

Зыбцев Ю.В.

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный
университет,
г. Харьков, Украина
E-mail: dandz0814@gmail.com

ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 629.331: 656.131.2: 656:138

Описан метод общего диагностирования динамических свойств автомобиля по времени разгона и выбега на дороге ограниченной длины.

Ключевые слова: дорожные испытания, короткая дорога, разгон, выбег.

Введение. В эксплуатации показатели автомобилей постоянно меняются, чаще в сторону ухудшения. Изменения, особенно повышающие расход топлива, надо своевременно выявлять. Эта задача успешно решается при общем диагностировании автомобиля на тяговом роликовом стенде. Однако тяговые стенды дороги, СТО их не покупают, считая, что на такие услуги нет спроса: клиент уже выявил ухудшение технического состояния, и от СТО требуется лишь поиск и устранение дефекта. Другой аргумент – современный автомобиль имеет бортовые средства диагностики, например, расходомер топлива и потому не нуждается во внешнем диагностировании.

Эти доводы справедливы лишь частично. Квалификации, опыта и чувствительности водителей недостаточно, чтобы своевременно обнаружить ухудшение тяговых свойств автомобиля. В практике кафедры бывало, что водитель замечал ухудшение, когда тяговые свойства снизились в 2-3 раза. Но при этом автомобиль не просто «плохо едет» – он впустую расходует топливо, т.е. невозстановимые природные ресурсы.

Ссылки на оснащенность современного автомобиля средствами бортовой диагностики для Украины неактуальны. Средний возраст легкового автопарка страны составляет 16 лет по самым оптимистическим оценкам, средняя продолжительность жизненного цикла – 30 лет [1]. Так что основная часть украинских легковых автомобилей бортовой диагностики не имеет.

Постановка проблемы. В этих условиях необходимо совершенствовать доступные для рядовых водителей методы диагностирования на дороге, особенно их варианты, не требующие сложного или чрезмерно дорогого оборудования.

Эта задача успешно решена в недавних работах ХНАДУ – обоснованы методы проверки автомобиля по разгону и выбегу на дороге с измерением ускорений и замедлений простыми средствами — спидометром и секундомером мобильного телефона [2]. Эксперименты показали, что реальная картина сопротивлений не укладывается в общепринятые модели, и это следует учитывать при расчетах нормативов диагностических параметров – пути и времени выбега и разгона. Рекомендован разгон до 100...120 км/ч на прямой или близкой к ней передаче с последующим выбегом до остановки. Однако для этого нужны прямые горизонтальные участки дороги длиной 2...2,5 км. Такие участки – большая редкость.

Предложенное решение. Мы предложили испытывать автомобиль на короткой дороге, выполняя разгоны на понижающих передачах, а выбеги – с меньших скоростей [3].

Не менее актуальны такие испытания в научных исследованиях, например, при проверке работы автомобиля на альтернативных видах топлива. Обычно такие проверки выполняют на стендах с обязательным последующим тестом на дороге – только реальное движение по дороге может выявить все особенности поведения двигателя и автомобиля в целом.

Процесс диагностирования включает в себя идентификацию автомобиля, выведение его на режим проверки, выполнение измерений диагностических параметров, сопоставление результатов с нормативами и постановку диагноза. При разработке метода необходимо учитывать все эти операции.

Наш анализ показал, что промах в оценке реальной массы автомобиля на 50-70 кг может вызвать ошибку диагноза – пропуск неисправности либо преждевременную браковку объекта [4]. Проверка по выбегу мало чувствительна к неточности массы, зато неправильный выбор коэффициента сопротивления качению может недопустимо исказить расчетный норматив времени выбега.

Заложенные в первой половине XX века методы расчета используют описание крутящего момента двигателя формулой С.Р. Лейдермана. Однако у современных впрысковых двигателей с электронным управлением форма кривой момента бывает очень далека от параболы, ее приходится описывать полиномом 6-й степени или кусочной функцией с полиномами 3-4 степеней.

