

Зыбцев Ю.В.

Харківський національний
автомобільно-дорожній університет
E-mail: dandz0814@gmail.net

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТИ ВЫБЕГА ЛЕГКОВОГО
АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА БЛИЗКИХ
СКОРОСТЕЙ**

УДК 625.032.821

Зыбцев Ю.В. «Определение пути выбега легкового автомобиля с использованием модифицированного метода близких скоростей»

Контроль и диагностирование технического состояния автомобилей является одной из важнейших проблем. Проведенные в ХНАДУ многочисленные исследования, доказывают, что техническое состояние агрегатов трансмиссии ходовой части автомобиля можно характеризовать величиной пути по выбегу.

На выбег автомобиля влияют многие факторы: эксплуатационные и конструктивные, к которым можно отнести аэродинамические свойства автомобиля и состояние агрегатов трансмиссии и ходовой части. Постоянное совершенствование автомобилей заставляет возвращаться к экспериментальной оценке сопротивлений движению автомобиля, поэтому использование модифицированного метода близких скоростей для такой оценки является актуальным.

В статье показано, что для проверки легковых автомобилей выбегом с 50 км/ч до остановки требуется горизонтальный участок дороги длиной более 750 м, который не всегда доступен. На более коротких участках можно выполнять выбеги с 50 до 10, с 40 до 20, с 30 до 10 км/ч. Внесены изменения в известный метод анализа выбега. Выведены эмпирические формулы для сопротивлений воздуха и качения, которые позволяют рассчитать путь и время выбега намного точнее, чем классические.

Полученные результаты экспериментов позволили усовершенствовать метод оценки суммарных сопротивлений при движении автомобиля по выбегу с целью разделения этих сопротивлений на составляющие: дорожные и аэродинамические сопротивления.

Ключевые слова: автомобиль, дорожные испытания, сопротивление качению колес, коэффициент аэродинамического сопротивления, выбег.

Зыбцев Ю.В. «Визначення шляху вибігу легкового автомобіля з використанням модифікованого методу близьких швидкостей»

Контроль і діагностування технічного стану автомобілів є однією з найважливіших проблем. Проведені в ХНАДУ численні дослідження, доводять, що технічний стан агрегатів трансмісії ходової частини автомобіля можна характеризувати величиною шляху по вибігу.

На вибіг автомобіля впливають багато чинників: експлуатаційні та конструктивні, до яких можна віднести аеродинамічні властивості автомобіля і стан агрегатів трансмісії і ходової частини. Постійне вдосконалення автомобілів змушує повертатися до експериментальної оцінки опорів руху автомобіля, тому використання модифікованого методу близьких швидкостей для такої оцінки є актуальним.

У статті показано, що для перевірки легкових автомобілів вибігом з 50 км / год до зупинки потрібно горизонтальну ділянку дороги довжиною понад 750 м, який не завжди доступний. На більш коротких ділянках можна виконувати вибіги з 50 до 10, з 40 до 20, з 30 до 10 км / год. Внесено зміни в відомий метод аналізу вибігу. Виведено емпіричні формули для опорів повітря і кочення, які дозволяють розрахувати шлях і час вибігу набагато точніше, ніж класичні.

Отримані результати експериментів дозволили удосконалити метод оцінки сумарних опорів при русі автомобіля по вибігу з метою поділу цих опорів на складові: дорожні і аеродинамічні опору.

Ключові слова: автомобіль, дорожні випробування, опір коченню коліс, коефіцієнт аеродинамічного опору, вибіг.

Yu.V. Zybtssev "Determination of the run-out path of a passenger car using the modified method of close speeds"

Monitoring and diagnosing the technical condition of vehicles is one of the most important problems. Numerous studies carried out in KhNADU prove that the technical condition of the transmission units of the chassis of a car can be characterized by the length of the freewheel path.

