

Гребенников Александр Сергеевич, д.т.н., профессор Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., asg@sstu.ru

Гребенников Сергей Александрович, к.т.н., доцент Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Куверин Игорь Юрьевич, к.т.н., доцент Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Обельцев Алексей Сергеевич, инженер, аспирант Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Гребенкин Роман Алексеевич, студент Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ ПО ВНУТРИЦИКЛОВЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ**

Реальные отклонения рабочих процессов в цилиндрах ДВС, характеризующиеся отличиями в эффективности сгорания рабочей смеси, значениях структурных параметров одноименных сопряжений КШМ и взаимосвязанных с ним механизмов автомобиля, приводят к дополнительной внутрицикловой неравномерности угловой скорости (ВНУС) коленчатого вала (КВ) и других вращающихся элементов трансмиссии, которая является источником информации об их техническом состоянии.

В общем случае флуктуация вращения КВ ДВС оценивается коэффициентом неравномерности  $\delta$  – отношением разности значений максимальной  $\omega_{max}$  и минимальной  $\omega_{min}$  угловых скоростей к среднему её значению за кинематический цикл [4]

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\bar{\omega}} \quad (1)$$

Сказанное также относится к вращающимся деталям тормозной системы, рулевого управления и, последовательно связанным с ДВС, элементам трансмиссии, ухудшение технического состояния которых приводит к увеличению ВНУС в их промежуточных сопряжениях и конечном элементе – ведущих колёсах [1, 2, 3].

К диагностическим показателям ВНУС вращающихся элементов автомобиля кроме коэффициента  $\delta$ , относят следующие значения, измеренные в интервале углов поворота, соответствующих циклу изменения крутящего момента на валу: экстремальных (минимальных  $\omega_{min}$  и максимальных  $\omega_{max}$ ) угловых скоростей и их фазовых положений  $\varphi_{\omega min}$ ,  $\varphi_{\omega max}$ ; амплитуд  $A_{\omega} = \omega_{max} - \omega_{min}$  и их отклонений  $\Delta\omega$ , например по отдельным цилиндрам двигателя; ускорений  $\varepsilon_{\omega}$ ,  $\varepsilon_p$  – соответственно на участках выбега и разгона угловой скорости; затраченной работы инерционными массами двигателя и элементами трансмиссии на участках выбега  $A_{\omega}$  или приобретенной на участках разгона  $A_p$  и их соотношения  $A_{\omega}/A_p$  [1, 2].

Использование показателей ВНУС позволило повысить точность и существенно расширить область применения динамического метода

диагностирования, разработанного в СибИМЭ [6, 7] для ДВС, суть которого состоит в анализе изменений межцилиндровых значений угловой скорости и ускорений КВ на неустановившемся режиме работы (НУР).

Именно за счет введения новых признаков функционального состояния ДВС, использования как неустановившихся, так и установившихся режимов испытания, стало возможным по показателям ВНУС (рис. 1) оценить техническое состояние наиболее важных элементов системы ДВС - трансмиссия, тормозной системы, рулевого управления и подвески автомобиля, повысить эффективность и адаптивность электронных систем управления ДВС (ЭСУД).

