

СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.43.038.772

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

Д. В. Кирдищев

*Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино,
Российская Федерация*

Применение виброакустического компьютерного измерительного комплекса позволяет во время работы дизельного двигателя получить спектры вибрации в диапазоне от 5 до 500 Гц топливной аппаратуры при различных режимах работы. Рассмотрены практические результаты технического диагностирования топливных форсунок с использованием виброакустических характеристик. Приведен способ расшифровки спектров вибрации форсунок во время работы дизеля. При достоверной статистике дефектов и их признаков обеспечивается высокая надежность диагностирования и прогнозирования технического состояния различного оборудования.

Ключевые слова: топливная аппаратура, диагностирование, дизель, метод последовательного анализа, виброакустические характеристики.

PROBLEM QUESTIONS OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF FUEL EQUIPMENT OF DIESEL ENGINES DURING OPERATION

D. V. Kirdishchev

Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Russian Federation

The use of a vibroacoustic computer measuring system makes it possible to obtain vibration spectra in the range from 5 to 500 Hz of fuel equipment during operation of a diesel engine under various operating modes. The article discusses the practical results of technical diagnostics of fuel injectors using vibroacoustic characteristics. The principle of operation of a computer vibroacoustic measuring complex is presented. A method for decoding the vibration spectra of injectors during diesel operation is given. With reliable statistics of defects and their signs, high reliability of diagnosing and predicting the technical condition of various equipment is ensured.

Keywords: fuel equipment, diagnostics, diesel, sequential analysis method, vibroacoustic characteristics.

Топливная аппаратура дизельного двигателя представляет собой сложный узел, в состав которого входит множество прецизионных элементов с точно притертыми поверхностями, работающих в условиях с высокими механическими, гидродинамическими и тепловыми нагрузками. Низкий уровень технического обслуживания топливной аппаратуры приводит к большим потерям дизельного топлива [1, 2].

Средством, повышающим качество и эффективность технического обслуживания, ремонта и эксплуатации топливной аппаратуры (ТА), является техническое диагностирование. Техническое диагностирование, обеспечивая достоверное прогнозирование остаточного ресурса, повышает надежность ТА, что необходимо для нормальной эксплуатации дизеля и планирования его работы.

10 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Виброакустический метод диагностирования основан на регистрации параметров упругих колебаний, возникающих в механизмах при соударении деталей во время функционирования.

Датчик виброускорения при помощи магнита крепился по очереди к корпусу каждой форсунки дизеля во время его работы. Сигнал с вибродатчика через усилитель заряда поступает в компьютер. После записи и преобразования Фурье на экране компьютера выводится изображение виброакустического сигнала во время работы форсунки в координатах «ось ординат – виброускорение», дБ, «ось абсцисс – частота вибрации», Гц (рис. 1).

Для получения экспериментального материала было обследовано более 10 дизельных двигателей с разным сроком эксплуатации: новые тракторы, тракторы с наработкой 300 ч работы и тракторы с временем наработки более 8000 ч без капитального ремонта.

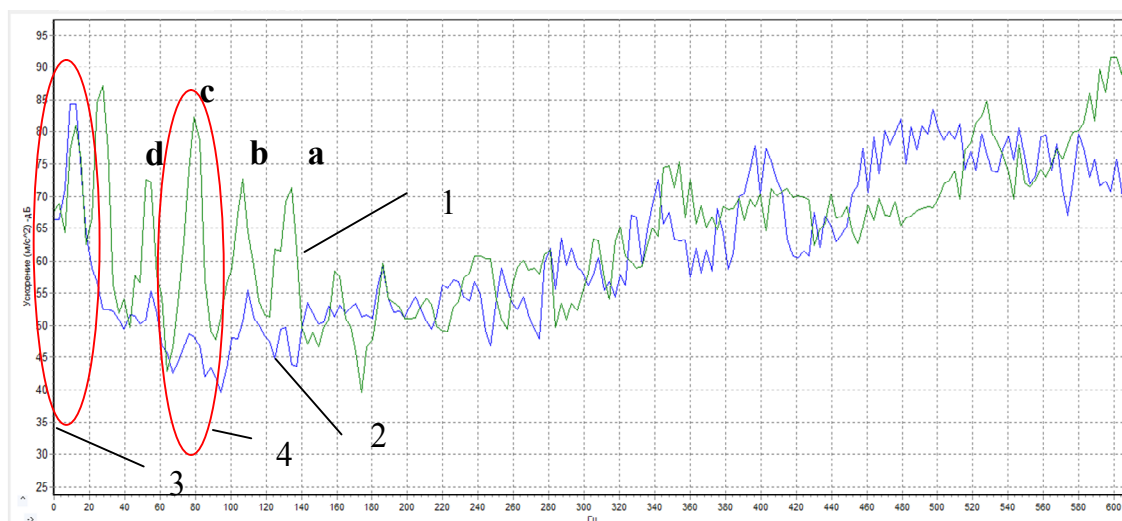


Рис. 1. Спектр вибрации дизельных форсунок Д-240 и ЯМ 238нд5 на 700 об/мин:

1 – зеленая кривая – первая форсунка двигателя Д-240 – 518 моточасов;

2 – синяя кривая – первая форсунка двигателя ЯМ 238 – 3 моточаса;

d – 48 Гц; c – 80 Гц; b – 115 Гц; a – 137 Гц

Вращение коленчатого вала через шестеренки передается топливному насосу при соотношении $n_{\text{нас}}/n_{\text{вал}} = 2$, т. е. за один оборот вала топливного насоса коленчатый вал делает два оборота. Топливный насос высокого давления создает давление 150–170 кг/см². Топливо под давлением через штуцер сетки по каналу проходит в кольцевую канавку распылителя и по трем каналам поступает в полость форсунки [5]. Форсунка испытывает первый гидроудар – a . Проведенные исследования показали, что уровень вибрации на частоте 137 Гц характеризует техническое состояние топливного насоса высокого давления. Топливо снизу давит на коническую поверхность иглы, а когда усилие от давления превышает силу затяжки пружины, игла поднимается. Уровень вибрации на частоте 115 Гц характеризует упругость пружины форсунки, при перемещении иглы вверх, заплечико иглы ударяет в торец корпуса форсунки. Это второй удар в корпусе форсунки – b .

Топливо через сопловое отверстие впрыскивается в камеру сгорания, а в камере сгорания происходит воспламенение топлива – детонация. Это третий удар в кор-

пуге форсунки – *c*. После поступления топлива в камеру сгорания игла под действием пружины возвращается в исходное состояние. Это четвертый удар в корпусе форсунки – *d*. Величина вибрации форсунки на частоте 48 Гц зависит от технического состояния пружины форсунки, а также от износа посадочного конуса иглы.

При 700 об/мин оборотная частота $f_0 = 700/60 = 11,66$ Гц (рис. 1, позиция 3). Частота 23,3 Гц – это вторая оборотная частота. Остальные частоты не рассчитываются, а определены эмпирически на основании большого количества экспериментов: $f_a = 11,76 \cdot n_{\text{вал}}$ (137 Гц); $f_b = 9,176 \cdot n_{\text{вал}}$ (107 Гц); $f_c = 6,86 \cdot n_{\text{вал}}$ (80 Гц); $f_d = 4,72 \cdot n_{\text{вал}}$ (55 Гц).

Частота $f_c = 80$ Гц является частотой детонации в дизеле. Причем эта частота зависит от частоты вращения каленвала и не зависит от количества цилиндров. Двигатель Д-240 имеет 4 цилиндра, а двигатель ЯМ 238 – 8 цилиндров (рис. 1, позиция 4).

С точки зрения физики работы форсунки время T_a – топливо находится в ТНВД; T_b – топливо поступило в форсунку; T_c – топливо поступило в цилиндр; T_d – время опускания запорной иглы. Следовательно, $T_a < T_b < T_c < T_d$.

Известно соотношение частоты и времени периода $f_i = 1/T_i$, тогда $f_a > f_b > f_c > f_d$. Отсюда можно определить время срабатывания форсунки: $T_a = 1/137 = 0,0073$; $T_b = 1/107 = 0,009$; $T_c = 1/80 = 0,0125$; $T_d = 1/55 = 0,018$.

Дальнейшее развитие теории вибродиагностирования топливной аппаратуры изложено в статьях [2, 3]. Научная новизна выполненных исследований подтверждена патентом Российской Федерации [4]. Проведенные экспериментальные исследования показали, что по спектру вибрации можно составить диагностические модели дизельных двигателей Минского, Ярославского тракторных заводов и фирмы *Deutz*. Крайне сложно диагностировать двигатели фирмы *Deutz*. Встроенная система диагностирования дизеля фирмы *Deutz* контролирует только электронную часть топливной аппаратуры, а не состояние форсунки.

Л и т е р а т у р а

1. Грунтович, Н. В. Вибродиагностирование топливных форсунок на работающем двигателе / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – Т. 2, № 4 (13). – С. 47–55.
2. Грунтович, Н. В. Техническое диагностирование форсунок дизелей во время их работы / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 нояб. 2017 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2017. – 457–460 с.
3. Грунтович, Н. В. Разработка диагностической модели дизельных форсунок по результатам вибродиагностирования / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2017. – № 2 (69). – С. 18–24.
4. Способ определения технического состояния форсунок на работающем двигателе : пат. 2667738 Рос. Федерация, МПК С 2 / Грунтович Н. В., Грунтович Н. В., Кирдищев Д. В. – 24.09.18.