Many factors affect the run-out of the car: operational and design, which include the aerodynamic properties of the car and the state of the transmission and chassis units. The constant improvement of automobiles forces us to return to the experimental assessment of the resistance to movement of the vehicle, therefore, the use of a modified method of close speeds for such an assessment is relevant.

The article shows that for checking passenger cars by coasting from 50 km / h to a stop, a horizontal road section with a length of more than 750 m is required, which is not always accessible. On shorter sections, you can coast down from 50 to 10, from 40 to 20, from 30 to 10 km / h. Changes have been made to the well-known run-out analysis method. Empirical formulas for air and rolling resistance are derived, which allow calculating the path and run-out time much more accurately than the classical ones.

The experimental results obtained made it possible to improve the method for assessing the total resistances when the vehicle is coasting in order to separate these resistances into components: road and aerodynamic resistance.

Keywords: car, road tests, rolling resistance of wheels, coefficient of aerodynamic resistance, overrun.

Введение

Традиционно сопротивление воздуха движению автомобиля считают пропорциональным квадрату скорости. Но расхождение расчетных и экспериментальных кривых в области средних и особенно высоких скоростей, где аэродинамические силы превалируют, заставляет глубже вникнуть в этот вопрос.

Принято считать, что коэффициент аэродинамического сопротивления C_x – это постоянная характеристика данного автомобиля, которая зависит только от его конфигурации, положения в пространстве (наклон, клиренс) и состояния поверхностей. Вариацию сопротивления воздуха следует объяснять непостоянством показателя степени в формуле для вычисления C_x . Опубликованные значения C_x получают путем продувки в аэродинамических трубах. Как известно, в трубе сопротивление воздуха меньше, чем на дороге, на 5...10%. Поэтому для нормирования диагностических параметров надо знать действительные значения C_x для конкретной модели автомобиля.

Исследование качения колеса по дороге выполняли многие авторы. Однако все эти исследования проводились на старых диагональных шинах. Сейчас же на легковых автомобилях применяются только радиальные шины, исследования сопротивления качению которых по дороге проводят при полигонных условиях. Также при анализе движения автомобиля, следует различать сопротивление качению изолированного колеса и полного автомобиля. Поэтому возвращение к изучению этого вопроса для автомобилей, находящихся в эксплуатации, является актуальным.

Анализ последних публикаций

Путь выбега автомобиля с определенной скорости – один из немногих доступных рядовому пользователю параметров дорожной проверки. Однако, возникает проблема, как уловить начало выбега, и как одновременно уследить за спидометром, поддерживая эту скорость, за одометром, за одометром и еще вовремя выжать педаль сцепления.

В конце остается грубая индикация пути одометром – шаг 100 м. Не случайно мы рекомендовали измерять не путь, а время выбега [1]. В этом случае снимаются все трудности и остается только погрешность засечки времени.

Во многих инструкциях по эксплуатации автомобилей предписывается путь выбега с 50 км/ч не менее 500 м (а в некоторых даже 420 м). Соответствующее время выбега составит приблизительно 76 и 64 секунды.

Известны также такие сведения [2]:

- минимальный выбег должен составлять ~500 метров;
- обычный разброс – 450...700 метров.

Известно, что выбег зависит от конструкции и состояния шин, загрузки и класса автомобиля.

Так, у легкового автомобиля со снаряженной массой он будет меньше, чем у полностью загруженного из-за разной инерции, а у джипа меньше, чем у большого седана из-за потерь в трансмиссии.

Мнение о «разной инерции» широко распространено, но неверно. Это подтверждают результаты экспериментов (табл. 1).

