

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

*С.А. Гребенников, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и двигатели», Саратовский государственный технический университет*

В Саратовском государственном техническом университете ведутся разработки бестормозных динамических методов и средств диагностирования автомобилей по параметрам вращения, позволяющие определять техническое состояние основных агрегатов и систем автомобилей без использования внешних нагрузочных и приводных устройств путем диагностирования двигателей по параметрам вращения. Процесс диагностирования отрабатывается на примере бензинового четырехцилиндрового двигателя в соответствии с пошаговым алгоритмом.

Измерение угловой скорости коленчатого вала двигателя производится цифровым электронным устройством диагностирования двигателя путем подсчета числа импульсов эталонного генератора между смежными импульсами фотоэлектрического датчика угловых перемещений типа ВЕ-178. Обработка результатов измерений в соответствии с алгоритмом диагностирования осуществляется УДД автоматически.

Внедрение разработанной технологии диагностирования двигателей позволило повысить производительность труда оператора-диагноста в среднем на 11–15%.

На современном этапе развития автомобилестроения, когда на первом плане наряду с безопасностью движения находятся показатели экологичности и экономичности автотранспортных средств, особое внимание уделяется оптимизации рабочего процесса в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Эффективность сгорания рабочей смеси в цилиндрах обуславливается качеством смесеобразования и воспламенения, что, в свою очередь, во многом определяется точностью регулировок систем питания и зажигания, а также техническим состоянием цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и газораспределительного механизма (ГРМ). Поэтому в процессе эксплуатации в первую очередь необходимо поддерживать исправное техническое состояние именно этих систем и механизмов ДВС, для чего требуются соответ-

ствующие диагностические средства. Существующие методы и средства диагностирования двигателей (мотор-тестеры моделей К-461, М 1-2, М 2-3, SUN и другие) не позволяют с достаточной точностью оценивать неравномерность работы цилиндров, установку угла опережения зажигания, техническое состояние системы питания, ЦПГ и ГРМ.

Дальнейшее совершенствование оборудования для диагностирования двигателей целесообразно проводить в следующих направлениях:

- ✓ повышение точности и достоверности диагностирования;
- ✓ удобная форма представления результатов диагностирования;
- ✓ сокращение трудоемкости диагностирования за счет уменьшения числа датчиков и диагностических параметров, повышения контролепригодности диагностических средств, автоматизации процессов диагностирования и обработки диагностической информации;
- ✓ возможность трансформации во встроенные (бортовые) диагностические системы автомобиля с минимальными затратами;
- ✓ возможность учета индивидуальных особенностей ДВС;
- ✓ портативность, минимальное потребление электроэнергии и возможность питания от бортовой сети автомобиля;
- ✓ возможность применения в любых условиях эксплуатации, в том числе полевых;
- ✓ универсальность диагностического оборудования (возможность диагностирования различных моделей ДВС и других агрегатов, механизмов и систем автомобиля).

В Саратовском государственном техническом университете ведутся разработки бестормозных динамических методов и средств диагностирования автомобилей по параметрам вращения, позволяющие определять техническое состояние основных агрегатов и систем автомобилей без использования внешних нагрузочных и приводных устройств [2].

Наиболее сложным и ответственным агрегатом автомобиля, от технического состояния которого в значительной степени зависят его

многие технико-эксплуатационные и экономические показатели, является двигатель. В процессе эксплуатации на его долю приходится 1/3 отказов и около 20% трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта автомобиля.

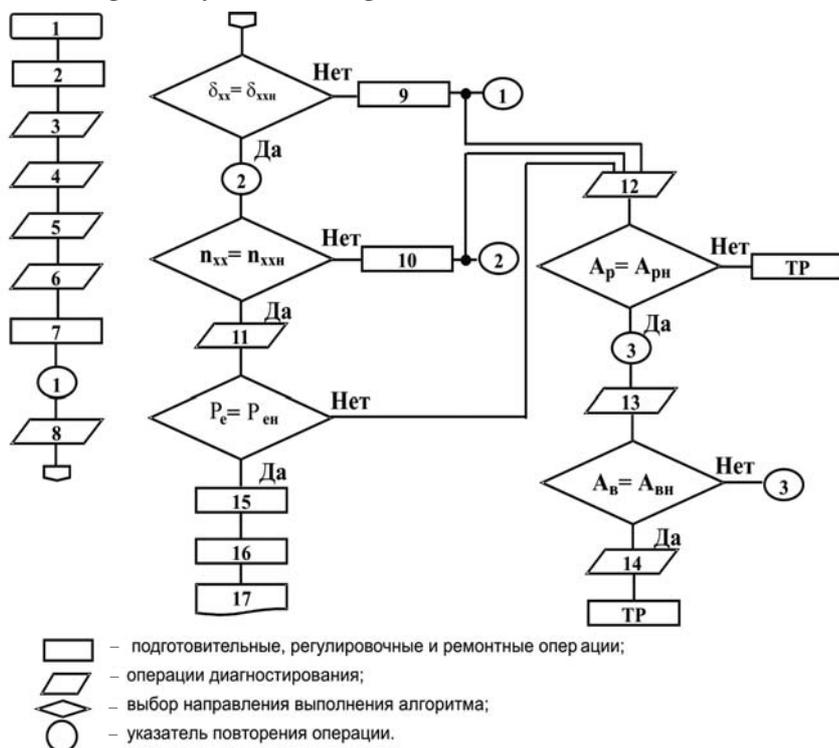
Диагностирование двигателей по параметрам вращения основано на анализе изменения угловой скорости  $\omega$  коленчатого вала по углу его поворота  $\phi$  в пределах цикла работы двигателя на установившихся и неуставившихся режимах холостого хода. В основу метода положено уравнение динамики двигателя, в соответствии с которым крутящий момент  $T_{тq}$