Сопротивление качению резко падает при скоростях ниже 20 км/ч, и описание его зависимости от скорости требует полиномов 4-5 степеней. То же можно сказать о сопротивлениях холостого хода трансмиссии.

Нуждается в пересмотре описание сопротивления воздуха квадратичной зависимостью от скорости. Фактическая картина намного сложнее. Это особенно наглядно демонстрирует анализ процессов выбега методом решения уравнений движения для последовательных пар точек с близкими скоростями (метод близких скоростей). Для практических расчетов удобно использовать постоянное значение коэффициента сопротивления воздуха C_x , но тогда приходится признать переменным показатель степени при скорости.

С учетом всего сказанного дифференциальное уравнение движения автомобиля принимает довольно сложный вид. Так, например, выглядит уравнение разгона в зоне 60 – 100 км/ч автомобиля Volkswagen Passat с двигателем 2Е и шинами Michelin Energy Saver:

$$\frac{dV}{dt} = \left[\frac{M_e u_i u_0 \eta}{r_{ko} - \lambda_M M_e u_i u_0 \eta} - 0,5 \rho C_x F \cdot \left(\frac{v}{3,6} \right)^{8,94 \cdot 10^{-10} v^4 - 4,12 \cdot 10^{-7} v^3 + 9,24 \cdot 10^{-5} v^2 - 0,01057 v + 2,45} - \right. \\ \left. - (1,3G_a - 1,2q_{tp}) \cdot (1,55 \cdot 10^{-7} v^2 - 1,051 \cdot 10^{-5} v + 0,008569) \right] \cdot \frac{1}{\delta \cdot m_a} \quad (1)$$

где

$$M_e = 2,29 \cdot 10^{-19} n^6 - 5,76 \cdot 10^{-15} n^5 + 5,78 \cdot 10^{-11} n^4 - 2,94 \cdot 10^{-7} n^3 + 7,9 \cdot 10^{-4} n^2 - 1,0376n + 65.504;$$

$$n = \frac{v \cdot u_i \cdot u_0}{0,377 \cdot (r_{ko} - \lambda_M \cdot M_e \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta)}$$

Эти дифференциальные уравнения далеки от табличных интегралов. Предложено решать их как краевую задачу методом конечных разностей в пакете Microsoft Excel. Разработан алгоритм решения, приемлемый для специалиста со средним образованием. Анализ показал, что если принять шаг сетки (т.е. дискретизации диапазона скоростей) 5 км/ч или менее; то погрешность результата составит не более 0,1 %.

В уравнении (1) не учтено падение крутящего момента в зависимости от ускорения и смещение точки максимального момента вдоль оси оборотов. Теория разгона автомобиля с современным двигателем освещена в литературе недостаточно. Она не позволяет описать указанные изменения конфигурации кривой момента не только в числах, но даже по знаку (т.е. смещение в область меньших или больших оборотов).

Анализ показал, что проверка технического состояния привода автомобиля возможна на III и II передачах, но не на I передаче – слишком мала длительность разгона, погрешность ручной засечки времени на секундомере может исказить диагноз.

Экспериментальная проверка. Опытная проверка выполнялась на горизонтальном участке дороги длиной 1,7 км. Скорость измеряли проградуированным спидометром и параллельно приемником GPS Magellan Triton 300, время – по видеозаписи с частотой 30 кадров в секунду, путь – по разметке дороги, в качестве которой использовали стандартное барьерное ограждение с шагом стоек $4 \pm 0,01$ м. Видеосъемку спидометра выполнял сам водитель, удерживая цифровой фотоаппарат на ступице руля (при этом изображение на видеозаписи получалось стабильнее, чем при других способах). Такую методику легко освоили все 48 водителей с самым разным стажем работы.

Для экспериментов выбирали дни без осадков, с сухой и чистой дорогой, со скоростью ветра менее 3 м/с. Загрузка автомобилей была от 2 до 5 человек. Массу автомобилей определяли при проверке тормозов на роликовом стенде Weissbarth BD 600 по показаниям весового устройства стенда.

