

УДК 629.11: 621.436: 511.3

В.А. Аллилуев, В.Д. Попов, Ю.Н. Сидыганов, Г.В. Каледин

Сидыганов Юрий Николаевич родился в 1959 г., окончил в 1984 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор, декан механико-машиностроительного факультета Марийского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ в области разработки методов, средств и технологии диагностирования машин и оборудования.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Приведены результаты научных исследований в области диагностирования двигателей внутреннего сгорания по параметрам вибрации.

безразборные методы, электронные средства диагностирования, двигатель внутреннего сгорания, индикаторная диаграмма.

В лесной промышленности для погрузки и транспортировки древесины широко используют машины, оборудованные двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Для улучшения топливно-экономических, экологических и ресурсных показателей ДВС разрабатывают и внедряют прогрессивные безразборные методы и электронные средства технического диагностирования машин, позволяющие исключить вмешательство в работу механизмов и систем. Практическую значимость представляет диагностирование энергетических показателей и технического состояния ДВС по параметрам вибрации и деформации головки блока цилиндров, позволяющее получить информацию о протекании рабочего процесса в цилиндрах [1, 2].

При работе двигателя и воздействии газов на стенки цилиндра возникают динамические температурные напряжения на поверхности камеры сгорания.

Это создает концентрические волны напряжения, доходящие до преобразователей, установленных на наружной поверхности блока, которые определяют по выражению [3]

$$\lambda + \mu \frac{dU}{dr} + \mu \frac{d^2U}{dz^2} + \mu \frac{d}{dr} \left(\frac{dU}{dr} + \frac{U}{r} \right) = 0, \quad (1)$$

где λ , μ – постоянные Ламе;

U – перемещение точки тела в направлении радиуса;

z – координатная ось движения поршня;

r – радиальная координатная ось.

Решая уравнение (1), можно определить нормальные напряжения в стенке цилиндра по радиусу (σ_{rr}):

$$\sigma_{rr} = P_{\text{г}} \left[\frac{r_0^2}{R_0^2 - r_0^2} - \frac{r_0^2 R_0^2}{r^2 (R_0^2 - r_0^2)} \right], \quad (2)$$

где R_0, r_0 – внешний и внутренний радиусы цилиндров;

$P_{\text{г}}$ – давление газов в цилиндре.

С ухудшением технического состояния топливоподающей системы изменяются параметры давления газов в цилиндре при сгорании топлива и соответственно напряжения в стенке цилиндра.

При установке датчика на поверхности блока часть волны сжатия, воздействуя на его чувствительный элемент, генерирует электрический импульс, изменяющийся пропорционально динамическим напряжениям.

Зависимость между давлением газов в цилиндре $P_{\text{г}}(t)$ и динамическим напряжением $\sigma(t)$, регистрируемым датчиком, имеет вид [3]

$$\sigma(t) = (1 - I) K_{\text{м}} P(t), \quad (3)$$

где I – коэффициент прохождения волны сжатия к датчику;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности двигателя.

Динамические напряжения приводят к возникновению упругих волн деформаций и виброперемещений в головке блока цилиндров двигателя. Колебательный процесс описывается дифференциальным уравнением [8]

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t), \quad (4)$$

где m, c, k – соответственно матрицы обобщенных масс, коэффициентов демпфирования и жесткости;

$P(t)$ – сила давления газов.

Перемещения головки блока цилиндров, возникающие под воздействием ударного импульса расширяющихся газов в цилиндре двигателя ($x(t)$), по своей физической природе отражают изменения давления газов в цилиндрах двигателя при протекании рабочего процесса. Для получения диагностического сигнала, амплитуда которого изменяется пропорционально изменению давления газов в цилиндре дизеля, выходной сигнал виброускорения акселерометра $\frac{d^2 x}{dt^2}$ дважды интегрируется приборным

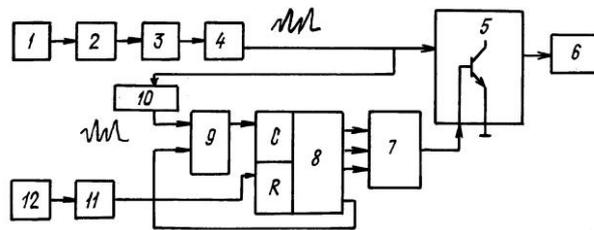
путем в соответствии с выражением (4) с частотой и фазовой селекцией [7].

