

**Зыбцев Ю.В.,
Погребняк В.С.**

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

ИЗМЕНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ КРИВОЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗГОНЕ АВТОМОБИЛЯ

УДК 625.032.821

Зыбцев Ю.В., Погребняк В.С. «Изменение конфигурации кривой крутящего момента двигателя при разгоне автомобиля»

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.

Экспериментальные исследования представлены в виде экспериментальных зависимостей, которые отражают кривые крутящего момента двигателей легковых автомобилей, снимаемые на установившихся нагрузках при разгоне, зависят от диапазона скоростей и от темпа разгона.

При разгоне в дорожных условиях максимальное значение крутящего момента получается при меньшей угловой скорости вращения на 100–200 мин⁻¹.

Разработана методика восстановления кривой крутящего момента по параметрам разгона и выбега автомобиля при допущении, что статические сопротивления при разгоне и выбеге одинаковые, а динамический радиус равен радиусу качения.

Ключевые слова: автомобиль, крутящий момент, разгон, частота, снижение, смещение, эксперимент.

Зыбцев Ю.В., Погребняк В.С. «Зміна конфігурації кривої крутного моменту двигуна під час розгону автомобіля»

У розглянутих випадках спостерігається зсув частоти максимального моменту як в область низьких, так і в область високих обертів, причому напрямок зсуву можна однозначно прив'язати до типу двигуна або фірмі-виробнику, хоча варто відзначити, що у всіх згаданих двигунів групи Volkswagen максимуми зміщені вправо.

У більшості випадків максимальний крутний момент при розгоні знижується. На перевірених автомобілях зниження не виходить за межі 8%. Це слід використовувати при вирішенні практичних завдань, наприклад, обчисленні часу розгону автомобілів. У зоні низьких частот у деяких двигунів момент падає в 3–6 разів у порівнянні з номінальним, отриманим в сталих режимах. Імовірно, ступінь цього падіння залежить від технічного стану двигуна, наприклад, зношеності циліндро-поршневої групи.

Отримані результати не дають підстав для вироблення практичних рекомендацій, проте явно вказують на необхідність подальшого вивчення питання. Потрібні більш великі і ретельні дослідження, зокрема, з урахуванням віку двигуна, щоб виключити вплив технічного стану.

Експериментальні дослідження представлені у вигляді експериментальних залежностей, які відображають криві крутного моменту двигунів легкових автомобілів, що знімаються на сталих навантаженнях при розгоні, залежать від діапазону швидкостей і від темпу розгону.

При розгоні в дорожніх умовах максимальне значення крутного моменту виходить при меншій кутовій швидкості обертання на 100–200 хв⁻¹.

Розроблено методику відновлення кривої крутного моменту за параметрами розгону і вибігу автомобіля при допущенні, що статичні опору при розгоні і вибігу однакові, а динамічний радіус дорівнює радіусу качення.

Ключові слова: автомобіль, крутний момент, розгін, частота, зниження, зміщення, експеримент.

Zybtshev Yu.V., Pogribnyak V.S. «Change of circuit current configuration during driving of a vehicle»

In the cases considered, a frequency shift of the maximum moment is observed both in the region of low and in the region of high revolutions, and the direction of displacement cannot be unambiguously tied to the type of engine or the manufacturer, although it is worth noting that for all the mentioned Volkswagen engines, the maxima are shifted to the right.

In most cases, the maximum torque during acceleration is reduced. On tested vehicles, the reduction does not go beyond 8%. This should be used when solving practical problems, for example, calculating the acceleration time of cars. In the low-frequency zone of some engines, the moment falls by 3–6 times in comparison with the nominal value obtained in steady-state modes. Presumably, the degree of this fall depends on the technical condition of the engine, for example, the deterioration of the cylinder-piston group.

The results obtained do not give reason to develop practical recommendations, but they clearly indicate the need for further study of the issue. More extensive and thorough research is needed, in particular, taking into account the age of the engine, in order to exclude the influence of the technical condition.

Experimental studies are presented in the form of experimental dependencies that reflect the torque curves of passenger car engines taken at steady loads during acceleration, depending on the speed range and the acceleration rate.

