

УДК 625.032.821

В.°П. ВОЛКОВ, д-р техн. наук, проф. ХНАДУ, Харьков;

Э.°Х. РАБИНОВИЧ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ;

В. А. ЗУЕВ, инженер, асс. ХНАДУ;

Ю. В. ЗЫБЦЕВ, инженер, ст. преп. ХНАДУ

НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗГОНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В статье обоснован выбор метода расчета нормативов времени разгона автомобилей при дорожном диагностировании с эмпирическими поправками, отражающими изменение конфигурации кривой крутящего момента при разгоне на разных передачах: снижение максимального крутящего момента и смещение его частоты вдоль оси частот вращения коленчатого вала в зависимости от передаточного числа включенной передачи в трансмиссии, а также увеличение крутизны ветвей этой кривой в зависимости от возраста или наработки двигателя.

Ключевые слова: разгон, время, крутящий момент, максимум, частота, снижение, смещение, эксперимент, расчет, поправки.

Введение. Для нормирования диагностических параметров, характеризующих тягово-скоростные свойства автомобиля – тяговой силы, ускорения разгона и т.д. – нужна кривая крутящего момента на внешней скоростной характеристике (ВСХД). Однако при разгоне вид этой кривой искажается – меняется форма, снижается максимальный крутящий момент, а точка максимума смещается к другим частотам вращения коленчатого вала. Эти изменения необходимо учитывать в расчетах.

Анализ основных достижений и литературы. Разгонные характеристики двигателя и автомобиля исследовали с 50-х годов XX века отечественные и зарубежные специалисты [1-3]. Интерес к этой теме заметно возрос с проникновением в стендовую технику современных электронных систем [4-7]. Все авторы признавали влияние ускорения разгона на форму и размеры кривой момента, однако не удалось найти ни одной публикации, в которой говорилось бы, как оценить количественно это влияние – ни на уменьшение момента, ни хотя бы на направление смещения максимума. В [8] описаны попытки получить разгонные кривые момента по результатам дорожных испытаний. В [9] предложены эмпирические поправки к обычному расчету:

$$K_1 = 1 - 0,02 \cdot u_{kn}, \quad \Delta n_M = \pm 275 \cdot u_{kn}. \quad K_2 = 1 - \left[(n - \Delta n_M) / (4n_N) \right]^2, \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий снижение крутящего момента в зависимости от передачи;

Δn_M – смещение точки максимального момента вдоль оси частот вращения коленвала, мин⁻¹; принимать знак "+" для двигателей с плоской кривой момента, "-" для случая выпуклой кривой;

K_2 – коэффициент, учитывающий увеличение крутизны ветвей кривой крутящего момента справа и слева от точки максимума; предложено вводить K_2 для автомобилей старше 5 лет;

u_{kn} – передаточное число передачи, для которой ведется расчет;

n_N – частота вращения коленвала при номинальной мощности, мин⁻¹.

Позднее формула для K_2 была изменена:

$$K_2 = 1 - T \cdot [U_1 + U_2 \cdot (n/n_M - 1)^2], \quad (2)$$

© В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, Ю.В. Зыбцев, 2015

где T – возраст автомобиля в годах;

n_M – обороты максимального момента, мин^{-1} .

По разнице номинальной кривой момента двигателя ВАЗ-21011 и кривой при полностью изношенной ЦПГ [10] приняты значения $U_1=0,018$, $U_2=0,03$.

Цель исследования и постановка задачи. Цель исследования – повышение точности нормирования диагностических параметров в практических расчетах. Для достижения этой цели нужно выбрать метод расчета и, в частности, проверить и при необходимости уточнить указанные поправки.

Методика проверки и сопоставления вариантов расчета. Узкой практической задачей расчета в настоящем случае является вычисление времени разгона автомобиля от первой заданной скорости до второй. Более широкая задача – расчет диаграммы разгона $v(t)$. Все варианты расчета – это, по существу, варианты аппроксимации экспериментальной диаграммы. По каждому варианту вычислялась относительная ошибка аппроксимации по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum [1 - t(v_i)/t_i]^2}{n-1}} 100\%, \quad (2)$$

где t_i – экспериментальное значение времени достижения скорости v_i ;

$t(v_i)$ – расчетное значение времени достижения скорости v_i ;

n – количество точек.

