

## УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЯ

Е.А. Кононова, к.т.н. Ю.И. Кушнерук  
(представил д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

*В статье описываются разработанные частотный и фазовый способы оценки технического состояния систем двигателя внутреннего сгорания. Предложены схемные решения, которые целесообразно использовать в системах смазки и топливоподачи.*

**Постановка задачи.** Системы смазки и топливоподачи относятся к системам, обеспечивающим работу двигателей внутреннего сгорания. Нарушения нормальной работы этих систем приводят к отказам двигателей и могут явиться причиной возникновения непоправимых последствий. Для предупреждения отказов, поломок и аварий двигателя необходимо иметь возможность оценить техническое состояние его систем.

**Анализ литературы.** В литературе [1 – 5] известны способы оценки технического состояния систем двигателя, по которым измеряют показатели работы диагностируемых систем и определяют их изменение сравнительно с исходными, а в качестве показателей принимают давление в системах или параметры пульсации давления. Однако точность этих способов ограничена, а оценка состояния узлов или систем в ряде случаев неоднозначна. Это связано, прежде всего, с тем, что в неустановившихся режимах возникает неопределенность в выявлении причин изменения перепада давления, а значит и неопределенность в оценке технического состояния систем двигателя.

**Цель статьи** состоит в повышении точности оценки технического состояния систем двигателя.

**Основной материал.** Указанная цель может быть достигнута, если для оценки технического состояния систем двигателя использовать данные об изменении коэффициентов в дифференциальных уравнениях, описывающих эти системы. Так, например, для систем смазки и топливоподачи, в состав которых входят фильтры, связь между их входными и выходными сигналами может быть установлена с помощью дифференциального уравнения движения потока жидкости, представленного в виде

$$T_{2\phi}^2(t) \frac{d^2 \overline{P}_2(t)}{dt^2} + T_{1\phi}(t) \frac{d\overline{P}_2(t)}{dt} + K_{\phi}(t) \overline{P}_2(t) = \overline{P}_1(t) - \Theta_q(t) \overline{q}(t), \quad (1)$$

где  $\overline{q} = \frac{\Delta q}{q_0}$ ;  $\overline{P}_1 = \frac{\Delta P_1}{P_{01}}$ ;  $\overline{P}_2 = \frac{\Delta P_2}{P_{02}}$  – относительные величины отклонений

расхода жидкости через фильтр и отклонений давления на входе и выходе фильтра;  $K_{\phi} = P_{02}/P_{01}$  – коэффициент передачи фильтра;  $\Theta_q$  – коэффициент, учитывающий влияние расхода жидкости через фильтр;  $T_{2\phi}$ ,  $T_{1\phi}$  – постоянные времени фильтра.

Сравнительную оценку звеньев вида (1) можно получить, используя данные об изменении их собственной частоты  $\Delta(t)$ , а в качестве диагностического параметра использовать относительную величину изменения собственной частоты  $\overline{\Delta}(t)$ :

$$\overline{\Delta}(t) = \frac{\Delta(t_0) - \Delta(t)}{\Delta(t_0)}, \quad (2)$$

где собственная частота фильтра перед началом его эксплуатации равна

$$\Delta(t_0) = T_{2\phi}(t) \sqrt{\left[ \frac{T_{1\phi}(t_0)}{2T_{2\phi}(t_0)} \right]^2 - K_{\phi}(t_0)}, \text{ а}$$

$$\Delta(t) = T_{2\phi}(t) \sqrt{\left[ \frac{T_{1\phi}(t)}{2T_{2\phi}(t)} \right]^2 - K_{\phi}(t)} - \text{соб-}$$

ственная частота фильтра в произвольный, например, в контролируемый момент времени  $t$ .

Устройство, с помощью которого проводится диагностирование по величине изменения собственной частоты, представлено на рис. 1, где показаны двигатель 1 внутреннего сгорания, маслозакачивающий насос 2 с регулятором 3 давления, масляный фильтр 4, масляный холодильник 5, измерители 6 и 7 давления, установленные на входе и выходе фильтра 4, линейные вибраторы 8 – 11 и вычислительное устройство 12.

