

2. Градуировка по спутниковым сигналам расходуется с более точной градуировкой по разметке дороги на 1 %.

3. При поддержании заданной скорости водителем стабилизация погрешности ниже уровня 2 % происходит через 10 с после начала замера, ниже 1 % – через 20 с, ниже 0,1 % – через 25 с (при частоте дискретизации 1 замер в секунду).

4. Система круиз-контроля облегчает выполнение градуировки, но не всегда снижает вариацию скорости. Стабилизация погрешности ниже 0,1 % происходит быстрее, чем без круиз-контроля – через 5...13 с.

5. Градуировку по сигналам GPS лучше проводить при движении автомобиля на юг.

#### Список литературы

1. Белогуров Е.А. Динамические методы диагностирования автомобиля в дорожных условиях: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 "Эксплуатация и ремонт средств транспорта" / Е.А. Белогуров. — Харьков: ХНАДУ, 2011. — 23 с.

2. Пат. 2130599 Российская Федерация. Способ определения сопротивления движению транспортного средства / В.А. Петрушов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2130599>

3. Тарасов Р. Дети эволюции. Обзор премиальных седанов среднего класса / Р. Тарасов // Клаксон. — 2012. — № 10 (498).

4. Фомин А. Измерено ЗР. Скорость: Немаксимальная максималка / А. Фомин // За рулем. — 2009. — № 1.

5. TRC Tyre data calculator (Шинный калькулятор TRC) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.club80-90syncro.co.uk/Syncro\\_website/TechnicalPages/TRC%20calculator.htm](http://www.club80-90syncro.co.uk/Syncro_website/TechnicalPages/TRC%20calculator.htm)

6. Цыпленков Я. Эпоха перемен. Проверка на дорогах: сравнительный тест Toyota Corolla, Ford Focus, Honda Civic и Hyundai Elantra / Я. Цыпленков, Л. Голованов // Авторевю. — 2007. — № 8 (379).

7. Сходство и различия спутниковых систем навигации ГЛОНАСС и GPS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://telemetry.spb.ru/gps-glonass-comparison>

УДК 629.3.083:629.3.018.2

## РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПЕРЕДВИЖНЫХ РОЛИКОВЫХ СТЕНДАХ

В.А. Зув, инженер, ассистент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета



*Выполнен анализ режимов разгона автомобиля на роликовом стенде и их влияния на точность диагностирования легковых автомобилей.*

*The paper describes the analysis of modes of car acceleration on turning rolls and their effects on the accuracy of diagnosing of passenger cars.*

### Введение

Интенсивный рост числа СТО в Украине не сопровождается соответствующим развитием их диагностических служб, так как импортное оборудование слишком дорогостоящее. Однако спрос на такие услуги не исчез, во всех серьезных случаях заинтересованные лица ищут возможности проверить тягово-экономические свойства автомобиля на роликовом стенде. В свете сказанного использование передвижных стендов остается актуальным.

### Анализ публикаций и постановка задач исследования

Наиболее дешевыми стендами проверки тягово-экономических качеств являются инерционные стенды [1]. Диагностирование на инерционных роликовых стендах сводится к измерению времени разгона и (или) выбега от одной заданной скорости до другой. Инерционную массу этих стендов стремятся выполнить такой, чтобы имитировать разгон в дорожных условиях. Отсюда при всей простоте таких стендов появляется существенный их недостаток — высокая металлоемкость. Для мобильного стенда это оборачивается повышением не только начальной стоимости, но и эксплуатационных расходов. Попытки снизить металлоемкость путем установки повышающих передач между роликами и маховиками усложняют конструкцию, увеличивают стоимость и снижают надежность. Хорошее решение проблемы дают применение комбинированных тягово-тормозных стендов инерционно-силового типа и проверка на них автомобилей по динамике стесненного разгона, когда нагрузку создает сравнительно небольшая инерционная масса в сочетании с нагрузочно-приводным устройством (НПУ)

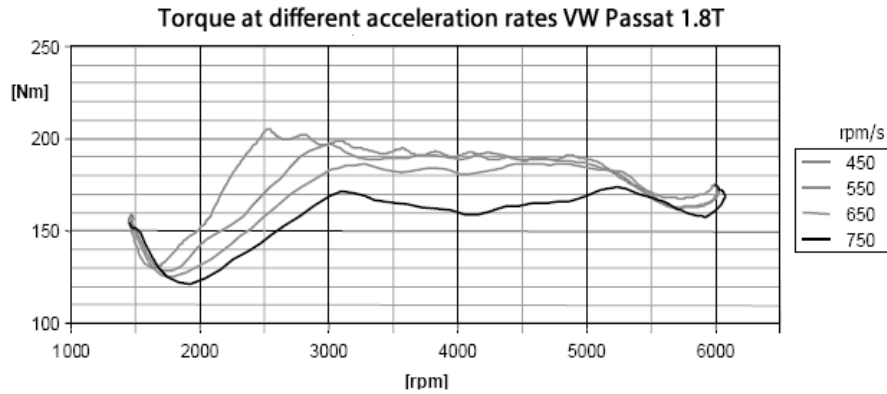


Рис. 1. Результаты измерения крутящего момента на ступицах ведущих колес автомобиля VW Passat 1.8 T на стенде Rototest VPA-RX 2WD [6]

умеренной мощности, что позволяет уменьшить металлоемкость стенда [2]. Так, инерционная масса стенда ПДС-Л, приведенная к контакту колес автомобиля с рабочей поверхностью роликов, составляет 200 кг, мощность нагрузочно-приводного устройства – 40 кВт, а собственная масса стенда – всего 400 кг. Его можно перевозить вместе с разборной эстакадой на грузовике класса ГАЗели либо буксировать на специальном прицепе за еще более легким тягачом.