During acceleration in road conditions, the maximum value of the torque is obtained at a lower angular speed of rotation of 100–200 min⁻¹.

A technique has been developed for restoring the torque curve from the parameters of acceleration and coasting of the car, assuming that the static resistance during acceleration and coasting is the same, and the dynamic radius is equal to the radius of the rolling element.

Key words: car, torque, acceleration, frequency, decrease, displacement, experiment.

Актуальность проблемы

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. 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.

В ХНАДУ была разработана методика исследований, использующая доступные, распространенные и недорогие средства измерений, как в дорожных условиях, так и на стенде Rototest VPA-RX 2WD.

Состояние вопроса и задачи исследования

Для достижения этой цели нужно, в частности, изучить изменение конфигурации кривых крутящего момента двигателя, вызванное ускорением при разгоне автомобиля.

Формулирование цели исследований

Цель исследования – повышение точности нормирования диагностических параметров.

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 $20\text{--}30\text{ с}^{-1}$, т.е. на $100\text{--}200\text{ мин}^{-1}$.

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^{-1} , от 2750 до 1750 мин^{-1} , а у Volkswagen – на 400 , от 1800 до 2200 мин^{-1} , т.е. в область более высоких оборотов (рис. 1).

Также к большим оборотам смещен максимум у автомобиля VW Passat 1.8 T [3] (рис. 2).

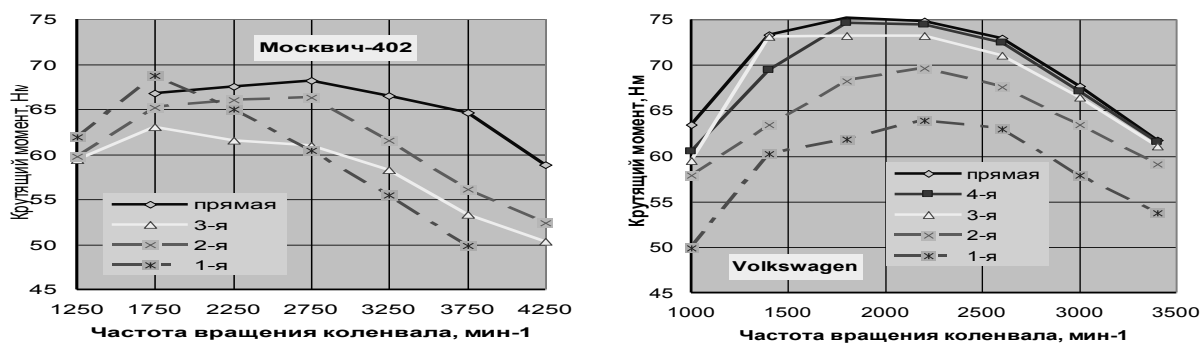


Рис. 1. Кривые крутящего момента автомобилей «Москвич-402» (слева) и Volkswagen при разгоне на разных передачах [2] (справа)

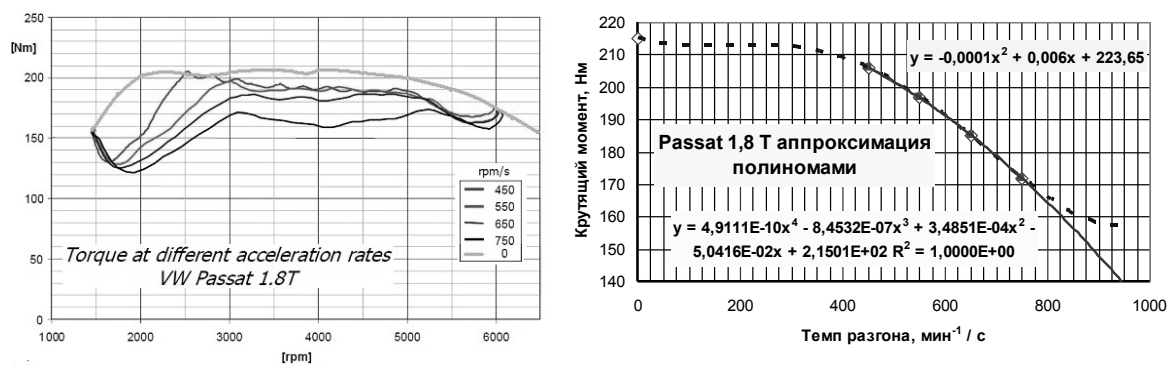


Рис. 2. Результаты измерения крутящего момента на ступицах ведущих колес автомобиля VW Passat 1.8 T на стенде Rototest VPA-RX 2WD (слева) и их обработка [3] (справа)