Поскольку использовались значения времени разгона по разным автомобилям, в разных диапазонах скоростей и на разных передачах, результаты разных расчетов и значения ошибки аппроксимации могли оказаться несопоставимыми. Поэтому при сравнении разных вариантов расчета для одного автомобиля на одной передаче каждому варианту присваивалось место по значению ошибки аппроксимации. Окончательный выбор предпочтительного варианта определялся по средней ошибке и сумме мест во всех выполненных расчетах.

Сравнивались следующие варианты расчета разгона:

а) Номинальная кривая – опубликованная кривая крутящего момента по ВСХД, аппроксимированная полиномом 6-ой степени (такая аппроксимация искажала конфигурацию кривой в допустимых пределах);

б) Н + Е – номинальная кривая с тремя эмпирическими поправками;

в) Н + Е T2/3 – предыдущий вариант, но в расчетной формуле для K_2 приняты значения $U_1=0,006$, $U_2=0,01$; такое изменение подсказано опытом расчетов для более долговечных двигателей, в частности, двигателя 2Е автомобиля Volkswagen Passat В4;

г) Н + Е – K_2 – номинальная кривая с двумя эмпирическими поправками K_1 и Δn_M ; поправка K_2 уместна только в расчетах эталонных значений для автомобилей конкретного возраста T . Подсчитанный с нею норматив говорит, чего можно ждать от автомобиля после такого срока эксплуатации, а сопоставление с временем, вычисленным без учета K_2 , показывает, насколько далеко от идеального нынешнее техническое состояние двигателя, в частности, его ЦПГ. Однако при расчете нормативов времени разгона для автомобилей, снятых с производства R лет назад, учитывать K_2 необходимо, принимая, например,

$$T = R + 3; \quad (3)$$

д) Л – кривая, исходящая из значений момента, вычисленных по формуле С.Р. Лейдермана:

$$M_e = A + Bn - Cn^2, \quad (4)$$

где n – текущая частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ;

A, B, C – по формулам, приведенным, например в [4];

е) Л+Е– предыдущая кривая с тремя эмпирическими поправками;

ж) Л+Е T2/3 (как в п. в);

и) Л+Е– K_2 (как в п. г);

к) Ном.3+Е – Номинальная кривая, аппроксимированная полиномом 3 степени + эмпирические поправки;

л) Ном.3+Е T2/3 (как в п. в);

м) Ном.3+– K_2 (как в п. г).

В расчетах использованы данные экспериментов на автомобилях ВАЗ-21053 (разгоны на I, II, III и IV передачах), KIA Cerato (III передача), Honda Civic (Drive), Lada Priora (II и III передачи), ВАЗ-2111 (II и III передачи), Volkswagen Polo Sedan (II и III передачи), Volkswagen Passat B4 (II и III передачи), Chery Tiggo (разгон на IV передаче), Ford Focus II (IV передача на спуск), DAEWOO Matiz (II и III передачи).

Табл. 1 – пример расчета разгона одного автомобиля на одной передаче. Верхняя строка – скорость, откорректированная по градуировке. Вторая строка – экспериментальные данные, время достижения автомобилем скорости, указанной в каждом столбце. В последующих строках приведены расчетные значения времени для каждого из сравниваемых методов. Предпоследний столбец – основная ошибка аппроксимации для данного варианта. Последний столбец – место, занятое вариантом по критерию ошибки аппроксимации.

В табл. 2 сведены результаты расчета по всем автомобилям. Во втором столбце указана сумма мест, занятых каждым методом во всех расчетах, в третьем приведены значения средней по всем автомобилям относительной ошибки каждого варианта. Как видно из табл. 2, по сумме мест в каждой группе все варианты с эмпирическими поправками лучше, чем такие же варианты, но без поправок. Самые близкие к эксперименту значения дают расчеты с уменьшенными значениями K_2 . Но, как уже отмечалось, этот коэффициент применим только в отдельных случаях. Из вариантов без K_2 лучшее приближение к эксперименту дает расчет по номинальной кривой, аппроксимированной полиномом 6-ой степени, несколько хуже расчеты при аппроксимации полиномом 3-ей степени и при пользовании формулой Лейдермана.