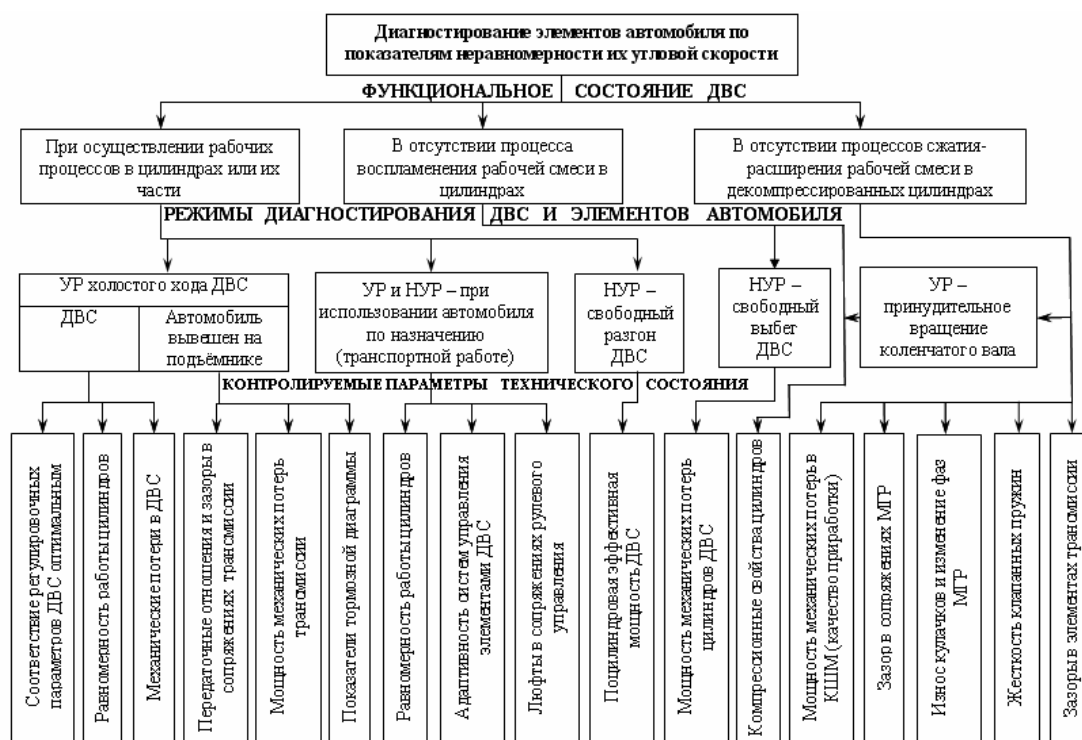


Рис. 1. Режимные признаки диагностирования элементов автомобиля по показателям ВНУС

Выбор функционального состояния ДВС (наличие или отсутствие рабочих процессов в конкретных цилиндрах) направлен на повышение чувствительности и информативности показателей ВНУСКВ при диагностировании и адаптивном управлении системами ДВС [1, 2].

При оценке качества организации рабочего процесса, управлении им с целью его оптимизации, а также определении технического состояния систем питания, зажигания, МГР, испытания проводят при наличии процессов сгорания рабочей смеси в цилиндрах, как в процессе выполнения автомобилем транспортной работы, так и путём использования диагностических тестовых воздействий. При этом на любом режиме работы ДВС интегральным показателем его эффективности является коэффициент  $\delta$  ВНУСКВ; он же отвечает требованию критерия оптимальности в адаптивных системах управления фазами газораспределения ДВС углом опережения и объёмом

цикловой подачи топлива в цилиндры [2].

При оптимальных и равномерных рабочих процессах в цилиндрах двигателя коэффициент  $\delta$  имеет минимально возможную величину для сложившегося в процессе эксплуатации технического состояния ДВС, поскольку характер изменения крутящего момента и ВНУСКВ в пределах углов поворота, соответствующих рабочим тактам всех цилиндров, будет близок к идентичному.

При нарушенных значениях регулировочных параметров элементов ДВС, когда коэффициент  $\delta$  превышает нормативы, конкретизация «отстающего» цилиндра осуществляется по значениям  $A_{\omega}$  колебаний УС в пределах углов поворота КВ, соответствующих рабочим тактам цилиндров.

При диагностировании нерегулируемых параметров технического состояния одноименных элементов ДВС (герметичности надпоршневых пространств цилиндров, зазоров в сопряжениях КШМ, ЦПГ, МГР) предпочтительней второй вариант - испытание в отсутствие сгорания рабочей смеси в цилиндрах двигателя. При этом используются режимы прокрутки КВ стартером или выбега ДВС путем выключения подачи топлива (зажигания) во все или отдельные его цилиндры. Диагностическим параметром компрессионных свойств цилиндров при этом являются работа сил инерции  $A_p$  на участках нарастания угловой скорости в угловых интервалах, соответствующих тактам расширения в конкретных цилиндрах

$$A_p = J \frac{(\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2)}{2}. \quad (2)$$

Определение технического состояния элементов МГР осуществляют при декомпрессированных цилиндрах в режиме прокрутки КВ стартером или работе ДВС на одном цилиндре [2]. В качестве оценочных диагностических показателей состояния элементов МГР служат отклонения экстремальных значений УС  $\Delta\omega_{\max}$ ,  $\Delta\omega_{\min}$  и их фазовых положений  $\Delta\varphi_{\omega\max}$ ,  $\Delta\varphi_{\omega\min}$  относительно ВМТ, которые сравниваются с нормативными.