Методика восстановления кривой крутящего момента по параметрам разгона и выбега автомобиля

Значение крутящего момента двигателя вычисляется по известной формуле

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

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);
 η – 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;
 ΣP_c – сумма сопротивлений движению автомобиля, Н;
 a – ускорение автомобиля при разгоне, м/с²;
 j – замедление автомобиля при выбеге, м/с²;
 m_{ac}, m_{dc} – приведенная масса автомобиля при разгоне и выбеге соответственно, кг;

$$m_{dc} = m_a + m_{np.k.mp}; \quad m_{ac} = m_{dc} + m_{np.ov}, \quad (3)$$

где m_a – масса автомобиля в расчетном случае, кг;
 $m_{np.k.mp}$ – приведенная к контакту ведущего колеса с дорогой масса колес и трансмиссии, кг;
 $m_{np.ov}$ – 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.

Результаты экспериментальных исследований

Из рис. 3 видно, что у ВАЗ-21053 на III и IV передачах обороты максимума момента смещены вправо примерно на 500 мин⁻¹, а на II и I передачах – влево, т.е. в область меньших частот вращения, на 1500–2000 мин⁻¹.

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, то кривые опустились ниже номинальной кривой, и смещение их несколько уменьшилось (см. Рис. 3, кривые с индексом «П»).

Кривые (см. рис. 3), 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 Н·м, т.е. максимуму на левой ветви номинальной кривой.

На обеих "Приорах" (рис. 4) обороты максимального момента на IV и III передачах не достигнуты, на II смещены влево на 1000 мин⁻¹.

Наибольшие достигнутые значения момента незначительно отличаются от номинального: на II передаче снижение составило 4 %, на III достигнут момент 148 Н·м, т.е. выше номинального (это возможно – стандартный обкатанный мотор ВАЗ-21126 выдаёт 107 л.с. и 157 Н·м при 4800 мин⁻¹ [5]).

На II передаче обнаружено некоторое падение момента слева и справа от точки максимума.

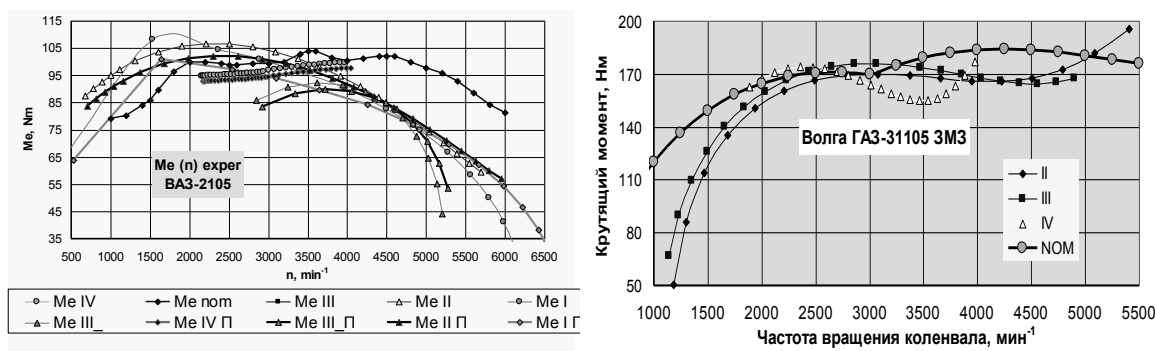


Рис. 3. Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона заднеприводных автомобилей VAZ-21053 и «Волга» ГАЗ-31105 с двигателем ЗМЗ-4062.10