Таблица 1 – Сравнение методов расчета по автомобилю Chery Tiggo

V, км/ч	54,3	63,8	73,4	83,0	92,7	102,4	112,1	121,9	– ε	Место
t эксп., с	0	3,10	6,11	9,19	12,57	16,25	20,31	24,47		
Ном. Апб	0	3,02	5,99	9,00	12,14	15,48	19,08	22,98	4,20	6
Ном.6+Е	0	3,37	6,68	10,02	13,51	17,24	21,28	25,72	7,42	9
Ном.6+Е T2/3	0	3,18	6,31	9,48	12,79	16,32	20,14	24,30	2,12	2
Ном.6 – K2	0	3,09	6,14	9,24	12,46	15,90	19,62	23,65	2,02	1
Л	0	2,79	5,57	8,39	11,29	14,30	17,50	20,96	11,33	11
Л+Е	0	3,11	6,21	9,33	12,54	15,89	19,47	23,39	2,58	4
Л+Е T2/3	0	2,86	5,75	8,71	11,79	15,06	18,60	22,53	7,05	8
Л+Е–K2	0	2,95	5,92	8,95	12,12	15,48	19,13	23,19	4,41	7
Ном.3+Е	0	3,39	6,77	10,20	13,72	17,41	21,34	25,65	8,52	10
Ном.3+Е T2/3	0	3,20	6,40	9,65	13,00	16,49	20,20	24,24	3,19	5
Ном.3+Е – K2	0	3,11	6,23	9,40	12,66	16,06	19,67	23,59	2,18	3

Таблица 2 – Сравнение методов расчета по всем автомобилям

Вариант расчета	Сумма мест	Ср. относительная ошибка, %
Номинальная кривая	128	15,81
Ном. + эмпирич. поправки	120	16,03
Ном.+ эмпирич. поправки с уменьшенным K_2	95	16,92
Ном. + эмпирич. поправки без K_2	97	13,51
Л	145	18,91
Л + эмпирич. поправки	87	11,70
Л + эмпирич. поправки с уменьшенным K_2	102	14,47
Л + эмпирич. поправки без K_2	111	17,65
Ном. кривая, аппроксимированная полиномом 3 степени+ эмпирич. поправки	113	16,30
Ном. кривая, аппроксимированная полиномом 3 степени+ эмпирич. поправки с уменьш. K_2	83	11,29
Ном. кривая, аппроксимированная полиномом 3 степени+ эмпирич. поправки без K_2	110	15,82

Оценки по средней относительной ошибке не так однозначны – сильно сказывается расхождение между расчетными и экспериментальными значениями на малых скоростях, выраженное их отношением $t(v_i)/t_i$.

Вывод. Исследование позволило рекомендовать в качестве предпочтительного метод расчета контрольных значений времени разгона автомобилей на разных передачах по номинальной кривой крутящего момента с эмпирическими поправками, отражающими изменение этой кривой в зависимости от ускорения разгона. Расчет, основанный на формуле Лейдермана, допускается ограниченно в случаях, когда нет номинальной кривой.

Список литературы: 1. Шмидт А.Г. Мощностные показатели двигателя на режиме разгона автомобиля / Шмидт А.Г., Новохатный П.Н., Сытин К.Ю. // Автомоб. пром. – № 7. – 1977. – С. 18-20. 2. Лурье М.И. Получение разгонной характеристики двигателя путем стендовых испытаний автомобиля / М.И. Лурье // Автомоб. пром. – 1958. – № 8. – С.22-25. 3. Performance measurements on chassis dynamometers. Published by Rototest Research Institute, March 2005. Part 2/2. SAL-N05030802-CH2-PRI04.pdf. 4 .MD Mustang Dynamometer. Mustang Dyno Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.mustangdyne.com/mustangdyne/dyno-library>. 5. Bergeron B. Dynamometer Tech: How They Work [Электронный ресурс] / Bob Bergeron – Режим доступа к ресурсу: // <http://www.land-and-sea.com/dyno-dynamometer-article.htm> 6. Бурдинский И.Н. Исследовательский комплекс для измерения крутящего момента двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / И.Н Бурдинский – Режим доступа к ресурсу: http://www.khstu.ru/rus/ics/ics_pdf/N07_15.pdf 7. Pomiar momentu bezwładności silnika pojazdu Moment of inertia measurement of vehicle engine / Martin PECHA, Josef POŠTA, Zdeněk ALEŠ, Bohuslav PETERKA // Wydawca: Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Czasopismo: Eksploatacja i Niezawodność

