

УДК 625.032.821

**Е.А. БЕЛОГУРОВ**, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ ДОРОЖНЫМ МЕТОДОМ, РАБОТАЮЩЕГО НА РАЗНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА**

Проанализированы существующие методы диагностирования автомобиля. Усовершенствованы математические модели сил сопротивления движению автомобиля, что даёт возможность получать более точные зависимости для определения данных сил, которые можно применять не только в рамках данного исследования, но и в других задачах создания и эксплуатации автомобилей. Сформулирована методика расчёта диагностического параметра, позволяющая определить значение тягово-скоростных свойств для любого легкового автомобиля. Проанализированы экспериментальные данные, полученные на разных видах топлива.

**Ключевые слова:** уравнение тяговой динамики, тягово-скоростные свойства, коэффициент аэродинамического сопротивления.

**Вступление.** Хорошо известно, что рациональная система технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобилей строится на основе диагностической информации. Между тем современные сервисные станции ориентированы не на контроль технического состояния и прогнозирование нежелательных его изменений, а на устранение уже возникших и обнаруженных пользователем неисправностей. Полнообъёмные ТО выполняют в лучшем случае на фирменных станциях в течение гарантийного срока, да и там нет, например, тяговых стендов – а ведь именно изменение тяговых свойств автомобиля является симптомом возникших дефектов и сигналом о необходимости углубленного диагностирования, т.е. поиска места и определения причин неисправности с последующим ее устранением.

В связи с этим, на сегодняшний день актуальным является создание доступного метода контроля функционирования автомобиля на первичном уровне, т.е. метода общего диагностирования.

**Анализ методов и средств диагностирования автомобиля по тягово-скоростным свойствам.** Анализ показал, что, если исходить из главного критерия, а именно доступности методики проверки тягово-скоростных свойств автомобиля на дороге, то пригодные контрольные показатели таковы (в порядке снижения доступности):

- скорость, измеренная спидометром;
- время разгона;
- скорость, измеренная спутниковым навигатором;
- путь разгона;

Из всех рассмотренных методов можно выбрать второй – проверку тягово-скоростных свойств автомобиля по времени разгона. Именно этот метод для водителя будет самым доступным, понятным и дешёвым.

Диагностике автомобиля по тягово-скоростным свойствам посвящены многие работы [1-4]. В основу всех этих методик положено уравнение тяговой динамики [5].

© Е.А. Белогуров, 2015

Но существующие методы определения составляющих данного уравнения имеют

много допущений и неточностей, что приводит к большой погрешности в определении диагностического параметра. Кроме того, полученные методики или требуют дополнительного дорогостоящего оборудования, или очень сложны и трудоёмки, что делает их труднодоступными для водителя.

Само уравнение тяговой динамики в классическом виде выглядит так

$$P_T - P_w - P_\psi - P_j = 0; \quad (1)$$

где  $P_T$  – тяговая сила на ведущих колёсах автомобиля Н;  
 $P_j$  – преодолеваемая сила инерции автомобиля, Н;  
 $P_\psi$  – сила суммарных дорожных сопротивлений, Н;  
 $P_w$  – сила сопротивления воздуха, Н.

Проведённый анализ отечественных и зарубежных публикаций по диагностике общего технического состояния автомобиля позволил определить актуальные и перспективные направления исследований и сформулировать их основные задачи.

**Анализ составляющих уравнения тяговой динамики и его уточнение.** Для решения практических задач, например, расчета маршрутных норм расхода топлива или нормативов времени разгона и выбега, которые можно применять в качестве диагностических параметров, нужно знать фактическое сопротивление движению. Обычно коэффициенты суммарного дорожного сопротивления  $\psi$  (на гладкой горизонтальной дороге  $\psi$  достаточно близок к коэффициенту сопротивления качению  $f$ ) и аэродинамического сопротивления  $C_x$  [6-8] находят по замедлениям свободного выбега  $j_1$  и  $j_2$  в двух диапазонах скоростей со средними скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Уравнения баланса сил для этих двух скоростей:

$$\begin{cases} m \cdot g \cdot \psi_1 + kF \cdot v_1^2 = m \cdot j_1; \\ m \cdot g \cdot \psi_2 + kF \cdot v_2^2 = m \cdot j_2, \end{cases} \quad (2)$$

