work [1] considers the principle of constructing systems for continuous monitoring and diagnostics of the technical state of the rotor equipment of metallurgical production units.

The work [2] describe vibration diagnostics

systems for electric motors and rotary equipment. In the work [3], the principle of constructing a system for diagnosing the technical state of gearboxes is discussed. In the work [4], diagnostic characters of defects in bearings and gearboxes are analyzed. The work [5] gives an overview of the experimental operation of the vibration control and vibration diagnostics system for various equipment in the metallurgical industry. The work [6] describes a radio-wave contactless method for measuring the parameters of movement and vibration of equipment. In the work [7], a system for diagnosing and detecting defects in rolling bearings and defects in the stator of a single-phase motor at an early stage of their development was developed using acoustic vibration.

Aim of the Research. Contact methods of vibration diagnostics are not always possible to apply due to the fact that there is a possibility to install sensors directly on the object of diagnostics not on all units, or the severe environment for the equipment can lead to a quick failure of the sensors [8]. Moreover, if the task is to diagnose a new mechanism that is under manufacturer's warranty, mounting the sensors by welding or drilling will void the warranty. Therefore, contactless vibration measurement methods, eliminating the described disadvantages, are preferable when supplementing a stationary diagnostic system or developing a new automated one for diagnosing the technical state of equipment by its acoustic vibration [9–12].

Main part

Experimental measurement of the acoustic vibration spectrum with a directional microphone

Due to the fact that vibration, by which it is possible to diagnose defects in a technical system, is of acoustic nature, it is proposed to use a directional microphone as a sensitive element of the diagnostic system, which has an appropriate degree of protection when working in noisy conditions. The authors have conducted an experiment to obtain the vibration spectrum of the valve mechanism using a laser directional microphone developed by them. A laser directional microphone is designed to measure acoustic noise level, sound pressure level and to obtain an amplitude-frequency response in the sound range from 10 Hz to 20 kHz. The frequencies of the defects of the valve mechanism are in the high frequency range of 4–5 kHz. The laser microphone developed has a wide dynamic measuring range of 70 dB and a high ultimate SPL of 150 dB. When the emitted beam is reflected from the diagnosed surface covered with a reflective spray consisting of a water-based polymer and a reflective material, it is modulated with an audio frequency. The reflected modulated beam hits the photodetector. After special processing (demodulation), the signal from the photodetector is amplified and fed to the input of the sound card of a personal computer. In order to take measurements, the laser beam of the directional microphone should be directed at the cover of the valve mechanism of the internal combustion engine. The microphone is connected with a USB cable to a computer or a laptop with running SpectraLAB software to read data from the laser directional microphone and to perform subsequent calculations, such as identifying its spectrum from the signal (Fig. 1). SpectraLAB automatically calculates the direct spectrum of acoustic vibration measured by a microphone over the entire frequency range from 10 Hz to 20 kHz.

Fig. 1. SpectraLAB software screen

In order to carry out the experiment, we used a laboratory setup consisting of the valve mechanism block of the internal combustion engine (Fig. 2).

Fig. 2. Experimental setup diagram

The signal, which is measured with the laser directional microphone 4, is fed to the input of the preamplifier 5. After amplification, the signal is filtered with a low-pass filter 6. This filter is necessary to exclude vibration components with frequencies higher than the sampling frequency from entering the adaptation channel. Also, the diagram (Fig. 2) shows a frequency sound generator 3 and an external source of acoustic vibration 2.

On the valve cover of the valve mechanism of the internal combustion engine, an accelerometer T77 manufactured by SCHENCK is installed with a magnet and connected to a VIBROMETER 25 of the same manufacture. The vibrometer reads the time signal from the sensor and calculates the direct spectrum in a given frequency range and with a given resolution (Fig. 3b).

This made it possible to compare the spectra of the measured vibration obtained in two different ways: by a contact method—using a standard accelerometer and a contactless method—using the laser directional microphone (Fig. 3, a).

a

b

Fig. 3. Vibration spectra obtained by:

- a – non-contact methods;
- b – contact methods

So, in the spectrum of the acoustic signal, measured by a directional microphone, one can distinguish the frequency of natural oscillations of the

exhaust valve, at which the vibration amplitude is increased: this is the frequency of 4,630.12 Hz, as well as low-frequency rotor vibrations. Increased rotor vibration causes imbalance in the rotor of the engine.

In the spectrum of the acoustic signal measured by the accelerometer, in addition to the natural frequency of the exhaust valve, insignificant low-frequency rotor vibrations can be distinguished.

Thus, we can conclude that when developing a stationary diagnostic system using a laser directional microphone, a smaller number of microphones can be used to obtain the same completeness of diagnostic information compared to the number of accelerometers.