Однако пока не выяснено, до какой степени могут быть снижены инерционная масса и мощность НПУ. Видимо, критерием могут послужить предельные метрологические характеристики. Это можно выяснить путем анализа метода, что и является основной задачей настоящего исследования.

Теория метода стесненного разгона и его реализация описаны в наших предыдущих публикациях [3, 4]. Диагностическим параметром в этом методе может быть тяговая сила на колесах, ускорение, время или путь разгона колес в выбранном диапазоне скоростей. С точки зрения точности измерения предпочтительнее вре-

мя разгона. Однако все достоинства метода могут проявиться только при правильном выборе режимов испытаний, что является еще одной задачей исследования.

#### Обоснование режима испытаний методом стесненного разгона

Режим испытаний характеризуется величиной создаваемой стендом нагрузки, выбранной передачей в трансмиссии и скоростным диапазоном.

При испытаниях точность результата зависит от точности и стабильности выдерживания режима испытаний. Время разгона будет измерено тем точнее, чем медленнее разгоняются колеса и ролики стенда. Но просто увеличивать длительность разгона нежелательно: это потребует высокой мощности НПУ, работающего при высоких скоростях. Желательно использовать участок небольших крутящих моментов двигателя (то есть малые обороты и высшие передачи) в сочетании с наибольшей возможной нагрузкой со стороны стенда. Но работа двигателя на малых оборотах может быть нестабильной, соответственно нестабилен будет создаваемый

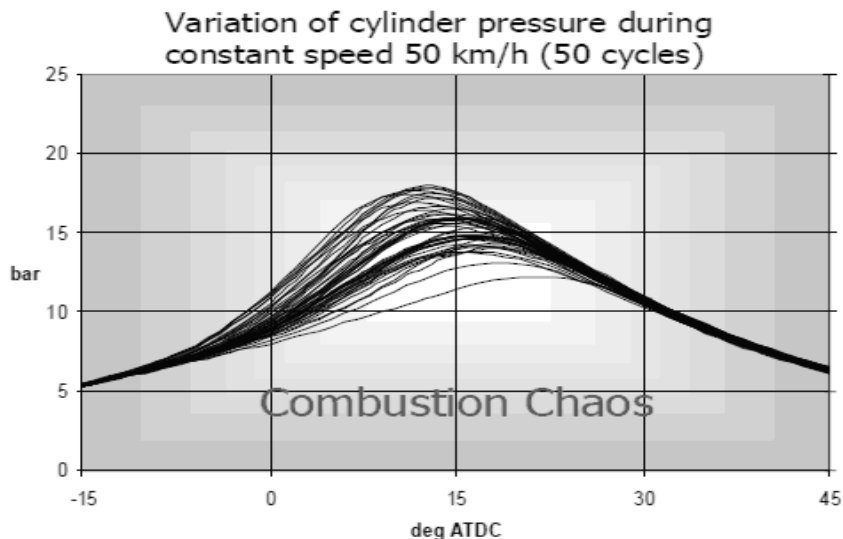


Рис. 2. Вариация давления газов в цилиндре (надпись на рисунке: “Хаотическое сгорание”) [6]

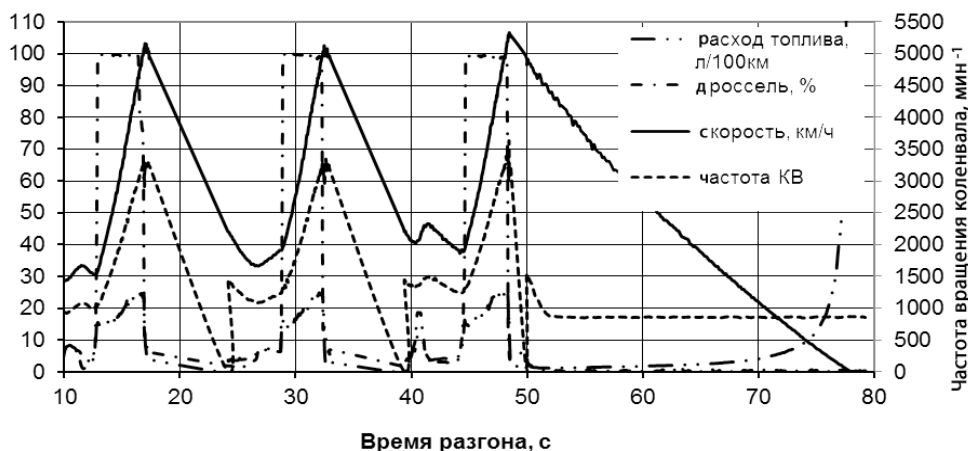


Рис. 3. Параметры, зарегистрированные в трех последовательных разгонах (автомобиль Škoda Octavia на стенде ПДС-Л)

крутящий момент. Поэтому скоростной режим замера нужно выбрать так, чтобы обеспечивалась достаточно устойчивая величина момента.