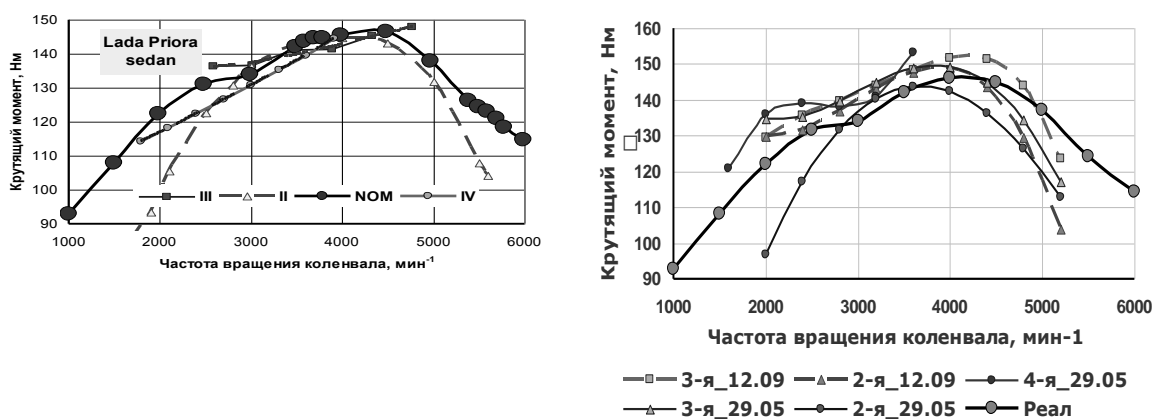


Рис. 4. Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона седана (слева) и хэтчбека Lada Priora

Как следует из рис. 5, у автомобиля Volkswagen Passat B4 на II и III передачах обороты максимального момента сдвинуты вправо на 300 и 800 мин⁻¹ соответственно.

К сожалению, в этом эксперименте не удалось получить надежные данные на других передачах.

У Polo Sedan обороты максимального момента смещены в область более высоких частот в среднем на 240 мин⁻¹. На III, II и I передачах – крутое падение момента в зоне оборотов ниже 2500 мин⁻¹.

У двигателя 1,4 л автомобиля Hyundai i-30 (рис. 6, слева) максимальный момент на III передаче практически совпал с номинальным, на IV уменьшен на 4 Н·м, на II – на 11 Н·м.

Обороты максимального момента на III передаче на 200 мин⁻¹ меньше, чем на номинальной кривой, на IV передаче меньше на 1500 мин⁻¹, на II передаче больше на 1200 мин⁻¹.

На III и IV передачах – крутое падение момента в зоне низких частот.

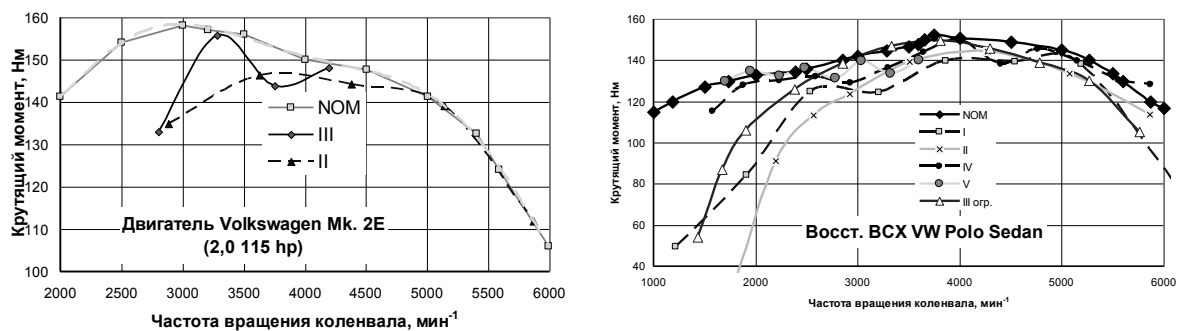


Рис. 5. Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона автомобилей Volkswagen Passat B4 (слева) и Polo Sedan

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 Н·м.