Diagnostic principle of the valve mechanism using a laser directional microphone

Using a laser directional microphone, it is possible to build a system for monitoring and controlling the technical state of automotive equipment, the principle of which is based on measuring the overall level of acoustic noise. However, the most promising is the use of a laser directional microphone for the problem of diagnosing the technical state of equipment, using information obtained by decomposing the acoustic vibration emitted by the diagnostic object into a spectrum.

Exhaust valve defects, as well as other defects of the valve mechanism, have characteristic frequencies in the spectrum by which these defects can be diagnosed. Fig. 4 illustrates the principle of diagnosing exhaust valve defects using the acoustic vibration spectrum.

Fig. 4. The principle of diagnosing exhaust valve defects by the spectrum of acoustic vibration

First, we need to find all the defect frequencies for the diagnosed mechanism.

This can be done by the modal analysis of the 3D model of the exhaust valve in the ANSYS program (Fig. 5).

Defect rates are unique to different mechanisms.

After the frequencies of all possible defects have been calculated, the diagnostic system should wait for $f_{\text{defect}} \pm \Delta f$ the occurrence of a defect within the frequency window.

The value Δf is chosen empirically depending on

the possible variation in the engine speed.

Fig. 5. 3D-model of the exhaust valve in ANSYS software

If the engine speed is constant, then it is necessary to select the size of the frequency window based on the range of possible changes in the engine speed under conditions of load changes that occur during its operation.

Further, within a given frequency window, it is necessary to determine the maximum amplitude of acoustic vibration and to compare it with two threshold values corresponding to the defect development degree. The defect development degree can be illustrated, according to the traffic light principle: green color (equipment is in a good technical state), yellow one (warning), red one (danger). The main vibration threshold value – the limit value (beginning of the red zone) – corresponds to a developed defect, at which further operation of the equipment is undesirable and can lead to an accident. The second, additional, threshold value of vibration (the beginning of the yellow zone) corresponds to a situation when the defect is sufficiently developed, but the operation of the equipment is still allowed until it is stopped for scheduled repair.

Threshold values are determined empirically, depending on the power of the installation and data on vibration levels for similar equipment.

When the amplitude of acoustic vibration falls within the frequency window into one of the three zones (green, yellow, red), the diagnostic system should conclude that there is a defect in one or another unit and the degree of its development.

Conclusions

The paper proposes a method of contactless diagnostics of the technical state of the valve mechanism of the internal combustion engine on acoustic vibration using a laser directional microphone. The use of a directional microphone will eliminate the disadvantages of stationary diagnostic systems associated with the installation of vibration sensors directly on the object, as well as supplement the diagnostic system if it is impossible to install accelerometers on the equipment.

The paper shows that the main types of exhaust valve defects of the valve mechanism of the internal combustion engine can be diagnosed using a directional microphone. The principle of diagnostics of the technical state of the valve mechanism using a directional microphone has been formulated.

References

1. Development and implementation of intelligent systems for diagnosing the technical condition of electrical equipment / S.I. Lukyanov, A.S. Karandaev, S.A. Evdokimov, A.S. Sarvarov, M.Ju. Petushkov, V.R. Khrumshin // Вестник Магнитогорского государственного университета им. Г.И. Носова. – 2018. – № 4(16). – P. 129-136.
2. Stepanov P.I. Integrated current and vibration diagnostics of electromechanical systems / P.I. Stepanov, S.V. Lagutkin, Ju.R. Nikitin // Intelligent systems in production. – 2013. – № 2(22). – P. 160-165.
3. Genkin M.D. Vibration in Engineering / M.D. Genkin. – M.: Mechanical engineer, 1981. – 496 p.
4. Kluev V.V. Non-Destructive control / V.V. Kluev. – M.: Mechanical engineer, 2005. – 829 p.
5. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting [Electronic resource] / M.L. Adams // Taylor & Francis Group, 2010. – 476 p. – Available at: <https://www.twirpx.com/file/1348039/>.
6. ISO 10816-6:1995/AMD 1:2015. Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW – Amendment 1 [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/66034.html>.
7. VDI 3838:2004 – 05. Messung und Beurteilung mechanischer Schwingungen von Hubkolbenmotoren und -kompressoren mit Leistungen über 100 kW - Ergänzung von DIN ISO 10816-6 [Electronic resource]. – Available at: <https://www.beuth.de/technische-regel/vdi-3838/69137284>.
8. Chepurnyi Yu.V. The method of controlling the valve mechanism of the engine for exhaust pulsation experimental study / Yu.V. Chepurnyi, O.M. Leonenko // International Journal on Emerging Technologies. – 2020. – № 3(11). – P. 91-95.
9. Войтов В.А. Метод віброакустичного дослідження клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання / В.А. Войтов, Ю.В. Чепурний // Збірник наукових праць. – 2020. – № 2. – P. 72-74. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.20>.
10. Експериментальне дослідження віброакустичним методом клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання / К.Г. Яценко, М.О. Блещенко, Г.Л. Коростильов, Ю.В. Чепурний // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 1(61). – С. 177-182. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.21>.
11. Чепурний Ю.В. Метод діагностування газотурбінного двигуна по прямому спектру вібрації / Ю.В. Чепурний, Б.З. Мартинець // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 2(60). – С. 153-158. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.60.19>.
12. Чепурний Ю.В. Метод виявлення резонансів у роботі авіаційних силових установок з використанням каскадного спектрального аналізу / Ю.В. Чепурний, Б.З. Мартинець // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 1(57). – С. 42-47. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.57.06>.

