

УДК 625.032.821

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

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

**И. И. ПОНОМАРЕНКО**, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ;

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

**В. А. ЗУЕВ**, инженер, асс. ХНАДУ;

**В. В. МИТАСОВ**, студент ХНАДУ

### **ИЗМЕНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ КРИВОЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВС ПРИ РАЗГОНЕ АВТОМОБИЛЯ**

В статье описаны в сопоставлении с номинальными графиками кривые крутящего момента ДВС, восстановленные по данным разгона автомобилей на разных передачах. Снижение максимального момента не превышало 8 %, однако в зоне низких оборотов момент падает в 3...6 раз. Обороты максимального момента могут смещаться как в зону меньших, так и в зону больших частот.

**Ключевые слова:** крутящий момент, разгон, максимум, частоты, снижение, смещение, эксперимент.

**Введение.** При нормировании диагностических параметров, характеризующих работу силового агрегата автомобиля – тяговой силы, ускорения разгона и т.п. – необходимо исходить из возможностей двигателя, характеризуемых кривой крутящего момента на внешней скоростной характеристике (ВСХ). Однако при разгоне вид этой кривой искажается – снижается максимальный крутящий момент, а точка максимума смещается вдоль оси оборотов. Желательно уметь предсказывать эти изменения.

**Анализ основных достижений и литературы.** Эти вопросы исследовали с 50-х годов XX века. Ими занимались М.И. Лурье, Б.С. Фалькевич, А.Г. Шмидт и многие другие. В работах акад. В.Н. Болтинского указано, что при разгоне максимальное значение крутящего момента получается при меньшей угловой скорости вращения, чем на характеристике, снимаемой при установившихся нагрузках, на 20...30 с<sup>-1</sup>, т.е. на 100...200 мин<sup>-1</sup>. Примерно такое смещение оборотов максимального момента получил А.Г. Шмидт [1] на автомобиле класса «Жигулей».

Однако в стендовом эксперименте [2] у автомобиля «Москвич-402» выявлено смещение на 1000 мин<sup>-1</sup>, от 2750 до 1750 мин<sup>-1</sup>, а у Volkswagen – на 400, от 1800 до 2200 мин<sup>-1</sup>, т.е. в область более высоких оборотов (рис. 1). Так же к большим оборотам смещен максимум у автомобиля VW Passat 1.8 T [3] – рис. 2.

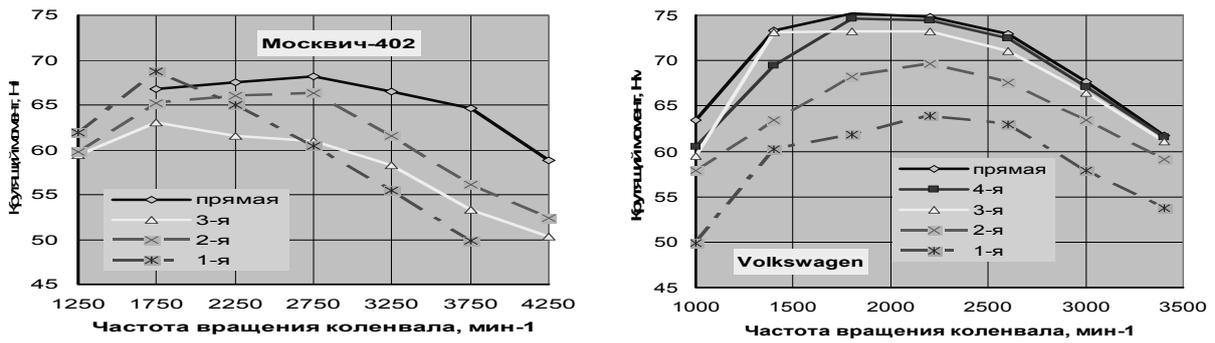


Рисунок 1 – Кривые крутящего момента автомобилей «Москвич-402» (слева) и Volkswagen при разгоне на разных передачах [2]