Кроме того, крутящий момент зависит от темпа разгона. Темп разгона задается темпом нажатия на педаль акселератора. По данным [5] крутящий момент двигателя снижается с увеличением углового ускорения коленчатого вала и при ускорении  $9 \text{ с}^{-2}$  снижение составляет порядка 4 % по сравнению с внешней скоростной характеристикой двигателя (ВСХД).

В публикациях шведского научно-исследовательского института Rototest приведены результаты испытаний двигателя 1,8Т с турбонаддувом автомобиля VW Passat (рис. 1) [6].

По мере увеличения темпа разгона ( $\text{rpm/s} = \text{об/мин за секунду}$ ) максимальный крутящий момент достигается позже и снижается.

Этот факт необходимо учитывать при расчете нормативных значений времени разгона и выборе режима испытаний для конкретной модели автомобиля.

Далее, надо понимать, что идеального повторения результатов замеров быть не может, даже когда они следуют один за другим за короткий период времени. Одна из причин – большая вариация процесса сгорания [6].

На рис. 2 показана зависимость давления в цилиндре двигателя от угла поворота коленчатого вала на протяжении 50 вспышек подряд в одном цилиндре. Угол опережения зажигания все время один и тот же, что является типичным результатом для бензинового двигателя.

В четырехтактном двигателе одна вспышка приходится на два оборота коленвала, 50 вспышек – на 100 оборотов. При радиусе качения колеса порядка 0,3 м и общем передаточном числе трансмиссии около 4 соответствующий путь автомобиля – около 50 м. На скорости 60 км/ч длительность рассматриваемого интервала составит приблизительно 3 с. Если принять, что при диагностировании измеряется время разгона от скорости  $V$  до скорости  $V + 20$ , то время замера окажется того же порядка. Значит, есть риск за-

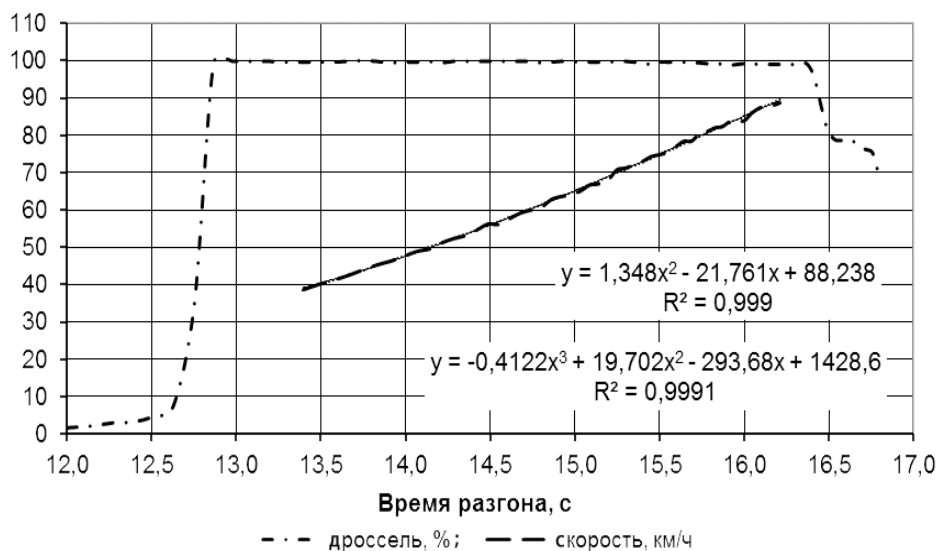


Рис. 4. Обработка кривой скорости в пределах одного разгона

метного отклонения результата замера от реального среднего. Это заставляет либо расширить указанный диапазон скорости, либо проводить не один замер, а больше.

Для проверки высказанных положений был проведен эксперимент, в ходе которого производился разгон автомобиля Škoda Octavia с двигателем AGU 1,8T – 99 (110 кВт) на роликовом стенде ПДС-Л.

Перед замерами автомобиль и стенд были прогреты до рабочего состояния. Разгон производился на различных передачах с минимально устойчивой скорости (35...40 км/ч, в зависимости от передачи).

Сигналы от первичных датчиков передавались через аналого-цифровой преобразователь на компьютер, который регистрировал текущее время, скорость автомобиля, степень открытия дроссельной заслонки, частоту вращения коленчатого вала и расход топлива (рис. 3).

Кроме сказанного, на результаты замера влияют угловые колебания привода, вызванные наличием упругих элементов в трансмиссии, упругость шин и ее неравномерность по окружности, колебания сопротивления НПУ (наличие конечного числа поршеньков в мотор-насосе) и т. д.

На рис. 3 обращают на себя внимание отдельные детали. Так, например, скорость продолжает расти и после того, как дроссельная заслонка вернулась в исходное положение и расход топлива резко уменьшился. Это говорит о значительной инерционности системы. Графики набора скорости в трех замерах в пределах от 40 до 100 км/ч выглядят линейными и одинаковыми. Однако более подробное рассмотрение говорит, что это не так.