Диагностический прибор ДПИ для регистрации индикаторных параметров ДВС виброакустическим методом [4] (рис.1) содержит последовательно соединенные части: преобразователь давления 1, усилитель 2, интегратор 3 и фильтр низких частот 4, а также схему выделения моментов экстремумов 10, первую логическую схему ИЛИ с первым и вторым выходами

9, датчик подъема иглы форсунки 12, усилитель-формирователь импульсов 11, цифровое отсчетное устройство со счетным и сбросовым входами и первым, вторым и третьим выходами 8, вторую логическую схему ИЛИ с первым и вторым входами 7, транзисторный ключ 5 с информационным и управляющим входами и регистрирующее устройство 6.

Выход фильтра 4 низких частот соединен с информационным входом транзисторного ключа 5 и входом схемы 10 выделения моментов экстремумов, выход которой соединен с первым входом первой логической схемы ИЛИ 9. Выход первой логической схемы ИЛИ 9 соединен со счетным входом цифрового устройства 8, сбросовый вход которого – с входом усилителя-формирователя 11, вход последнего – с датчиком 12 подъема иглы форсунки. Третий выход цифрового отсчетного устройства 8 соединен со вторым входом первой логической схемы ИЛИ 9, а первый и второй входы – с первым и вторым входами второй логической схемы ИЛИ 7. Выход второй логической схемы ИЛИ 7 соединен с управляющим входом транзисторного ключа 5, к выходу которого подключено регистрирующее устройство 6.

Рис. 1. Структурная схема диагностического прибора



Устройство работает следующим образом. В зависимости от типа диагностируемого цилиндра задают коэффициент усиления усилителя 2. Преобразователь давления 1 при помощи динамометрической трубки устанавливают на торец центральной шпильки крепления головки блока цилиндров. Под действием изменяющегося давления газов в камерах сгорания двигателя возникают упругие колебания головки блока, передающиеся на шпильку и преобразователь давления 1. На форсунку цилиндра, по порядку работы предшествующего диагностическому, устанавливают датчик подъема иглы 12. Импульс с датчика 12, соответствующий углу опережения впрыска, т. е. подаваемый до достижения диагностическим сигналом максимального значения, через усилитель-формирователь 11 поступает на сбросовый вход цифрового отсчетного устройства 8, устанавливая на его первом и втором выходах значение 0. Теперь блок готов к работе. Диагностический сигнал с преобразователя 1 давления, пройдя через усилитель 2, интегратор 3 и фильтр 4 низких частот с диапазоном пропускания, равным частоте собственных колебаний поверхности головки блока цилиндров, поступает на схему 10 выделения моментов экстремумов. После прихода второго и третьего выделенных импульсов моментов экстремумов на счетный вход цифрового отсчетного устройства 8 через логическую схему ИЛИ 9 на

первом и втором выходах цифрового отсчетного устройства появляется I , проходящая через логическую схему ИЛИ 7 и открывающая транзисторный ключ 5. При этом выделенный диагностический сигнал с фильтра 4 низких частот проходит на регистрирующее устройство 6. С приходом четвертого импульса экстремума со схемы выделения экстремума на входе логической схемы ИЛИ 9 устанавливается 0, что препятствует поступлению импульсов на счетный вход цифрового отсчетного устройства 8. Одновременно закрывается транзисторный ключ 5, который закорачивает входную шину на корпус, и сигнал с фильтра 4 низких частот не проходит на регистрирующее устройство 6. Измерение окончено, и устройство ждет импульса начала отсчета с датчика 12.