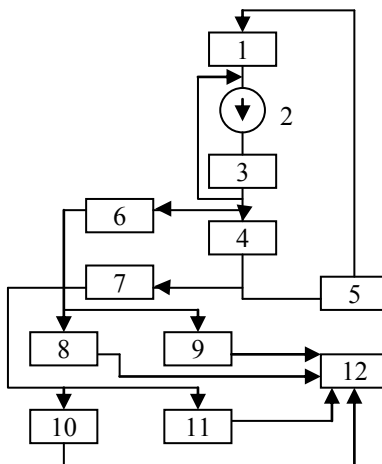


Рис. 1. Устройство для оценки технического состояния системы смазки

В системе смазки масло, стекающее в поддон двигателя 1, нагнетается через масляный фильтр 4 и холодильник 5 в главную масляную магистраль двигателя 1 с помощью маслозакачивающего насоса 2, выход которого через регулятор 3 давления сообщен с входом для поддержания в системе заданной величины давления. На входе и выходе фильтра 4 установлены измерители 6 и 7 давления, выходы которых через линейные вибраторы 8, 9, 10 и 11 соответственно присоединены к входам вычислительного устройства.

В процессе регулирования давления в системе смазки возникают случайные отклонения давления, как на входе фильтра, так и на его выходе, измерение и сравнение которых в рассматриваемом случае осуществляется с помощью линейных вибраторов в вычислительном устройстве. При этом резонансные частоты вибраторов 8 и 10 настроены на частоту  $\Delta_{p_1}$ , равную собственной частоте фильтра 4 перед его эксплуатацией  $\Delta_{p_1} = \Delta(t_0)$ , а вибраторы 9 и 11 – на частоту  $\Delta_{p_2}$ , равную величине предельно допустимой частоты фильтра  $\Delta_{p_2} = \Delta(t_{\max})$ , определяемой для максимального засорения фильтра. При частотах отклонения давления в системах смазки, совпадающих, например, с частотой собственных колебаний вибраторов 8 и 10, на их выходах формируются сигналы, разность фаз между которыми запоминается вычислительным устройством 12. Аналогично вычислительное устройство фиксирует значение разности фаз при другой резонансной частоте  $\Delta_{p_2} = \Delta(t_{\max})$ . Зафиксированные величины разности фаз позволяют вычислительному устройству определить с заданной степенью точности значения собственной частоты фильтра в контролируемый момент времени. Далее, выполняя операцию сравнения значений этой частоты со значением собственной частоты вибратора  $\Delta_{p_1} = \Delta(t_0)$ , вычислительное устройство фиксирует значение относительной величины изменения собственной частоты фильтра, необходимое для оценки состояния двигателя.

Предлагаемое устройство используется и для определения относительных отклонений частот фильтров в системе топливоподачи.

В процессе диагностирования часто оказывается полезным сочетание частотных методов с фазовыми.

Пример устройства, которое использует такое сочетание, приведен на рис. 2, где показаны двигатель внутреннего сгорания 1, маслозакачивающий насос 2 с регулятором 3 давления, масляный фильтр 4, масляный холодильник 5, измерители 6 и 7 давления, линейные вибраторы 8 и 9, вычислительное устройство 10.

В системе смазки масло нагнетается в главную масляную магистраль двигателя 1 через масляный фильтр 4 и холодильник 5 с помощью маслозакачивающего насоса 2, выход которого через регулятор 3 давления сообщен с входом для поддержания в системе заданной величины давления. На входе и выходе фильтра 4 установлены измерители 6 и 7 давления, выходы которых через линейные вибраторы 8 и 9 присоединены к входам вычислительного устройства 10.