Во-первых, графики разгона не линейны – кривизна их небольшая, но ощутимая (рис. 4). Они хорошо аппроксимируются полиномами 2-й и более высоких степеней. Однако прирост точности с повышением степени полинома незначителен.

Во-вторых, графики ускорений, полученные численным дифференцированием кривых разгона  $V(t)$ , различаются гораздо сильнее (рис. 5).

Умножая полученное ускорение на сумму инерционных масс ведущих колес, трансмиссии, двигателя и стенда, определяли силу, под действием которой происходит разгон.

Сумму сопротивлений движению (потери в трансмиссиях автомобиля и стенда, сопротивление качению колес по роликам и нагрузка, создаваемая НПУ) определяли умножением замедления

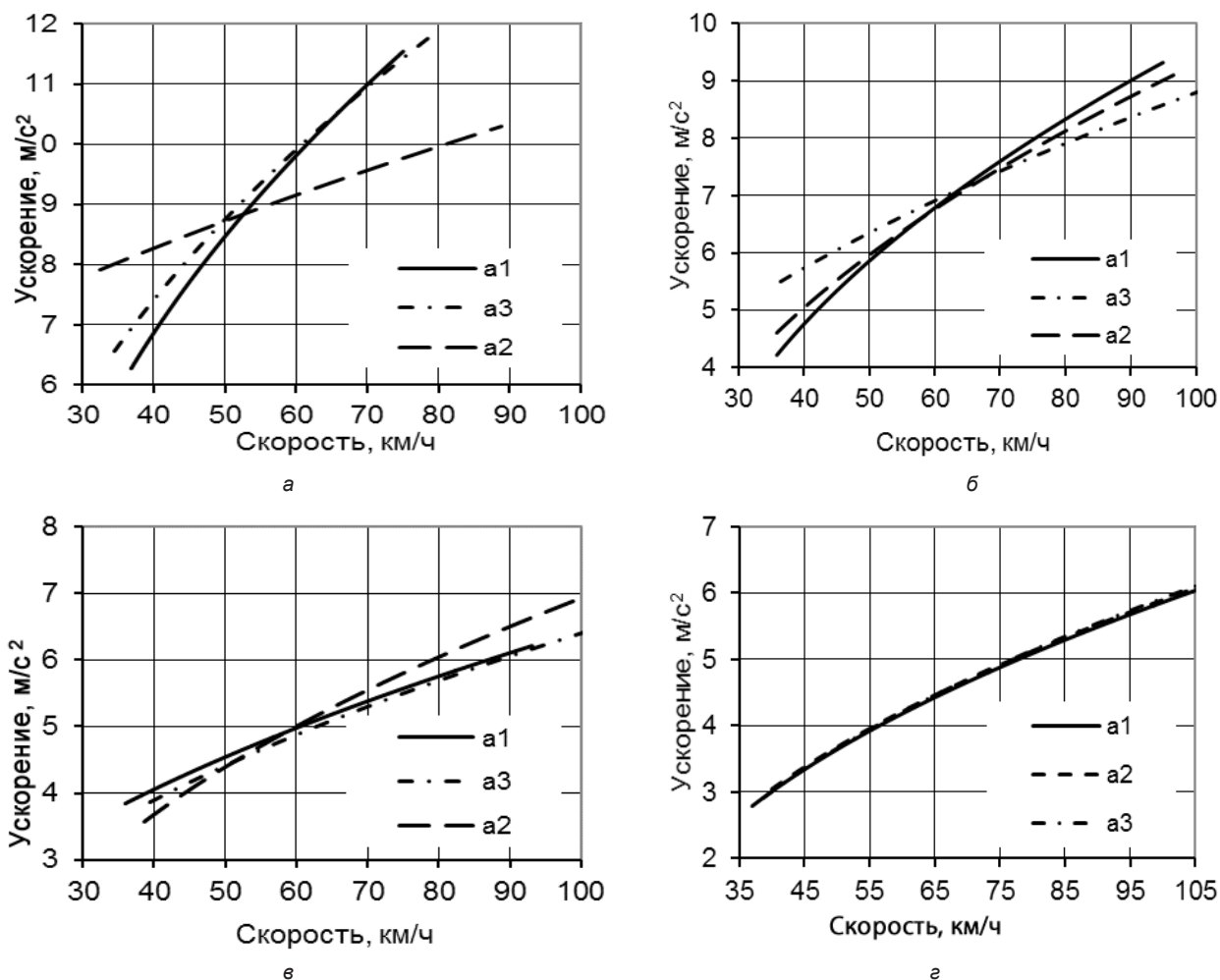


Рис. 5. Ускорения разгона на 2-й (а), 3-й (б), 4-й (в) и 5-й (г) передачах

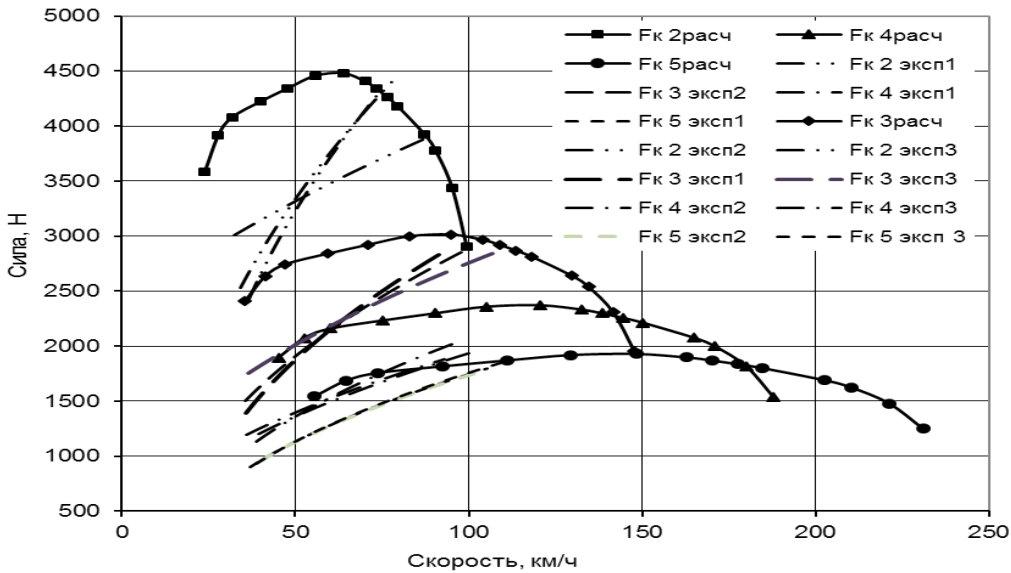


Рис. 6. Сила тяги на разных передачах (расчетные значения по ВСХД и полученные в результате эксперимента)

выбега (при действии НПУ) на приведенную массу системы при выбеге. Суммируя разгоняющую силу и силу сопротивлений, получали силу тяги на колесах автомобиля (рис. 6).