Эксперименты на разных легковых автомобилях в целом подтвердили осуществимость и рациональность предложенного метода. Выявлены особенности работы автомобилей в испытательных режимах.

Автомобиль Honda Civic с автоматической трансмиссией не удалось испытывать на фиксированных передачах, несмотря на наличие системы Tiptronic – АКП самопроизвольно переключалась в режим D, причем на разных оборотах. В режиме S обороты в момент переключения варьировали меньше [5].

Испытания переднеприводных автомобилей на I передаче не удавались – ведущие передние колеса разгружал приложенный к ним момент, силы сцепления уменьшались, колеса начинали буксовать. ВАЗ-2105 не буксовал, так как приложенный момент догружает задние ведущие колеса. Ручная засечка времени давала погрешность 0,2...0,4 с по сравнению с видеозаписью [6]. Путь разгона на трех низших передачах с запасом укладывался в 500 м. Путь выбега с 50 км/ч до остановки доходил до 760 м. Отмечена повышенная вариация замедлений при скоростях ниже 20, особенно ниже 10 км/ч. Надежнее измерять параметры выбега с 50 или 40 до 20 км/ч. По данным разгона и выбега восстановлены кривые эффективного крутящего момента ряда двигателей. Они позволили подобрать эмпирические поправки, учитывающие изменение конфигурации кривой момента в зависимости от передаточного числа включенной передачи. Разработана методика расчета нормативов времени разгона при недостаточных исходных данных [7]. Материалы исследования доложены на международной конференции SAE в Дюссельдорфе в сентябре 2018 г. [8].

Выводы. Описанный метод общего диагностирования может быть использован водителями легковых автомобилей для самостоятельной проверки технического состояния без закупки дорогого оборудования. Особенно удобен метод для подвижного состава, работающего в отрыве от баз обслуживания, а также для спецмашин, у которых ухудшение тягово-скоростных свойств может привести к потерям человеческих жизней (автомобили скорой помощи, пожарные, спасательные, а также подвижной состав вооруженных сил и силовых структур).

Приемы дорожных испытаний могут быть успешно использованы в научных исследованиях, в том числе при проверке новинок в конструкции автомобиля и в используемых топливах и автоэксплуатационных материалах.

Литература:

1. Средний возраст автомобиля в Украине составляет 16 лет - UBR / [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ubr.ua> > Рынки > Авто
2. Белогуров Е.А. Динамические методы диагностирования автомобиля в дорожных условиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Белогуров Евгений Александрович. – Харьков, 2011. – 200 с.
3. Зыбцев Ю. Диагностирование автомобиля на дороге малой длины / Юрий Зыбцев, Владимир Волков, Эрнест Рабинович // Сб. «Транспорт, экология – устойчиво развитие». XXIII научно-техническа конференция с международно участие. ЕКО-ВАРНА '2016. Технически университет – Варна. Кафедра «Транспортна техника и технологии». С. 158-166. 12-14 Май 2016.
4. 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. 25-30.
5. Волков В.П. Дорожное диагностирование автомобиля с автоматической трансмиссией / В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, Ю.В. Зыбцев // Автомобильный транспорт: сб. научн. трудов. – Харьков, ХНАДУ, 2013. – вып. 33. – С. 7-12.
6. Дорожное диагностирование заднеприводных автомобилей / В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, Е.А. Белогуров, Ю.В. Зыбцев, А.С. Тараненко // Вестник ХНАДУ / Сб. научн. тр. – Х.: Изд-во ХНАДУ. – 2014. – Вып. 64. – С. 50-54
7. Нормирование параметров разгона легкового автомобиля / В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, Ю.В. Зыбцев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле-тракторобудування». – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 9(118). – С. 28-32
8. Rabinovich E. Kh. Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data / Ernest Rabinovich, Igor V. Gritsuk, Yuriy Zybtssev [et al.] // SAE International 2018-01-1771 Published 10 Sep 2018.