При допущении, что  $\psi_1 = \psi_2$ , после преобразований получено

$$C_x = \frac{6m \cdot (j_1 - j_2)}{F \cdot (v_1^2 - v_2^2)}; \quad \psi = \frac{28,3 \cdot (j_2 \cdot v_1^2 - j_1 \cdot v_2^2)}{(v_1^2 - v_2^2) \cdot 10^3}. \quad (3)$$

Метод рекомендован для скоростей до 100 км/ч – при допущении, что в этих пределах сопротивление качению неизменно. Но фактически даже при таких скоростях оно меняется вполне заметно (рис. 1), у массовых шин категорий S и T (для скоростей до 180 и 190 км/ч) – на 9...14%, у скоростных шин категорий H, V – на 9...12%, и даже у самых современных экономичных шин типа ECO – на 5...7%.. Поэтому важно избавиться от указанного допущения и сделать пригодным для реального диапазона скоростей.

Ожидаемое изменение  $f$  (и  $\psi$ ) при переходе от меньшей скорости  $v_2$  к большей  $v_1$  можно охарактеризовать коэффициентом  $K_V$  [9]:

$$K_V = \frac{A \cdot v_1^2 - B \cdot v_1 + C}{A \cdot v_2^2 - B \cdot v_2 + C}; \quad \psi_1 = \psi_2 \cdot K_V. \quad (4)$$

Предложено измерять замедление выбега на любых нужных скоростях, а при обработке результатов учитывать влияние скорости на  $f$ . Чтобы оценить это влияние, выполнялось аппроксимирование показанных на рис. 1 зависимостей и получено выражение для верхней и нижней границ, и для средней поля значений  $f$  (табл. 1).

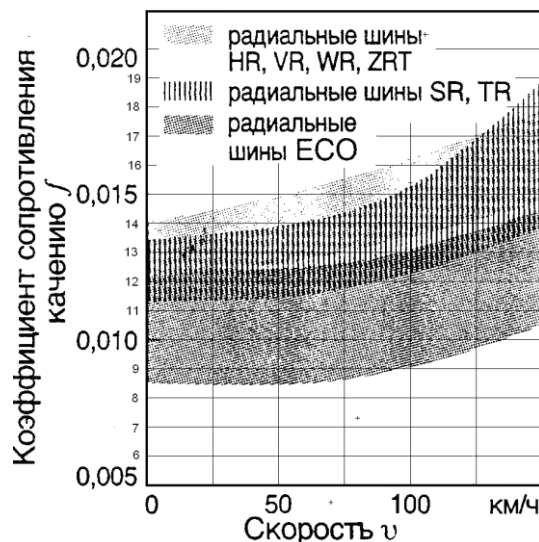


Рисунок 1 - Зависимость сопротивления качению легковых радиальных шин от скорости [8].

Таблица 1 - Аппроксимирующие выражения для зависимостей коэффициента сопротивления качению  $f$  от скорости

|                  |                      |  |
|------------------|----------------------|--|
| Шины<br>HR – ZRT | верхняя граница поля | $0,6762 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 + 1,5214 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,014010$ |
|                  | средняя линия поля   | $0,9619 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 + 0,6057 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,013261$ |
|                  | нижняя граница поля  | $1,2476 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 0,3071 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,012510$ |
| Шины<br>SR, TR   | верхняя граница поля | $3,1124 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 1,2543 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,013601$ |
|                  | средняя линия поля   | $2,2571 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 0,8471 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,012467$ |
|                  | нижняя граница поля  | $1,4019 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 0,4400 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,011334$ |
| Шины<br>ECO      | верхняя граница поля | $1,3562 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 0,7543 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,012484$ |
|                  | средняя линия поля   | $1,4552 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 0,9029 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,010526$ |
|                  | нижняя граница поля  | $1,5543 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 1,0514 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,008569$ |