Для наглядности лучше сравнивать работу двигателя на разных передачах не по тяговым силам, а по кривым крутящего момента (рис. 7): их рассчитывали с учетом передаточных чисел трансмиссии и радиуса колеса при допущении, что КПД трансмиссии на различных передачах одинаков; в коробках передач, где нет прямой передачи и количество пар зацеплений на разных передачах одинаково, такое допущение правомерно. Для сравнения на нижеследующих диаграммах полученные графики приведены вместе с кривыми момента по заводским данным и по данным Rototest. На рис. 7–11

показаны кривые момента, восстановленные по замерам разгона без дополнительной нагрузки от НПУ (бн) и с нагрузкой (нагр). Цифра после *Me* означает номер передачи, на которой выполнялся разгон, цифра в конце обозначения – номер замера.

На рис. 7 явно прослеживается тенденция к снижению реализуемого крутящего момента при использовании низших передач и больших ускорений разгона.

Кроме того, при использовании 2-й и 3-й передач наблюдается значительный разброс кривых ускорений разгона (рис. 5а, б) и моментов двигателя (рис. 8, 9). На 4-й передаче он существенно снижается (рис. 10). Примечательно, что повышение нагрузки уменьшает такой разброс (пунктирные кривые на рис. 9).

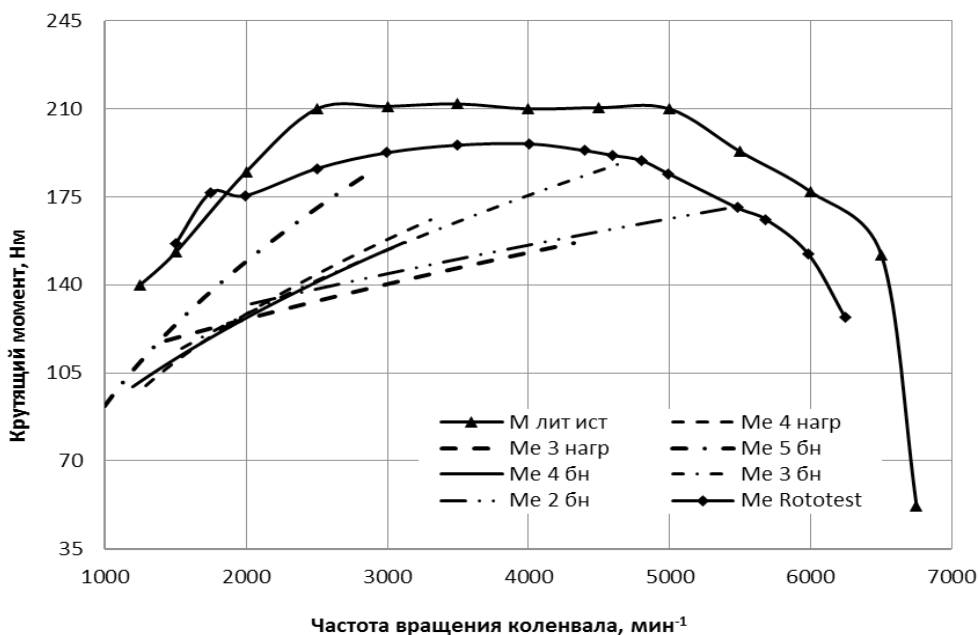


Рис. 7. Кривые крутящего момента двигателя, восстановленные по разгону на разных передачах