Summary

Y. Zybtssev Road test of car in operation and research

Diagnosis of the car is a necessary means for early detection of developing malfunctions. A technique for diagnosing on a short road based on the acceleration in the second and third gears and coasting from 50 or 40 to 20 km / h is proposed. The results should be compared with the reference values calculated, taking into consideration the speed rolling resistance dependence, described by the square trinomial, the speed air resistance dependence with the variable exponent, the losses of the transmission idling mode and the progressive total resistances decrease at speeds below 25 km / h. The general speed dependence of the total resistance is described by a sixth-degree polynomial but not the second-degree one, as many researchers believe. The experimental check was performed on eight cars of different models.

Measuring and recording equipment: GPS receiver Magellan Triton 300, digital cameras Canon, an anemometer. The processing of video recordings was carried out in the Virtual Dub and MS Excel programs. The evaluation based on the acceleration and coasting times showed the engine technical condition. According to the records of the II, III and IV gear's torque curves were restored. In some cases the curves are far from the nominal steady-state curve, but are close to the chassis dynamometer curve. So, the on-road diagnostics with simple equipment provides true information, suitable both for the vehicle condition assessing and for research.

Keywords: road test, short road, acceleration, coasting.

References

1. The average age of a car in Ukraine is 16 years / Srednij vozrast avtomobilja v Ukraine sostavljaet 16 let - UBR / <https://ubr.ua> › Rynki › Avto
2. Belogurov E.A. Dynamic vehicle diagnostic methods for road conditions / Dinamicheskie metody diagnostirovanija avtomobilja v dorozhnyh uslovijah: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.22.20 / Belogurov Evgenij Aleksandrovich. – Har'kov, 2011. – 200 s.
3. Zybcev Ju. Diagnosing a car on a short road / Diagnostirovanie avtomobilja na doroge maloj dliny / Jurij Zybcev, Vladimir Volkov, Jernest Rabinovich // Sb. «Transport, ekologija – ustojchivo razvitie». XIII nauchno-tehnicheska konferencija s mezhdunarodno uchastie. EKOVARNA '2016. Tehniceski universitet – Varna. Kafedra «Transportna tehnika i tehnologii». S. 158-166. 12-14 Maj 2016.
4. Rabinovich E.H. Measurement of vehicle speed indicators for acceleration time on different gears Izmerenie tjagovo-skorostnyh pokazatelej avtomobilja po vremeni razgona na raznyh peredachah. / E.H. Rabinovich, V.P. Volkov, Ju.V. Zybcev // Ukraïnskij metrologičnij zhurnal. – 2012. – №4. – S. 25-30.
5. Volkov V.P. Road diagnostics of a car with an automatic transmission / Dorozhnoe diagnostirovanie avtomobilja s avtomaticheskoy transmissiej / V.P. Volkov, E.H. Rabinovich, Ju.V. Zybcev // Avtomobil'nyj transport: sb. nauchn. trudov. – Har'kov, HNADU, 2013. – vyp. 33. – S. 7-12.
6. Road diagnostic of RWD cars / Dorozhnoe diagnostirovanie zadneprivodnyh avtomobilej / V.P. Volkov, E.H. Rabinovich, E.A. Belogurov, Ju.V. Zybcev, A.S. Taranenko // Vestnik HNADU / Sb. nauchn. tr. – H.: Izd-vo HNADU.– 2014. – Vyp. 64. – S. 50-54
7. Rationing parameters of acceleration of a car / Normirovanie parametrov razgona legkovogo avtomobilja / V.P. Volkov, E.H. Rabinovich, V.A. Zuev, Ju.V. Zybcev // Visnik NTU «HPI». Serija: Avtomobile-traktorobuduvannja». – H.: NTU «HPI», 2015. – № 9(118). – S. 28-32
8. Rabinovich E. Kh. Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data / Ernest Rabinovich, Igor V. Gritsuk, Yuriy Zybsev [et al.] // SAE International 2018-01-1771 Published 10 Sep 2018.