Получение равноценной информации о протекании рабочего процесса от каждого цилиндра в отдельности при размещении преобразователя всегда в строго определенном месте для всех цилиндров с нормированным усилием его установки значительно снижает погрешность измерения.

Модификация прибора ДПИ-1 приведена на рис. 2 [5, 6].

Вычислительный алгоритм расчета среднего индикаторного давления и $P_{i\text{ усл.}}(H)$ данным прибором [7]:

$$P_{i\text{ усл.}} = \frac{\mu_v}{t} \left[\int_{t_0}^{2t} V_S \overleftarrow{dt} - 2 \int_{t_0}^t V_S \overleftarrow{dt} \right], \quad (5)$$

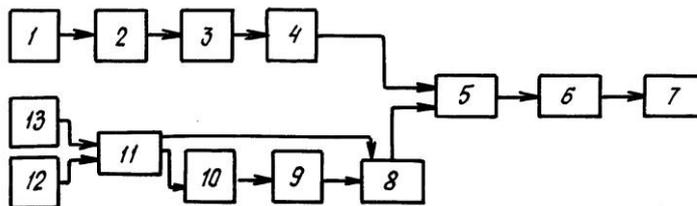


Рис. 2. Блок-схема диагностического прибора для определения $P_{i\text{ усл.}}$ и диагностической индикаторной диаграммы: 1 – вибропреобразователь типа Д-14; 2 – интегрирующий усилитель; 3 – блок фильтров низких (ФНЧ) и высоких (ФВЧ) частот; 4 – первый измеритель площади; 5 – схема вычитания; 6 – схема давления; 7 – блок индикации; 8 – схема запрета; 9 – схема умножения на 2; 10 – второй измеритель площади; 11 – схема выделения опорного сигнала; 12 – отметчик ВМТ; 13 – отметчик НМТ

где μ_v – масштабный коэффициент перевода напряжения в давление, МПа/мВ;

$2t$ – время, в течение которого совершается такт сжатия;

t – то же расширения;

1, 2 – площади под кривой диагностического сигнала за такты расширения и сжатия и за один такт сжатия (мВ·с).

В результате полученных математических зависимостей [1–5] реализована возможность определения диагностической индикаторной диаграммы приборным решением.

Диаграмма, полученная виброакустическим методом, идентична индикаторной диаграмме, полученной с помощью датчика индицирования (рис. 3).

Рис. 3. Осциллограммы трех сигналов: 1 – сигнал индицирования; 2 – вибросигнал; 3 – отметка ВМТ

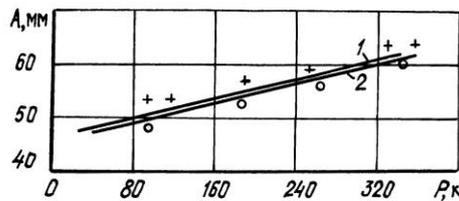
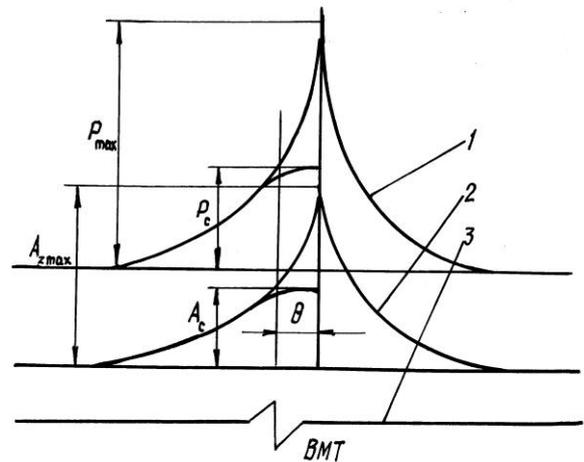


Рис. 4. Зависимость максимальных амплитуд сигнала индицирования (1) и вибросигнала (2) от нагрузочного режима работы дизеля Д-240