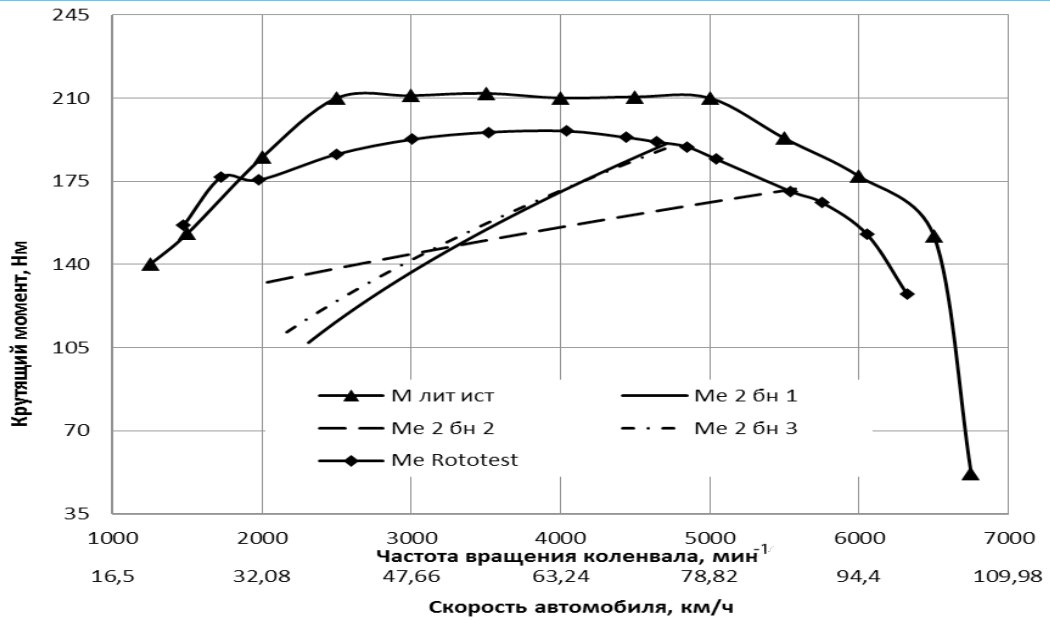


Рис. 8. Кривые крутящего момента двигателя, восстановленные по разгону на 2-й передаче

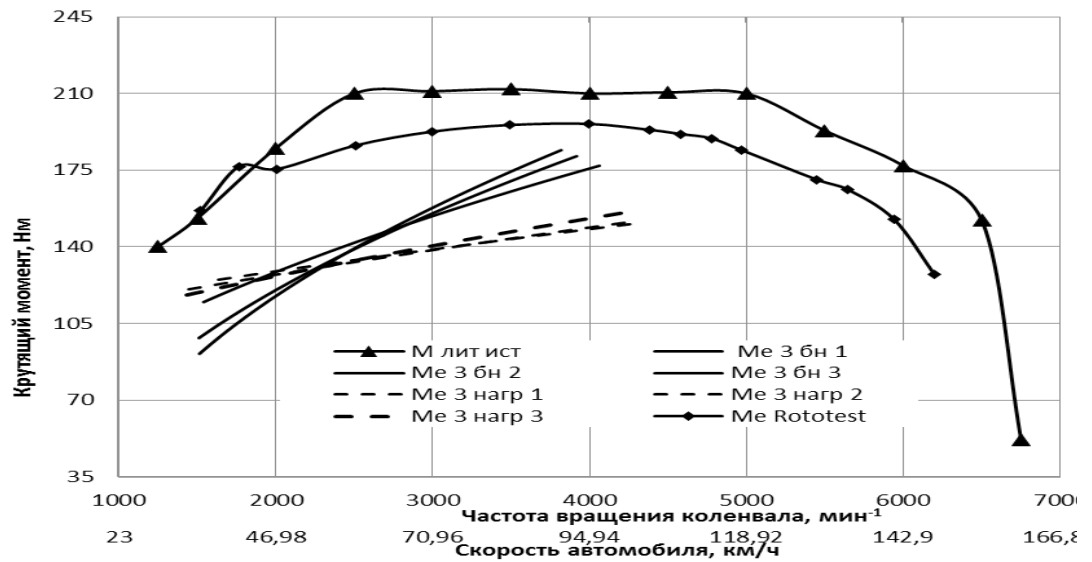


Рис. 9. Кривые крутящего момента двигателя, восстановленные по разгону на 3-й передаче