$$T_{тq} = T_c + J \frac{d\omega^2}{2d\phi}, \quad (1)$$

где  $J$  — приведенный к оси коленчатого вала момент инерции вращающихся и возвратно-поступательно движущихся масс двигателя;  $T_c$  — момент сил сопротивления.

Из уравнения (1) следует, что изменение угловой скорости коленчатого вала по углу его поворота определяет значение крутящего момента  $T_{тq}$  двигателя с «привязкой» к конкретному положению коленчатого вала, например, ВМТ первого цилиндра в такте сжатия. Это позволяет оценивать процессы динамического взаимодействия одноименных деталей и механизмов двигателя друг с другом в любой фазе его кинематического цикла в сравниваемых цилиндрах.

Измерение угловой скорости коленчатого



вала двигателя производится цифровым электронным устройством диагностирования двигателя (УДД) путем подсчета числа импульсов эталонного генератора между смежными импульсами фотоэлектрического датчика угловых перемещений типа ВЕ-178. Высокая частота эталонного генератора временных импульсов устройства (500 кГц) и незначительная погрешность шага штрихов на диске датчика (не более 15") обеспечивают высокую точность измерений. Обработка результатов измерений в соответствии с алгоритмом диагностирования осуществляется УДД автоматически.

Данное устройство позволяет при использовании одного датчика диагностировать техническое состояние элементов двигателя, рулевого управления, трансмиссии и тормозной системы автомобиля.

Преимуществами метода являются его высокая точность, оперативность и универсальность измерительной аппаратуры. Наличие в электронных системах впрыска топлива и антиблокировочных системах тормозов (АБС) современного автомобиля датчиков угловых перемещений, подобных ВЕ-178, позволяет производить диагностирование через штатный диагностический разъем (розетку) или трансформировать разработанный метод в бортовую микропроцессорную систему диагностирования.

В данной статье рассмотрены принципы диагностирования основных элементов двигателя и технологический процесс диагностирования на примере бензинового четырехцилиндрового двигателя в соответствии с алгоритмом (рис. 1).

Рис. 1. Алгоритм диагностирования

1 — Установить автомобиль на пост. 2 — Присоединить датчики УДД к ДВС. 3 — Визуальный контроль ДВС. 4 — Проверить АКБ и стартер в режиме пуска ДВС. 5 — Запустить двигатель, прогреть до номинального теплового режима. 6 — Убедиться в отсутствии посторонних шумов и стуков. 7 — Убедиться в функционировании УДД. 8 — Проверить работу систем холостого хода карбюратора и зажигания при  $n_{xx}$  по  $\delta_{xx}$ . 9 — Оптимизировать угол опережения зажигания. 10 — Отрегулировать систему холостого хода. 11 — Измерить мощность механических потерь, эффективную мощность ДВС и неравномерность работы цилиндров. 12 — Проверить компрессионные свойства цилиндров. 13 — Декомпрессировать ДВС и дать оценку ГРМ. 14 — Идентифицировать неисправный клапанный механизм. 15 — Установить свечи зажигания и высоковольтные провода к ним. 16 — Отсоединить датчики УДД. 17 — Заполнить диагностическую карту

Предварительные операции 1–7 диагностики ДВС выполняются в соответствии с типовой технологией.

Операция 8 проверки системы холостого хода карбюратора и угла опережения зажигания проводится на холостом ходу  $n_{\text{хх}}$ . В качестве диагностического параметра используется коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала  $\delta$ .

$$\delta = \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}}{\bar{\omega}}, \quad (2)$$

где  $\omega_{\text{max}}$ ,  $\omega_{\text{min}}$ ,  $\bar{\omega}$  — величины наибольшей, наименьшей и средней угловых скоростей в пределах одного рабочего цикла двигателя.