(Maintenance and Reliability). – NR 3. – 2010. – s. 44-47. / [Электронный ресурс] Режим доступа к статье: <http://www.ein.org.pl/podstronywydania/47pdf07.pdf> **8.** Изменение конфигурации кривой крутящего момента ДВС при разгоне автомобиля / *В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, И.В. Пономаренко, Ю.В. Зыбцев, В.А. Зуев, В.В. Митасов* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле-тракторобудування». – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 27-32. – Бібліогр.: 5 назв. **9.** Рабинович Э.Х. Математическое моделирование разгонных кривых двигателя. Эмпирический поход / *Рабинович Э.Х., Зыбцев Ю.В.* // Всеукраїнська науково-практична конференція "Інформаційні технології і мехатроніка". Харків, 15 квітня 2014 р : Матеріали конференції. – С. 120-122. **10.** Methodika i rezultaty provedeniya ispytaniy dvigatelya VAZ 21011 na motornom masle s dobavkoy Rojl Tritment (RT) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.toppartner.ru/allinfo/rezults/roil/mam1.htm>. **11.** Methodika rascheta tjavovskorostnykh svoystv i toplivnoy ekonomichnosti avtomobilja na stadii proektirovaniya. Uchebnoe posobie / [*Vohminov D.E., Konovalov V.V., Moskovkin V.V. i dr.*] – М.: МГАПИ, МГТУ «МАМИ».–2000.–43 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Shmidt A.G.* Moschnostnyie pokazateli dvigatelya na rezhime razgona avtomobilya / *Shmidt A.G., Novohatnyiy P.N., Syitin K.Yu.* Avtomob. prom., # 7 1977. – p. 18-20. **2.** *Lur'e M.I.* Poluchenie razgonnoy harakteristiki dvigatelya putem stendovyih ispytaniy avtomobilya / *M.I. Lur'e* . Avtomob. prom.. 1958. – # 8. – P.22-25 **3.** Performance measurements on chassis dynamometers. Published by Rototest Research Institute, March 2005. Part 2/2. SAL-N05030802-CH2-PRI04.pdf. **4.** .MD Mustang Dynamometer. Mustang Dyno Library / [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa k resursu: <http://www.mustangdyne.com/mustangdyne/dyno-library> **5.** *Bergeron B.* Dynamometer Tech: How They Work / *Bob Bergeron* . [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa k resursu: <http://www.land-and-sea.com/dyno-dynamometer-article.htm> **6.** *Burdinskiy I.N.* Issledovatel'skiy kompleks dlya izmereniya krutyashego momenta dvigatelya vnutrennego sgoraniya / *I.N. Burdinskiy* . [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa k resursu: http://www.khstu.ru/rus/ics/ics_pdf/N07_15.pdf **7.** Pomiar momentu bezwładności silnika pojazdu. Moment of inertia measurement of vehicle engine / *Martin PEXA, Josef POŠTA, Zdeněk ALEŠ, Bohuslav PETERKA* . Wydawca: Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Czasopismo: Eksploatacja i Niezawodność (Maintenance and Reliability). – NR 3. – 2010. – P. 44-47. /: <http://www.ein.org.pl/podstronywydania/47pdf07.pdf> **8.** Изменение конфигурации кривой крутящего момента ДВС при разгоне автомобиля / *В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, И.В. Пономаренко, Ю.В. Зыбцев, В.А. Зуев, В.В. Митасов* . Visnik NTU «KhPI». Serija: Avtomobile-traktorobuduvannja». – Kharkov: NTU «KhPI», 2014. – No 9 (1052). – P. 27-32. – Bibliogr.: 5 nazv. **9.** *Rabinovich E.H.* Matematicheskoe modelirovanie razgonnykh krivykh dvigatelja. Jempiricheskij podhod / *Rabinovich E.H., Zybcev Y.V.* / Vseukraїns'ka naukovo-praktichna konferencija "INFORMACIJNI TEHNOLOGII I MEHATRONIKA". Kharkov, 15 kvitnja 2014 r. Materiali konferencii. – p. 120-122. **10.** Metodika i rezul'taty provedeniya ispytaniy dvigatelja VAZ 21011 na motornom masle s dobavkoj Rojl Tritment (RT) / Jelektronnyj resurs . Rezhim dostupa <http://www.toppartner.ru/allinfo/rezults/roil/mam1.htm>. **11.** Metodika rascheta tjavovskorostnykh svoystv i toplivnoj ekonomichnosti avtomobilja na stadii proektirovaniya. Uchebnoe posobie / [*Vohminov D.E., Konovalov V.V., Moskovkin V.V. i dr.*] / Moscow: MGAPI, MGTU «МАМИ».–2000.–43 p.

Поступила (received) 27.01.15