Надійшла до редколегії 01.10.2020

Схвалена до друку 17.11.2020

Відомості про авторів:

Войтов Віктор Анатолійович

доктор технічних наук професор
завідувач кафедри
Харківського національного технічного університету
сільськогосподарства ім. П. Василенка,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4661-115X>

Чепурний Юрій Васильович

начальник навчальної лабораторії кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2615-1312>

Статигін Артур Віталійович

старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7644-7552>

Information about the authors:

Viktor Voytov

Doctor of Technical Sciences Professor
Head of the Department
of Petro Vasilenko National
Technical University of Agriculture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4661-115X>

Yurii Chepurnyi

Chief of Research Laboratory
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2615-1312>

Artur Statygin

Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7644-7552>

БЕЗКОНТАКТНА ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КЛАПАННОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

В.А. Войтов, Ю.В. Чепурний, А.В. Статигін

Сьогодні існує безліч способів вимірювання та аналізу параметрів вібрації технологічного обладнання. Їх зазвичай поділяють на дві групи: контактні і безконтактні методи. Контактні методи передбачають безпосередній контакт датчика з об'єктом діагностування. Під час застосування безконтактного методу, датчик перебуває на відстані від об'єкта. У технічній літературі описано безліч систем моніторингу і діагностики технічного стану технологічних агрегатів, що використовують як контактні, так і безконтактні методи. Метою цього дослідження є аналіз можливостей розробки системи безконтактної діагностики технічного стану клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання, що виключає монтаж датчиків на корпус обладнання, що діагностується, за рахунок застосування в якості чутливого елемента лазерного спрямованого мікрофона. Для перевірки висунутої гіпотези був виготовлений та використаний авторами лазерний спрямований мікрофон, що призначений для вимірювання рівня акустичного шуму, рівня звукового тиску й отримання амплітудно-частотних характеристик в діапазоні 10-10 кГц. У роботі виконані: експериментальне визначення спектру власних коливань акустичної вібрації клапанного механізму (4630,12 Гц) та низькочастотні роторні коливання, порівняння його зі спектром, що отриманий із акселерометра віброметра VIBROMETR 25, проведено модальний аналіз 3D-моделі випускного клапана в програмі ANSYS і розрахунок усіх можливих частот дефектів для цього вузла, ступінь розвитку дефекту і основне порогове значення вібрації, при якому подальша експлуатація обладнання є не бажаною і може привести до аварії. В статті сформульований принцип побудови автоматизованої системи діагностики за допомогою лазерного направленного мікрофона.

Ключові слова: діагностика, акустична вібрація, моніторинг, лазерний направлений мікрофон, спектральний аналіз.

БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.А. Войтов, Ю.В. Чепурной, А.В. Статыгин

Сегодня существует множество способов измерения и анализа параметров вибрации технологического оборудования. Их обычно разделяют на две группы: контактные и бесконтактные методы. Контактные методы предполагают непосредственный контакт датчика с объектом диагностирования. При применении бесконтактного метода датчик находится на расстоянии от объекта. В технической литературе описано множество систем мониторинга и диагностики технического состояния технологических агрегатов, использующих как контактные, так и бесконтактные методы. Целью данного исследования является анализ возможностей разработки системы бесконтактной диагностики технического состояния клапанного механизма двигателя внутреннего сгорания, исключающий монтаж датчиков на корпус диагностируемого оборудования, за счет применения в качестве чувствительного элемента лазерного направленного микрофона. Для проверки выдвинутой гипотезы был использован лазерный направленный микрофон, предназначенный для измерения уровня акустического шума, уровня звукового давления и получения амплитудно-частотных характеристик в диапазоне 10-10 кГц. В работе выполнены: экспериментальное определение спектра акустической вибрации клапанного механизма и сравнение его со спектром (4630,12 Гц), полученного с акселерометра, произведен модальный анализ 3D-модели выпускного клапана в программе ANSYS и расчет всех возможных частот дефектов для данного узла, степень развития дефекта и основное пороговое значение вибрации, сформулирован принцип построения автоматизированной системы диагностики с помощью лазерного направленного микрофона.

Ключевые слова: диагностика, акустическая вибрация, мониторинг, лазерный направленный микрофон, спектральный анализ.