Экспериментальные исследования показали, что минимальному значению  $\delta$  соответствуют оптимальные регулировки систем питания, зажигания и наилучшие значения других показателей работы ДВС (рис. 2). Коэффициент  $\delta$  является универсальным диагностическим параметром, позволяющим по его минимально достижимым значениям оптимизировать регулировочные параметры систем и механизмов двигателя с учетом их индивидуальных особенностей, обусловленных погрешностями изготовления и сборки ДВС, а также неравномерностью

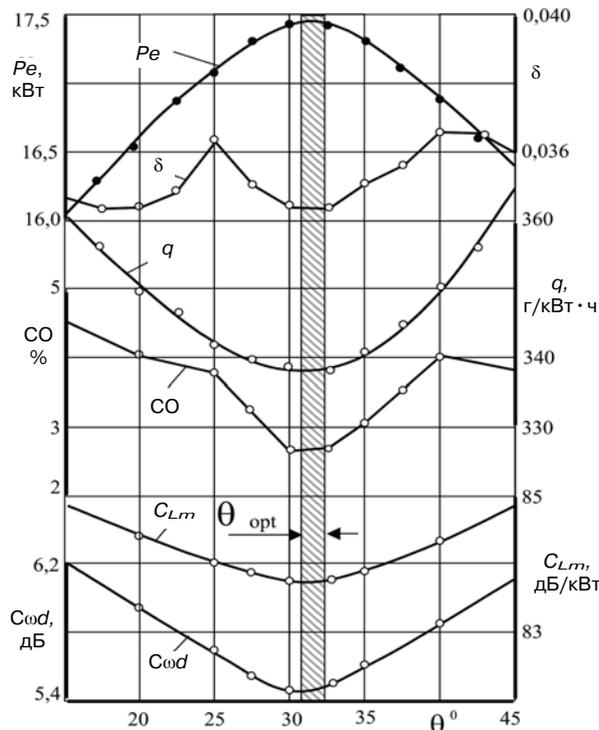


Рис. 2. Зависимость эффективной мощности  $P_e$ , удельного расхода топлива  $b$ , содержания СО в отработавших газах, удельного значения среднего уровня звукового давления  $C_{Lm}$  и виброускорения  $C_{\text{cod}}$ , коэффициента неравномерности  $\delta$  угловой скорости коленчатого вала двигателя 4Ч 7,6/7,5 от угла опережения зажигания  $\theta^\circ$  при  $n = 2500$  об/мин

изменения их технического состояния в процессе эксплуатации. Операции 9 и 10 регулировки угла опережения зажигания и системы холостого хода карбюратора выполняются параллельно с операцией 8 до достижения минимального значения  $\delta$ .

Операция 11 измерения эффективной мощности двигателя и неравномерности работы цилиндров проводится в режиме разгона двигателя на холостом ходу. Разгон осуществляется с минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала до максимальной путем резкого нажатия на педаль управления подачей топлива. Сначала определяется эффективная мощность двигателя  $P_e$

$$P_e = J \cdot \omega_n \cdot \varepsilon_{cp}, \quad (3)$$

где  $\omega_n$  — угловая скорость коленчатого вала при номинальной частоте вращения;

$\varepsilon_{cp} = \left( \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right) / n$  — среднее ускорение за цикл работы двигателя в момент достижения номинальной частоты вращения;

$\varepsilon_i$  — ускорение коленчатого вала при рабочем ходе  $i$ -го цилиндра;  $n$  — число цилиндров двигателя.

В случае невозможности достижения нормативного значения  $P_e$  регулировками систем зажигания и холостого хода проверяют на этом же режиме поцилиндровую мощность  $P_{ei}$

$$P_{ei} = J \cdot \omega_i \cdot \varepsilon_i, \quad (4)$$

где  $\omega_i$  — средняя угловая скорость, соответствующая рабочему ходу  $i$ -го цилиндра в момент достижения номинальной частоты вращения.

Отсутствие при измерении поцилиндровых мощностей операции отключения цилиндров, искажающего рабочий процесс двигателя, повышает точность динамического метода диагностирования по сравнению с существующими.