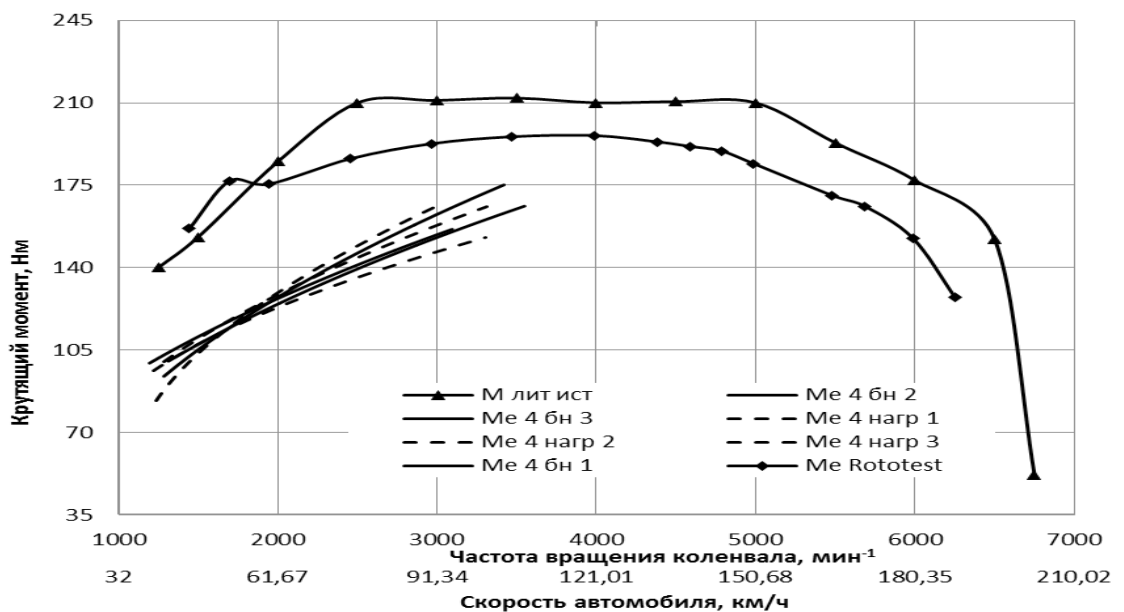


Рис. 10. Кривые крутящего момента двигателя, восстановленные по разгону на 4-й передаче

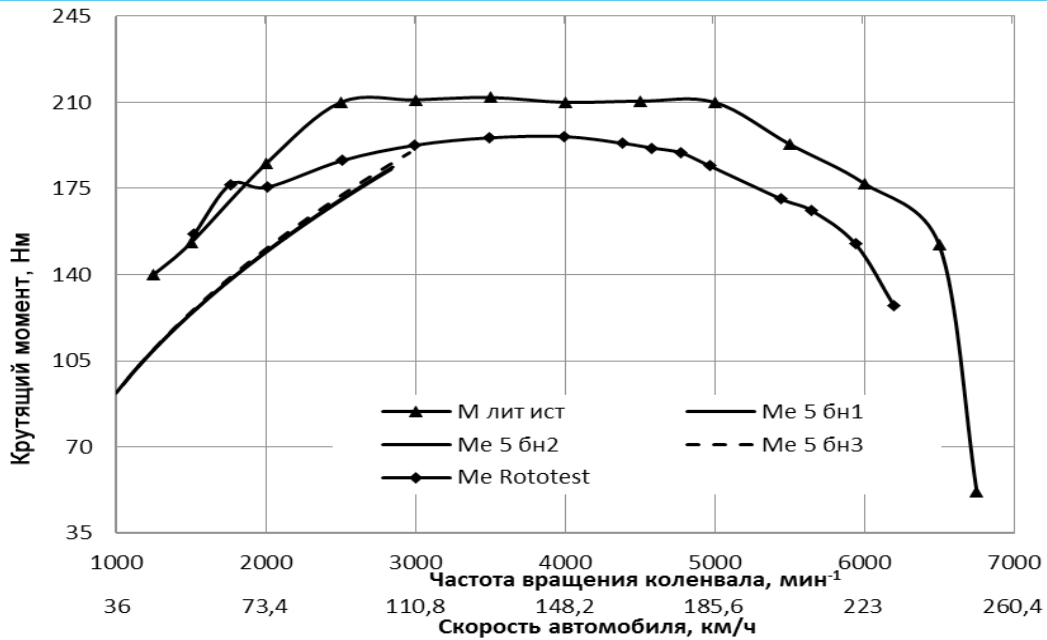


Рис. 11. Кривые крутящего момента двигателя, восстановленные по разгону на 5-й передаче

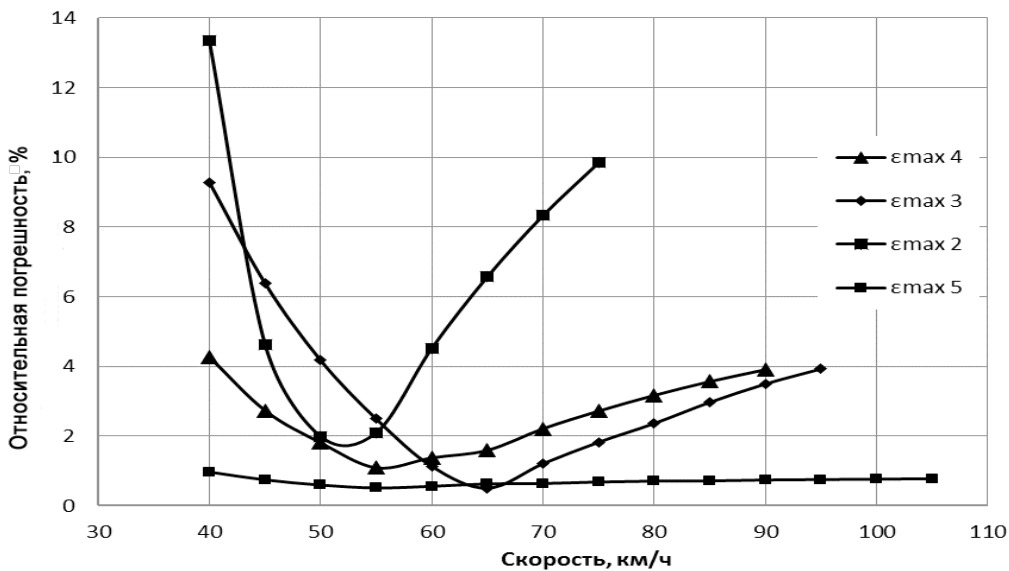


Рис. 12. Зависимость относительной погрешности на разных передачах от скорости испытаний

Из этих диаграмм хорошо видно, что на высших передачах вариация результатов меньше. На 5-й передаче разгон оказался возможен лишь при отключенном НПУ.