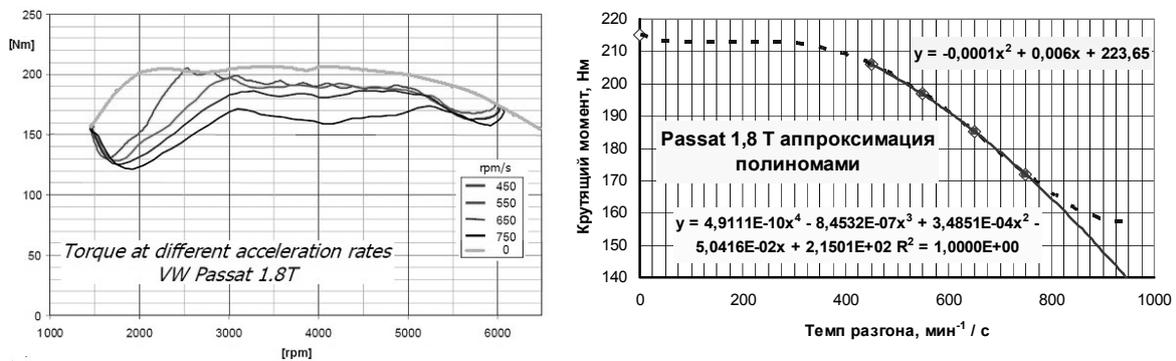


Рисунок 2 – Результаты измерения крутящего момента на ступицах ведущих колес автомобиля VW Passat 1.8 T на стенде Rototest VPA-RX 2WD (слева) и их обработка [3]

**Цель исследования и постановка задачи.** Цель исследования – повышение точности нормирования диагностических параметров. Для достижения этой цели нужно, в частности, изучить изменение конфигурации кривых крутящего момента ДВС, вызванное ускорением при разгоне автомобиля.

**Методика восстановления кривой крутящего момента по параметрам разгона и выбега автомобиля.** Значение крутящего момента двигателя вычисляется по известной формуле

$$M_e = \frac{P_{ко} \cdot r_d}{u_{кп} \cdot u_0 \cdot \eta}, \quad (1)$$

где  $P_{ко}$  – суммарная сила тяги на всех ведущих колесах, Н;  
 $r_d$  – динамический радиус ведущих колес, м;  
 $u_{кп}$  – передаточное число коробки передач в расчетном случае;  
 $u_0$  – передаточное число главной передачи (главной пары);  
 $\eta$  – КПД трансмиссии.

$$P_{ко} = P_p + \Sigma P_c = a \cdot m_{ac} + j \cdot m_{dc}, \quad (2)$$

где  $P_p$  – резерв тяги, т.е. часть силы тяги, расходуемая на разгон автомобиля, Н;  
 $\Sigma P_c$  – сумма сопротивлений движению автомобиля, Н;  
 $a$  – ускорение автомобиля при разгоне, м/с<sup>2</sup>;  
 $j$  – замедление автомобиля при выбеге, м/с<sup>2</sup>;  
 $m_{ac}$ ,  $m_{dc}$  – приведенная масса автомобиля при разгоне и выбеге соответственно, кг;

$$m_{dc} = m_a + m_{пр.к.пр}; \quad m_{ac} = m_{dc} + m_{пр.дв}, \quad (3)$$

где  $m_a$  – масса автомобиля в расчетном случае, кг;  
 $m_{пр.к.пр}$  – приведенная к контакту ведущего колеса с дорогой масса колес и трансмиссии, кг;  
 $m_{пр.дв}$  – приведенная к контакту ведущего колеса с дорогой масса подвижных частей двигателя, кг.

Здесь принято допущение, что статические сопротивления при разгоне и выбеге одинаковы. Динамический радиус можно считать равным радиусу качения без проскальзывания, что реально для дороги с качественным покрытием. КПД трансмиссии принят по литературным данным.