**Методика и анализ результатов экспериментальных исследований.** Проведение основного эксперимента начиналось с разгона. Автомобиль разгоняли, постепенно выходя на выбранную передачу (прямую или близкую к ней). При скорости 50 км/ч увеличивали подачу топлива до максимума – нажималась педаль акселератора до упора. Поскольку спидометры показывают скорость выше истинной, разгон продолжали до скорости, немного превышающей намеченную. Так, если была намечена скорость 120 км/ч, разгоняли автомобиль до 130. Регистрировались параметры процесса разгона. Потом проводились выбеги. Достигалась указанная скорость, более высокая, чем намеченная (например, 130 км/ч вместо 120 или 55 км/ч

вместо 50), выжимали педаль сцепления, только после этого убирали ногу с педали акселератора, переводили рычаг коробки передач в нейтральное положение и пускали машину накатом до полной остановки. Педаль сцепления не отпускали, чтобы исключить потери на перемешивание масла в трансмиссии.

Проведение эксперимента проводилось сериями заездов, по пять в одну и обратную сторону для каждого вида топлива, для исключения возможного влияния неровностей дороги на полученные значения времени разгона.

В эксперименте был использован автомобиль ВАЗ-2108, который был оснащён газовым оборудованием и водородным генератором. Таким образом, были получены экспериментальные данные для четырёх видов топлива: бензин (АИ-92), газ (пропанобутановая смесь), газ + водород и бензин + водород.

**Выводы.** В результате проведения определения тягово-скоростных свойств автомобиля по предложенной методикой было установлено, что автомобиль находится в исправном состоянии, работоспособность трансмиссии и двигателя соответствует норме. Значения крутящего момента двигателя, при заездах на бензине отвечало 98% от значений внешней скоростной характеристики двигателя (ВСХД [10]). При добавлении водорода в топливно-воздушную смесь значения крутящего момента снижались до 94%. При использовании пропанобутановой смеси и водорода крутящий момент составлял 90% от ВСХД. На чистой пропанобутановой смеси падал до 85%. Снижение значений ВСХД при добавлении к бензину водорода по отношению к чистому бензину можно предположительно объяснить обеднением смеси, так как количество подаваемого водорода пока определить не удалось.

Таким образом, предложенная методика позволила провести предварительную диагностику общего технического состояния автомобиля без использования сложного, дорогостоящего оборудования.

**Список литературы:** 1. Рабинович Э.Х. Измерение тягово-скоростных показателей автомобиля по времени разгона на разных передачах. / [Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Ю.В. Зыбцев] / Український метрологічний журнал. – 2012. – №4. – С.47-52. 2. Методика расчёта тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля на стадии проектирования / [Д.Е. Вохминов, В.В. Коновалов, В.В.Московкин, В.В.Селифонов, В.В.Серебряков] – М.: МАМИ, 2000. С.43. 3. Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом двукратного выбега / [Э.Х.Рабинович, В.А. Зуев, Н.В. Воскобойников] / Автомобильный Транспорт: сб. научн. трудов. – Харьков, ХНАДУ, 2008. – Вып. 22.–С. 49-52. 4. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория / А.И. Гришкевич – Минск, Вышэйшая школа, 1986. – 208 с. 5. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов А.Н. Мощностной баланс автомобиля / В.А. Петрушов, В.В.Московкин, А.Н. Евграфов – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.: ил. 6. Сунцов Н.В. К вопросу об оценке коэффициента сопротивления воздуха и числа Рейнольдса при движении автомобиля. / [Н.В. Сунцов, В.П. Макаров, А. В. Купленов] / Вестник диат: сб. научн. трудов. – Донецк, 2008.– Вып. 3. – С. 42-46. 7. Измерение аэродинамического сопротивления движению автомобиля дорожным методом / [Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, В.А. Зуев, Д.В. Никитин] – Метрологія та вимірювальна техніка: VIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Метрологія-2012» – 9-11 жовтня 2012 р., Харків: наук. праці. – Харків: ННЦ «Інститут метрології», 2012. – С. 390-393. 8. Bosch. автомобильный справочник: пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «ЗА РУЛЕМ», 2004. – 992 с.: ил. 9. Рабинович Э.Х. Статистическая проверка методов