На всех графиках имеются пересечения кривых, вблизи которых отличия от среднего значения минимальны.

Минимальная относительная погрешность при испытаниях получена в диапазоне скоростей от 50 до 70 км/ч (рис. 12). Измерительную систему стенда настроили на регистрацию времени разгона в этом диапазоне. Результаты замеров представлены в табл. 1–6.

Таблица 1

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 2-й передаче

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	0,5711	1,68	9,73	33,6	9,0	0,40
2	0,6072	4,54	9,15	33,0	8,0	0,36
3	0,5642	2,86	9,85	34,1	13,7	0,3
Ср. зн.	0,5808	3,03	9,58	33,57	10,2	0,35

Таблица 2

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 3-й передаче

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	0,83	0,69	6,73	34,1	10,4	0,42
2	0,83	0,84	6,72	34,1	12,1	0,25
3	0,81	1,56	6,88	35,1	11,2	0,16
Ср. зн.	0,82	1,03	6,78	34,4	11,2	0,28

Таблица 3

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 3-й передаче под нагрузкой стендом

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	1,19	0,55	4,67	33,1	10,9	0,43
2	1,18	0,4	4,71	31,4	12,5	0,38
3	1,18	0,15	4,70	37,7	9,6	0,55
Ср. зн.	1,18	0,36	4,69	34,1	11,0	0,45

Таблица 4

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 4-й передаче

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	1,12	0,72	4,96	31,2	4,6	0,59
2	1,12	0,85	4,97	38,2	7,21	0,19
3	1,15	1,57	4,85	38,4	4	0,67
Ср. зн.	1,13	1,05	4,93	35,9	5,27	0,48

Таблица 5

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 4-й передаче под нагрузкой стендом

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	1,76	0,30	3,15	33,0	5,5	0,44
2	1,77	0,20	3,13	37,1	8,8	0,72
3	1,77	0,10	3,14	34,1	13,9	0,42
Ср. зн.	1,77	0,20	3,14	34,7	9,4	0,53

Таблица 6

Результаты замеров времени разгона от 50 до 70 км/ч на 5-й передаче

№ разгона	Время разгона, с	Относительная погрешность, %	Среднее ускорение	Скорость начала разгона	% открытия дросселя	Темп нажатия на педаль, с
1	1,34	0,15	4,15	36,1	1,0	0,38
2	1,33	0,66	4,18	38,5	10,2	0,35
3	1,33	0,50	4,18	37,7	2,4	0,24
4	1,35	0,72	4,13	35,4	1,1	0,38
5	1,34	0,29	4,14	34,8	2,2	0,52
Ср. зн.	1,34	0,46	4,14	36,5	3,8	0,37



### Выводы и практические рекомендации

Для повышения повторяемости и точности результатов испытаний необходимо:

1) до начала испытаний довести до нормы давление воздуха в шинах, прогреть трансмиссию и двигатель автомобиля до рабочей температуры, прогреть трансмиссию стенда пробегом автомобиля на стенде не менее 15...20 мин;

2) испытания производить на высшей передаче либо на прямой или близкой к ней;

3) скорость начала разгона должна быть стабилизирована (не менее 2 с) и быть по мере возможности одинаковой (чем меньше разброс скорости начала разгона, тем лучше повторяемость результатов); величина скорости должна быть минимальной и устойчивой на данной передаче;

4) величина скоростного диапазона в 20 км/ч является достаточной; удобен диапазон от 50 до 70 км/ч, так как графики ускорений пересекаются в этом диапазоне, а значит вариация ускорений минимальна;

5) нажатие на педаль акселератора должно быть резким с одинаковым темпом нажатия.

### Список литературы

1. Рабинович Э.Х. Выбор диагностических роликовых стендов / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, И.А. Мармут // Автомобильный транспорт: сб. науч. тру-

дов ХГАДТУ. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2001. – Вып. 6. – С. 59–61.

2. Рабинович Э.Х. Обоснование выбора инерционной массы стенда с беговыми барабанами для передвижных диагностических станций / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, И.А. Мармут // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – 2001. – № 14. – С. 148–152.
3. Рабинович Э.Х. Стендовая проверка тяговых свойств автомобиля по динамике разгона / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов ХГАДТУ. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. – Вып. 4. – С. 29–31.
4. Расчет нормативов разгона автомобиля на роликовом стенде / В.П. Волков, Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, Д.А. Шалина // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2012. – № 64 (970). – С. 43–49. – (Сер. “Автомобіле- та тракторобудування”).
5. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
6. Performance measurements on chassis dynamometers (“rolling roads”). Published by Rototest Research Institute, March 2005. Part 2/2. SAL-N05030802-CH2-PRI04.pdf. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rototest-research.eu/index.php?DN=30>