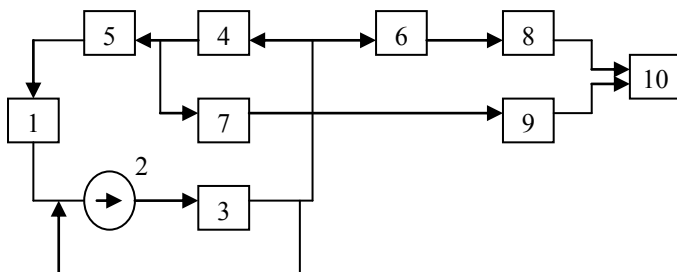


Рис. 2. Устройство для диагностирования и прогнозирования технического состояния системы смазки

В процессе регулирования давления в системе смазки возникают пульсации давления масла на входе и выходе фильтра 4, измерение которых осуществляется измерителями 6 и 7 давления. Для измерения разности фаз и скорости ее изменения при заданной частоте пульсации давление масла, например, равной  $\Delta(t) = \Delta_0$ , резонансные частоты  $\Delta_p$  линейных вибраторов также настраивают на частоту, равную заданной, т.е.  $\Delta_p = \Delta_0$ . В контролируемые моменты времени  $t_i$  и  $t_{i+1}$ , при частотах пульсаций давления масла, совпадающих с частотой собственных колебаний вибраторов 8 и 9, на их выходах формируются сигналы, разность фаз между которыми равна  $\varphi(\Delta_0, t_i)$  и  $\varphi(\Delta_0, t_{i+1})$ . Эта информация, а также длительность временного интервала измерений  $\Delta t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ , запоминается вычислительным устройством 10. Далее, осуществляя операции вычислений скорости изменения разности фаз в соответствии с формулой

$$V_{i+1} = \frac{\varphi(\Delta_0, t_{i+1}) - \varphi(\Delta_0, t_i)}{\Delta t_{i+1}}, \quad (3)$$

абсолютного отклонения  $\Delta\varphi(\Delta_0, t_{i+1})$  текущего значения разности фаз  $\varphi(\Delta_0, t_{i+1})$  от предельно допустимого  $\varphi_d$  из выражения

$$\Delta\varphi(\Delta_0, t_{i+1}) = |\varphi(\Delta_0, t_{i+1}) - \varphi_d| \quad (4)$$

и величины предельно допустимого времени необслуживаемой работы контролируемой системы

$$T_{i+1} = \frac{1}{V_{i+1}} \Delta \varphi(\Delta_0, t_{i+1}), \quad (5)$$

вычислительное устройство накапливает информацию, необходимую для оценки технического состояния и времени необслуживаемой работы двигателя и его диагностируемых систем.

Соотношение (5) в первом приближении позволяет осуществить прогноз по времени исправной работы системы.

**Выводы.** 1. Периодический или непрерывный контроль изменения собственных частот фильтра системы смазки позволяет оценить степень износа узлов сопряжения кривошипно-шатунного механизма и механизма газораспределения. Контроль фильтров в системе топливоподачи обеспечивает возможность оценки состояния топливоподающей аппаратуры.

2. Использование фазовых методов позволяет обеспечить практически любую требуемую точность оценки технического состояния двигателя и его систем (в том числе и систем топливоподачи, поскольку принципы работы фильтров в системе смазки и топливоподачи одни и те же), так как точность оценки по предлагаемому способу определяется выбором величины длительности интервала времени  $\Delta t_{i+1}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Говоруценко Н.Я. *Диагностика технического состояния автомобилей*. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
2. *Диагностика автотракторных двигателей / Под ред. Н.С. Ждановского*. – Л.: Колос, 1977. – 264 с.
3. Карпов Л.И. *Диагностика и техническое обслуживание тракторов и комбайнов*. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.
4. Павлов В.П. *Актуальная диагностика механизма*. – М.: Машиностроение, 1970. – 220 с.
5. *Техническая диагностика машин / Под ред. В.И. Кирси*. – К.: Урожай, 1975. – 352 с.

Поступила 20.05.2004

**КОНОНОВА Елена Анатольевна**, младший научный сотрудник НЦ РКИ. В 1992 году окончила Курский политехнический институт. Область научных интересов – электромеханика.

**КУШНЕРУК Юрий Ионович**, канд. техн. наук, доцент кафедры Военного института ВВ МВД. В 1971 году окончил ХГУ. Область научных интересов – исследование операций.