**Примеры восстановления кривых момента** по данным наших экспериментов. Из рис. 3 видно, что у ВАЗ-21053 на III и IV передачах обороты максимума момента смещены вправо примерно на 500 мин<sup>-1</sup>, а на II и I передачах – влево, т.е. в область меньших частот вращения, на 1500...2000 мин<sup>-1</sup>. Значения максимального момента на II и I передачах больше номинальных. Однако эти кривые рассчитаны при постоянном радиусе качения, взятом из стандарта. Когда же была учтена рекомендация В.А. Петрова [4] и значения радиуса скорректированы с учетом подведенного к ведущим колесам крутящего момента, кривые опустились ниже номинальной и смещение их несколько уменьшилось (см. кривые с индексом «П»).

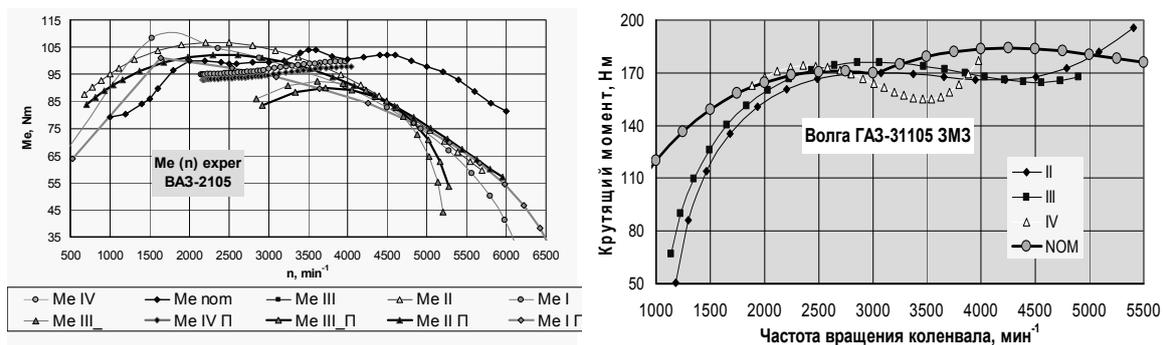


Рисунок 3 – Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона заднеприводных автомобилей ВАЗ-21053 и «Волга» ГАЗ-31105 с двигателем ЗМЗ-4062.10

Кривые, полученные при испытаниях «Волги», вероятно, соответствуют левой ветви номинальной кривой (судя по наличию на них минимумов) и заметно сдвинуты в область более высоких оборотов. Максимумы на них близки к 170 Нм, т.е. максимуму на левой ветви номинальной кривой.

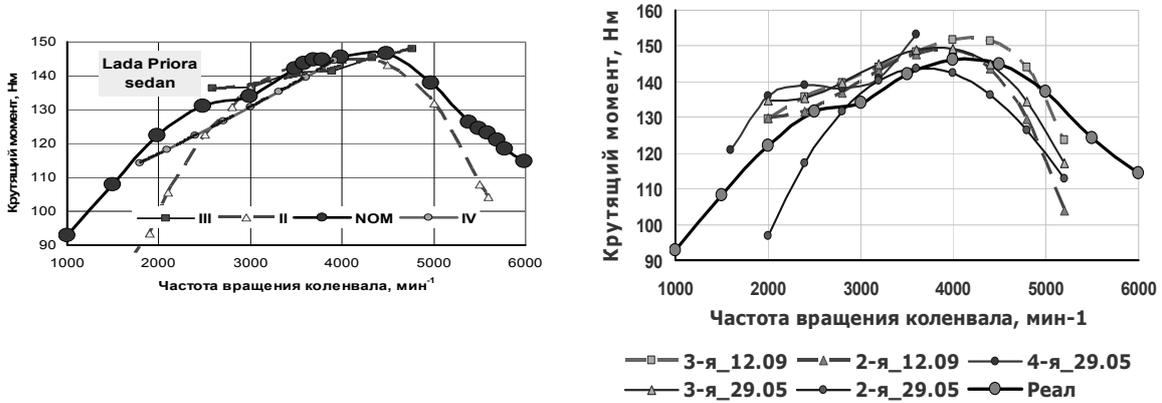


Рисунок 4 – Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона седана (слева) и хэтчбека Lada Priora