При неравномерности мощности отдельных цилиндров более 4–6 % проводится операция 12 проверки компрессионных свойств цилиндров в режиме прокручивания коленчатого вала двигателя стартером. При этом зависимость угловой скорости по углу поворота коленчатого вала (рис. 3) представляет собой периодическую функцию с периодом, равным периоду изменения момента сопротивления  $\pi$ . Участки возрастания угловой скорости отражают действие компрессионных сил на поршень при его движении от ВМТ к НМТ соответствующего цилиндра. Работа  $A_p$ , совершаемая при этом сжатой топливовоздушной смесью, пропорциональна компрессии  $p_c$  цилиндра

$$A_p = \frac{\omega_{\text{max}}^2 - \omega_{\text{min}}^2}{2} \cdot J, \quad (5)$$

где  $\omega_{\text{max}}$ ,  $\omega_{\text{min}}$  — максимальное и минимальное значения угловой скорости коленчатого вала на участке ее возрастания, в период угла поворота вала, соответствующего такту сжатия в конкретном цилиндре.

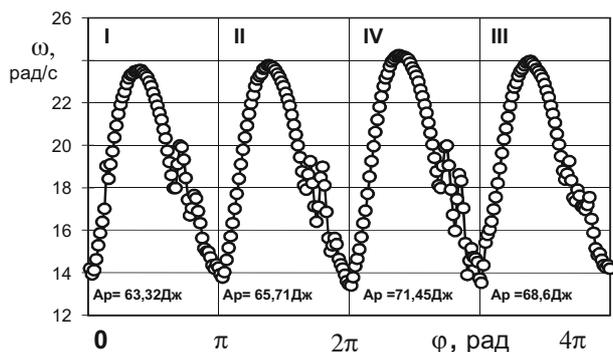


Рис. 3. Изменение угловой скорости коленчатого вала  $\omega$  по углу его поворота  $\varphi$  при прокручивании стартером технически исправного двигателя 4Ч 9,2/9,2 (ЗМЗ-2401)

Данный метод позволяет повысить точность измерения компрессии на 10–15 % по сравнению с наиболее распространенным способом по пульсациям напряжения (тока) аккумуляторной батареи во время прокручивания двигателя стартером, реализованным в существующих мотор-тестерах.

Операция 13 оценки технического состояния ГРМ проводится в режиме прокручивания декомпрессированного ДВС (вывернуты свечи зажигания) [3]. Каждое колебание угловой скорости (рис. 4), вследствие практически полного перекрытия разноименных фаз газораспределения, отражает техническое состояние двух клапанных механизмов различных цилиндров. Отклонение амплитуды колебания  $A = \omega_{\max} - \omega_{\min}$  или фазового положения экстремума  $\varphi_{\omega \min}$  минимальной угловой скорости от нормативных значений свидетельствует о неисправности одного или обоих клапанных механизмов. Операция 14 проводится с целью идентификации неисправного клапанного механизма путем прокручивания декомпрессированного двигателя с постоянно закрытыми впускными или выпускными клапанами всех цилиндров [3], что достигается установкой зазоров в их приводе, превышающих ход клапана. Изменение зазора в приводе

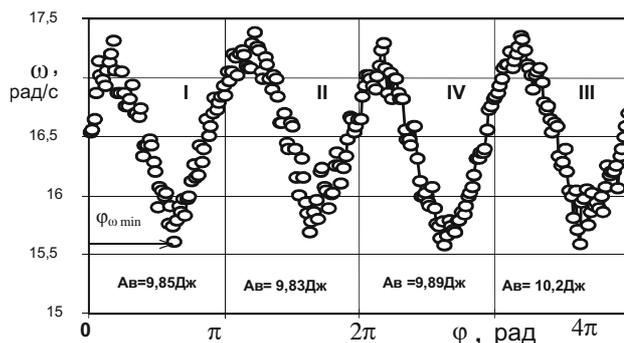


Рис. 4. Изменение угловой скорости коленчатого вала при прокручивании декомпрессированного ДВС с технически исправным ГРМ

клапана, жесткости клапанной пружины или высоты профиля кулачка распределительного вала отразятся на длительности соответствующего участка убывания угловой скорости, обусловленного работой сил упругости клапанной пружины. В качестве диагностического параметра используется работа выбега  $A_v$ , вычисляемая аналогично работе разгона  $A_r$ .

Внедрение разработанной технологии диагностирования двигателей в автотранспортных предприятиях г. Саратова показало ее высокую эффективность. Производительность труда оператора-диагноста повысилась в среднем на 11–15%. При этом достигнуто улучшение мощностных, экономических и экологических показателей двигателей и автомобилей в целом.

### Литература

1. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта. — М.: Транспорт, 1982. — 88 с.
2. Гребенников А.С. Способ диагностирования неравномерности работы цилиндров поршневого ДВС // Двигателестроение. — 1983. — № 10. — С. 27–29.
3. Пат. 2157984 РФ, МКЛ. G 01 M 15/00. Способ диагностирования клапанных пружин газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания / Отставнов А.А., Гребенников А.С., Гребенников С.А. Б.И. — 2000. — № 29.