определения аэродинамического сопротивления автомобиля по выбегу / [Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров] / // Сб. «ЕКОВАРНА '2011». /– Варна: Технически университет. — С.347-351. **10.** Возможности ВАЗ-2108 в теории / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/l/4379966/> – Дата обращения: 01.02.2015.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Rabinovich Je.H.* Izmerenie tjugovo-skorostnyh pokazatelej avtomobilja po vremeni razgona na raznyh peredachah. / [Je.H. Rabinovich, V.P. Volkov, Ju.V. Zybcev] / Ukraïns'kij metrologichnij zhurnal. – 2012. – No 4. – p.47-52. **2.** Metodika raschjota tjugovo-skorostnyh svojstv i toplivnoj jekonomichnosti avtomobilja na stadii proektirovanija / [D.E. Vohminov, V.V. Konovalov, V.V. Moskovkin, V.V. Selifonov, V.V. Serebrjakov] – Moscow.: MAMI, 2000. p.43. **3.** *Rabinovich Je.H.* Opredelenie soprotivlenij dvizheniju avtomobilja metodom dvukratnogo vybega / [Je.H. Rabinovich, V.A. Zuev, N.V. Voskobochnikov] / Avtomobil'nyj Transport: sb. nauchn. trudov. – Har'kov, HNADU, 2008. – Issue. 22.–p. 49-52. **4.** *Grishkevich A.I.* Avtomobili. Teorija / A.I. Grishkevich – Minsk, Vyshjeshaja shkola, 1986. – 208 p. **5.** *Petrushov V.A., Moskovkin V.V., Evgrafov A.N.* Moshhnostnoj balans avtomobilja / V.A. Petrushov, V.V. Moskovkin, A.N. Evgrafov – Moscow.: Mashinostroenie, 1984. – 160 p.: il. **6.** *Suncov N.V.* K voprosu ob ocenke koeficienta soprotivlenija vozduha i chisla rejnol'dsa pri dvizhenii avtomobilja. / [N.V. Suncov, V.P. Makarov, A. V. Kuplenov] / Vestnik diat: sb. nauchn. trudov. – Doneck, 2008.– Issue. 3. – p. 42-46. **7.** Izmerenie ajerodinamicheskogo soprotivlenija dvizheniju avtomobilja dorozhnym metodom / [Je.H. Rabinovich, V.P. Volkov, V.A. Zuev, D.V. Nikitin] – Metrologija ta vimirjuval'na tehnika: VIII Mizhnar. nauk.-tehn. konf. «Metrologija-2012» – 9-11 zhovtnja 2012 r., Kharkiv: nauk. praci. – Kharkov: NNC «Institut metrologii», 2012. – p. 390-393. **8.** Bosch. avtomobil'nyj spravocchnik: per. s angl. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moscow.: ZAO «KZHI «ZA RULEM», 2004. – 992 p.: il. **9.** *Rabinovich Je.H.* Statisticheskaja proverka metodov opredelenija ajerodinamicheskogo soprotivlenija avtomobilja po vybegu / [Je.H. Rabinovich, V.P. Volkov, E.A. Belogurov] / Sb. «EKOVARNA '2011». /– Varna: Tehniceski universitet. — p.347-351. **10.** Vozmozhnosti VAZ-2108 v teorii / [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.drive2.ru/l/4379966/> – Data obrashhenija: 01.02.2015.

*Поступила (received) 05.02.2012*