На обеих "Приорах" обороты максимального момента на IV и III передачах не достигнуты, на II смещены влево на 1000 мин<sup>-1</sup>. Наибольшие достигнутые значения момента незначительно отличаются от номинального: на II передаче снижение составило 4 %, на III достигнут момент 148 Нм, т.е. выше номинального (это возможно – стандартный обкатанный мотор ВАЗ-21126 выдаёт 107 л.с. и 157 Нм при 4800 мин<sup>-1</sup> [5]). На II передаче обнаружено некоторое падение момента слева и справа от точки максимума.

Как видно из рис. 5, у автомобиля Volkswagen Passat B4 на II и III передачах обороты максимального момента сдвинуты вправо на 300 и 800 мин<sup>-1</sup> соответственно (в этом эксперименте не удалось получить надежные данные на других передачах).

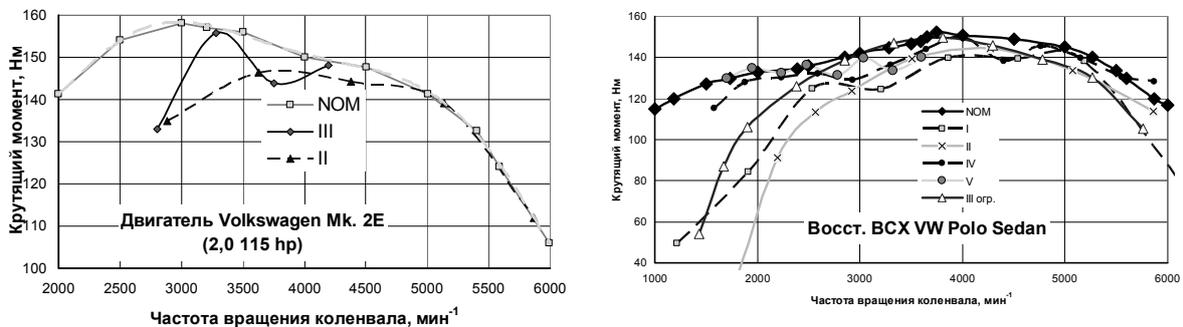


Рисунок 5 – Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона автомобилей Volkswagen Passat B4 (слева) и Polo Sedan

У Polo Sedan обороти максимального моменту зміщені в область більш високих частот в середньому на  $240 \text{ мин}^{-1}$ . На III, II і I передачах – круте падіння моменту в зоні оборотів нижче  $2500 \text{ мин}^{-1}$ .

У двигателя 1,4 л автомобіля Hyundai i-30 (рис. 6, слева) максимальний момент на III передачі практично збігався з номінальним, на IV зменшений на 4 Нм, на II – на 11 Нм. Обороти максимального моменту на III передачі на  $200 \text{ мин}^{-1}$  менше, ніж на номінальній кривій, на IV передачі менше на  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , на II передачі більше на  $1200 \text{ мин}^{-1}$ . На III і IV передачах – круте падіння моменту в зоні низьких частот.

В отличие от других автомобилей ВАЗ, проверенных нами, у ВАЗ-2111 на понижающих передачах максимальный крутящий момент уменьшен сильно: на III и I передачах – на 27 Нм. Однако на II передаче снижение составило всего 10 Нм. Обороты максимального момента сильно смещены вправо – на  $1000 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$ .