Эффективную мощность и мощность механических потерь ДВС определяют динамическим методом с ответственю на режимах разгона при полной подаче топлива и свободного выбега [2, 6, 7] - по значениям ускорений на участках разгона  $\varepsilon_p$  или выбега  $\varepsilon_b$  в пределах нескольких циклов работы ДВС в нормативном диапазоне УСКВ. При отрицательных значениях, причину конкретизируют определением показателей ВНУСКВ на УР работы ДВС при последовательном отключении одного из цилиндров.

Диагностирование трансмиссии и тормозной системы осуществляется при вывешенном на подъёмнике автомобиле с установкой на сочленениях карданного вала и колёсах датчиков угловых перемещений. Теоретической основой способов их диагностирования также служит уравнения динамики (принцип Даламбера) автомобиля с учетом диссипативных характеристик элементов трансмиссии, представленных на рис. 2.

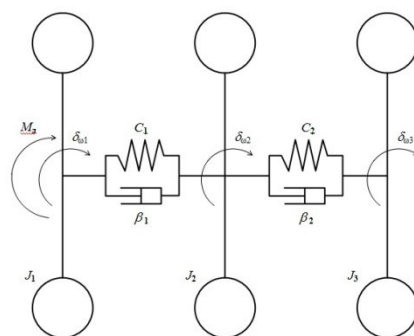


Рис. 2. Эквивалентная динамическая модель системы «ДВС - трансмиссия» автомобиля ГАЗель-322132:

$M_d$  – переменный по углу поворота КВ момент двигателя;  $J_1 = 0,32$ ,  $J_2 = 0,23$  и  $J_3 = 16,5$  – моменты инерции соответственно двигателя, трансмиссии и ведущих колес, кг·м<sup>2</sup>;  $C_1 = 2400$  и  $C_2 = 753000$  – жесткости связей двигателя с трансмиссией и трансмиссии с ведущими колесами, Н·м/рад;  $\beta_1 = 8$ ,  $\beta_2 = 14$  – коэффициенты демпфирования крутильных колебаний, Н·с·м/рад;  $\delta_{\omega_1}$ ,  $\delta_{\omega_2}$  и  $\delta_{\omega_3}$  – значения коэффициентов неравномерности УС вращения соответственно двигателя, трансмиссии и ведущих колес

При диагностировании элементов трансмиссии, вывешенные ведущие колеса одной стороны автомобиля фиксируются в неподвижном состоянии, а её прокручивание осуществляется двигателем. Об общем техническом состоянии трансмиссии судят по значениям мощности механических потерь и суммарного углового зазора в её сопряжениях. Мощность механических потерь

$$N_m = J_{\Sigma} \cdot \ddot{\varphi}_k \cdot \frac{\omega_k - \omega_n}{\tau}, \quad (3)$$

где  $J_{\Sigma} = J_1 + J_2 + J_3$  – сумма приведенных моментов инерции вращающихся масс

ДВС, трансмиссии и вращающихся колёс (рис. 2);  $\omega_n$ ,  $\omega_k$  - мгновенные значения УС в начале и конце одного (двух) полных оборотов выбега колеса за время  $\tau$ .

Суммарный зазор в трансмиссии определяется по разности значений полного поворота ведущего колеса (360°) и приведенного к нему угла поворота КВ (с учетом передаточного числа трансмиссии).

При отрицательном результате поэлементное диагностирование трансмиссии осуществляется в режиме прокручивания системы «ДВС - трансмиссия» от ДВС при его работе на УР в диапазоне средней УСКВ  $\varpi = 90 \dots 100$  рад/с, или стартером. Диагноз осуществляют по значениям коэффициентов неравномерности ( $\delta_{\omega_1}$ ,  $\delta_{\omega_2}$  и  $\delta_{\omega_3}$  – см. рис. 2) и фазовых сдвигов экстремумов УС в последовательно соединенных сопряжениях трансмиссии, которые сравниваются с номинальными. Считаем, что коэффициенты

демпфирования элементов трансмиссии  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис. 2) на холостом ходу её прокрутки от ДВС или стартера близки к нулю.

Суммарный зазор в трансмиссии определяется по разности значений приведенных углов поворота ведущего колеса и коленчатого вала, с учетом передаточного числа трансмиссии.

Диагностирование тормозной системы ведущих колес осуществляется при их вращении от ДВС с линейной скоростью 60 или 90 км/ч (в зависимости от инерционных масс колёс) - путём однократного нормированного по усилию и темпу нажатия на педаль управления рабочим тормозом с помощью автоматического устройства – «пневмоноги». Вращение ведомых колес автомобиля осуществляется от мобильного приводного устройства.