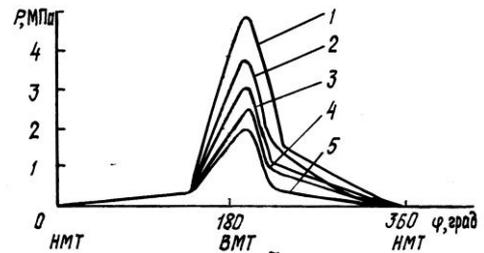


Рис. 5. Максимальное значение амплитуд вибросигнала при рабочем процессе и при прокручивании коленчатого вала дизеля: 1 – 3 – соответственно 40, 25 и 15 % от $N_{ен}$; 4 – холостой ход; 5 – прокручивание; $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

Амплитуда вибросигнала $A(\omega)$ изменяется пропорционально изменению давления в цилиндре дизеля [8]:

$$A(\omega) = (1 - I) K_k K_{кр} F(t), \quad (6)$$

где I – коэффициент прохождения волны сжатия – расширения;

K_k – коэффициент, характеризующий конструктивные особенности дизеля данной марки;

$K_{кр}$ – коэффициент, учитывающий способ крепления вибропреобразователя;

$F(t)$ – сила, действующая на шпильку за рабочий цикл.

На рис. 4 приведены зависимости максимальных амплитуд сигнала индицирования $A(\omega)$; от нагрузочного режима работы дизеля Д-240.

По максимальным значениям амплитуд вибросигнала при рабочем процессе $A(\omega)_{z \max}$ (рис. 5) и при прокручивании дизеля $A(\omega)_{сж}$ определяется максимальное давление газов рабочего процесса P_{\max} и максимальное давление сжатия P_c .

Виброакустический метод определения индикаторных параметров представляет практическое значение как для оценки протекания рабочего процесса в цилиндрах ДВС, технического состояния его составных частей, так и для диагностирования основных параметров дизеля, характеризующих мощностные, топливно-экономические и экологические показатели [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 435471 СССР, МКИ¹ G 01 I 23/08. Способ определения жесткости работы двигателя внутреннего сгорания / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, В.К. Чугунов, Л.П. Чапурин // Открытия. Изобрет. – 1974. – № 25. – С.132.

2. А.с. 1320688 СССР, МКИ⁴ G 01 M 15/00. Устройство для диагностирования двигателей внутреннего сгорания / В.А. Аллилуев, Ю.Н. Щербинин, А.В. Волжанкин, А.Г. Мамедов // Открытия. Изобрет. – 1987. – № 24. – С. 198–199.

3. Аллилуев В.А. и др. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. – М.: Колос, 1978. – 286 с.

4. Аллилуев В.А., Мамедов АТ. Диагностирование рабочего процесса тракторного дизеля по параметрам вибрации // Сб. науч. тр. ЛСХИ. – Л., 1982. – С. 21–24.

5. Аллилуев В.А., Муравьев К.Е. Диагностирование и контроль энергетических параметров дизеля при эксплуатации, ТО и ремонте // Современное оборудование и технологические процессы восстановления деталей машин. – М.: ГОСНИТИ, 1988. – С. 69–71.

6. Аллилуев В.А., Муравьев К.Е. Диагностирование энергетических показателей дизелей виброакустическим методом // Двигателестроение. – 1988. – № 6. – С. 58–62.

7. Аллилуев В. А., Муравьев К.Е. Автоматизация процессов контроля работоспособности цилиндров дизеля по условным индикаторным параметрам, полученным вибрационным методом // Автоматизация процессов технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. – М.: ГОСНИТИ, 1989. – С. 35–37.

8. Аллилуев В.А., Ананьин А.Д., Михлин В.М. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка: Учеб. пособие для вузов. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 367 с.

V.A. Alliluev, V.D. Popov, Yu.N. Sidyganov, G.V. Kaledin

Determination of Indicator Indices of Internal Combustion Engines

The results of scientific research in the field of diagnosing internal combustion engines based on the vibration data are provided.