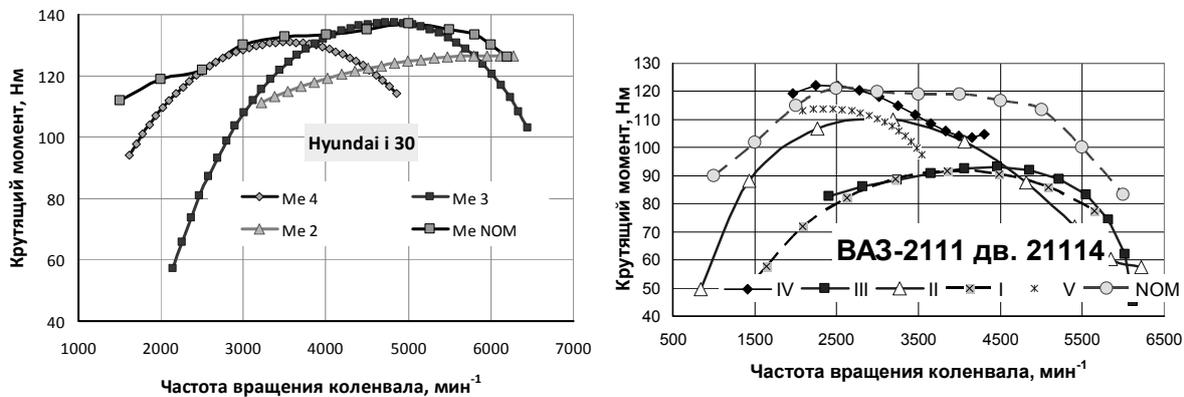


Рисунок 6 – Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона Hyundai i 30 с двигателем 1,4 (слева) и ВАЗ-2111 с двигателем 21114

**Выводы.** В рассмотренных случаях наблюдается смещение частоты максимального момента как в область низких, так и в область высоких оборотов, причем направление смещения нельзя однозначно привязать к типу двигателя или фирме-изготовителю, хотя стоит отметить, что у всех упомянутых двигателей группы Volkswagen максимумы смещены вправо.

В большинстве случаев максимальный крутящий момент при разгоне снижается. На проверенных автомобилях снижение не выходит за пределы 8 %. Это следует использовать при решении практических задач, например, вычислении времени разгона автомобилей. В зоне низких частот у некоторых двигателей момент падает в 3...6 раз по сравнению с номинальным, полученным в установившихся режимах. Предположительно, степень этого падения зависит от технического состояния двигателя, например, изношенности цилиндро-поршневой группы.

Полученные результаты не дают оснований для выработки практических рекомендаций, однако явно указывают на необходимость дальнейшего изучения вопроса. Нужны более обширные и тщательные исследования, в частности, с учетом

возраста двигателя, чтобы исключить влияние технического состояния.

**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. Расчет нормативов разгона автомобиля на роликовом стенде / В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, Д.А. Шалина // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012.– № 64(970) – С. 43-49 – Бібліогр.: 8 назв. 4. Петров В.А. Современная теория качения пневматического колеса и ее практическое приложение // Автомоб. пром., 1993. – №4. – с. 14-18. 5. Кисляков А. Производство силовой установки на базе двигателя ВАЗ 21126 / Александр Кисляков / [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?action=print;num=1301511341>

*Поступила в редколлегию 08.03.2014*

УДК 625.032.821

**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- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 27-32. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-6840.**

Криві крутного моменту ДВС, відновлені за даними розгонів автомобілів на різних передачах, зіставлені з номінальними кривими. Зниження максимального моменту не перебільшувало 8 %, однак у зоні низьких обертів момент падає в 3...6 разів. Оберти максимального моменту можуть зміщатися як у зону менших, так й у зону більших частот.

**Ключові слова:** крутний момент, розгін, максимум, частоти, зниження, зміщення, експеримент.

**Configuration change crooked turning moment engine at runaway of the car / V. P. Wolkov, E. H. Rabinovich, I. V. Ponomarenko, Yu. V. Zybcev, V. A. Zuev, V. V. Mitasov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 27-32. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2078-6840.**

Engine torque curves, restored according to acceleration of cars at different gears, were compared with nominal curves. Decrease of maximum moment does not exceed 8%, but in the area of low revs torque is reduced by 3 ... 6 times. Revs of maximum torque can be shifted to the zones of smaller or higher rotation frequencies.

**Keywords:** torque, acceleration, maximum frequency, reduction, offset, experiment.