В качестве диагностических параметров используются значения времени запаздывания и срабатывания привода тормозной системы; неравномерности замедления и угла поворота каждого из колёс в процессе торможения. Основное преимущество данного способа – отсутствие влияния на результаты диагностирования сил сцепления в контакте шин колёс с опорной поверхностью роликов тормозного стенда или дороги.

Техническое состояние рулевого управления и углов установки управляемых колёс оценивается по значениям неравномерности углов и угловой скорости перемещений рулевого колеса относительно его нейтрального положения при движении автомобиля по прямолинейному участку дороги или роликам стенда.

Для измерения внутрицикловых мгновенных значений УСКВ ДВС и других вращающихся деталей автомобиля разработано цифровое электронное устройство с датчиком угловых перемещений ВЕ-178А (ЛиР-158Б). Для диагностирования трансмиссии, тормозной системы и рулевого управления разработаны легкосъёмные специальные датчики. Метрологические свойства устройства (абсолютная погрешность менее 0,01 рад/с, дискретность шага измерений  $\Delta\omega < 1\epsilon$ , отличие скоростного режима ДВС от нормативного его значения в момент измерений по  $\omega$  не более  $\pm 1$  рад/с) позволяют определить диагностические параметры с необходимой точностью.

Представленная методология диагностирования систем и механизмов автомобиля по показателям ВНУС вращающихся его элементов обоснована теоретическими и экспериментальными исследованиями авторов с учетом известных работ в данной области [3, 5, 6...8], а её эффективность обеспечивается высокой помехоустойчивостью и информативностью измеряемого параметра - УС, многофункциональностью использования, оперативностью и малой стоимостью практической реализации.

## Литература

1. Гребенников А. С. Методология диагностирования и адаптивного управления техническим состоянием элементов автомобиля по показателям внутрицикловых изменений угловой скорости вращающихся деталей / А.С.

Гребенников, С.А. Гребенников Гребенников, И.Ю. Куверин, А.В. Никитин, А.С. Обельцев // Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля: Сб. тезисов по матер. Междунар. научн.-практ. конф. (ХНАДУ, 15-16 октября 2014 г) – Харьков: ТОВ «Видавництво «Форт». 2014. – С. 218-220.

2. Гребенников А. С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом /А. С. Гребенников.– Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. – 196 с.

3. Девянин С.Н. Неравномерность крутящего момента ДВС и тяговые качества мобильной машины/ С.Н.Девянин, А.А.Савастенко, И.А.Никишин //Автомобильная промышленность, 2010, №6. – С.5-8.

4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – М.: Высшая школа, 2007. – 479 с.

5. Румянцев П.Г., Черняк Б.Я. Расчет неравномерности вращения коленчатого вала двигателя с учетом упругости трансмиссии// Двигателестроение. 1986. №4. - С. 18-20.

6. Савченко О.Ф. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей / О.Ф. Савченко, И.П. Добролюбов, В.В. Альт, С.Н. Ольшевский // РАСХН. Сиб. отд-ние СибФТИ. – Новосибирск. 2006. – 272 с.

7. Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК / В.В. Альт, И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко, С.Н. Ольшевский // Под ред. В.В.Альта; Россельхозакадемия, Сиб. регион. отд-ние, ГНУ СибФТИ. – Новосибирск. 2013. – 523 с.

8. Шаповалов В.В. Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов // Вестник машиностроения, 2009. №5.– С.49 – 57.

Григорова Тетяна Михайлівна, к.т.н., доцент, Військова академія (м. Одеса)

Буряченко Іван Сергійович, магістрант, Військова академія (м.Одеса),  
[BuriachenkoIvanSerg@yandex.ua](mailto:BuriachenkoIvanSerg@yandex.ua)

## **УРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З МЕТОЮ ЗБЕРІГАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

Актуальним у технічній політиці Збройних сил України залишається завдання, що до підтримання на нормативному рівні показників експлуатаційної надійності озброєння та військової техніки, з одночасним скороченням матеріальних, трудових та фінансових витрат. Відомо, що головною умовою виступає раціональна форма організації і виконання технічного обслуговування і ремонту військової техніки, яка науково обґрунтована. Але необхідно звернути увагу не на наслідки, у вигляді