Однако на II передаче снижение составило всего 10 Н·м. Обороты максимального момента сильно смещены вправо на 1000–2000 мин⁻¹.

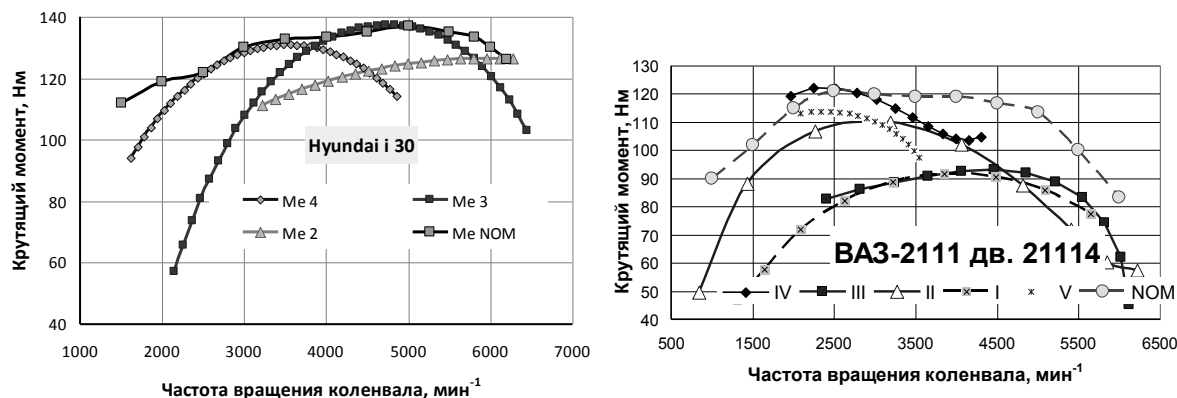


Рис. 6. Кривые крутящего момента, восстановленные по данным разгона Hyundai i30 с двигателем 1,4 (слева) и ВАЗ-2111 с двигателем 21114

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 цилиндно-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 используемых источников

1. Шмидт А.Г. Мощностные показатели двигателя на режиме разгона автомобиля / Шмидт А.Г., Новохатный П.Н., Сытин К.Ю. // *Автомобильная промышленность*: Сб. науч. трудов. - № 7. – Москва, 1977. – с. 18-20.

2. Лурье М.И. Получение разгонной характеристики двигателя путем стендовых испытаний автомобиля / М.И. Лурье // *Автомобильная промышленность*: Сб. науч. трудов. – Москва, 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 // *Автомобильная промышленность*: Сб. науч. трудов. – Москва, 1993. – №4. – с. 14-18.

5. Кисляков А. Производство силовой установки на базе двигателя ВАЗ 21126 / Александр Кисляков / [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?action=print;num=1301511341>

References

1. Shmidt A.G. Moshnostnyye pokazateli dvigatelya na rezhime razgona avtomobilya / Shmidt A.G., Novohatnyj P.N., Sytin K.Yu. // *Avtomobilnaya promyshlennost*: Sb. nauch. trudov. - № 7. – Moskva, 1977. – s. 18-20.

2. Lure M.I. Poluchenie razgonnoj harakteristiki dvigatelya putem stendovyh ispytaniy avtomobilya / M.I. Lure // *Avtomobilnaya promyshlennost*: Sb. nauch. trudov. – Moskva, 1958. - № 8. - S.22-25.

3. Raschet normativov razgona avtomobilya na rolikovom stende / V.P. Volkov, E.H. Rabinovich, V.A. Zuev, D.A. Shalina // *Visnik NTU «HPI» Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya*, 2012.– № 64(970) – S. 43-49 – Bibliogr.: 8 nazv.

4. Petrov V.A. Sovremennaya teoriya kacheniya pnevmaticheskogo kola i ee prakticheskoe prilozhenie // *Avtomobilnaya promyshlennost*: Sb. nauch. trudov. –Moskva, 1993. – №4. – s. 14-18.

5. Kislyakov A. Proizvodstvo silovoj ustanovki na baze dvigatelya VAZ 21126 / Aleksandr Kislyakov / [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa:
<http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?action=print;num=13015113411>.