Выбег легковых автомобилей с 50 км/ч (эксперименты ХНАДУ)

Автомобиль	Масса, кг	Время выбега, с	Шины и Cx
DAEWOO Matiz	1111	109,1	ContiEcoContact EP Cx=0,4
DAEWOO Lanos	1360	124,1	Tigar (фил. Michelin) TG621 Cx=0,37
ВАЗ-2105	1392	94,3	Belshina Бел-103 Cx=0,52
ГАЗ-31105 Chrysler	1650	103,2	Nokian Hakka I3 Cx=0,461
ГАЗ-31105 ЗМЗ	1475	86,6	Vredestein SnowTrac 2 M+S Cx=0,461
	1650	87,1	
	1890	88,6	
Chery Tiggo монопривод	1625	143,5	GT Radial Champiro 128 Cx=0,384
BMW 524 TD	1794	101,9	Bridgestone Cx=0,31
Mercedes-Benz E 300 D	2022	141,7	Continental Premium Contact Cx=0,28

Как видно из таблицы, решающую роль играет не масса автомобиля, а качество шин. Легкий DAEWOO Matiz на шинах ECO показал время выбега 109,1 с – значительно лучше, чем «Волга» с большой инерцией, но на всесезонных шинах (86–89 с).

У "Ланоса" на хороших шинах выбег на 32% больше, чем у ВАЗ-2105 практически такой же массы.

Совершенно феноменальный накат продемонстрировал универсал Mercedes-Benz E 300 D, но не из-за массы, которая ненамного больше, чем у «Волги» с полной загрузкой, а благодаря отличным шинам (да еще не новым, с уменьшенным сопротивлением качению), великолепной аэродинамике и большому возрасту – с пробегом трущиеся пары в автомобиле прирабатываются, и накат улучшается.

Еще лучше выбег у Chery Tiggo на индонезийских шинах из натурального каучука (а масса меньше на 400 кг).

Итак, даже наихудшее время выбега из приведенных в таблице (82 с) оказалось заметно лучше значения 76 с, соответствующего пути выбега 500 метров.

Понять малое влияние массы автомобиля легко. Если бы не было сопротивления воздуха и потерь в трансмиссии, замедление автомобиля определялось бы только сопротивлением качению.

Таким образом, масса практически не влияет на замедление, вызванное сопротивлением качению.

С другой стороны, сопротивление воздуха не зависит от массы, но сильно зависит от формы кузова автомобиля.

У легкового автомобиля аэродинамика обычно хуже, чем у большого седана, поэтому замедление, создаваемое сопротивлением воздуха, у нее выше, и выбег соответственно короче.

Анализ выбега седана Honda Civic D4 (2006)

В доступных технических характеристиках норма выбега не указана. Но пользователю нужна эта информация.

В экспериментах «Авторевю» Civic с автоматической коробкой передач (АКП) показал выбег 631 и 646 м, что соответствует времени примерно 96–98 с.

Мы провели свой эксперимент на горизонтальной дороге с хорошим покрытием [3]. Автомобиль – Honda Civic D4 с АКП. Масса с участниками эксперимента – 1705 кг (по взвешиванию). Шины летние ContiPremiumContact_2 205/55 R16 91V.

Регистрация параметров выбега выполнялась путем видеосъемки меняющихся показаний спидометра и барьерного ограждения, которое мы использовали, как разметку дороги.

Видеозаписи в форматах .mts и .mp4 обрабатывали на компьютере в видеомонтажной программе AVS VideoEditor, в формате .avi – в программе VirtualDub.

При этом находили при покадровом просмотре моменты начала и конца индикации одной и той же скорости и строили диаграмму $v(t)$, относя значения скорости к середине участка времени от начала до конца индикации.

По видеозаписям ограждения строили графики пути $S(t)$, которые затем сглаживали полиномами 3-й или 4-й степени и далее численно дифференцировали, получая диаграммы истинной скорости $v(t)$ и замедления $j(v)$. Здесь использованы именно эти диаграммы.

После отбраковки неполных и ненадежных записей осталось восемь кривых (рис. 1, табл. 2). Путь выбега в них варьировал от 591 до 746 м со средним 658 м. Это превышает длину доступных в нашей местности горизонтальных участков дорог (350...500 м), поэтому был предпринят более подробный анализ.

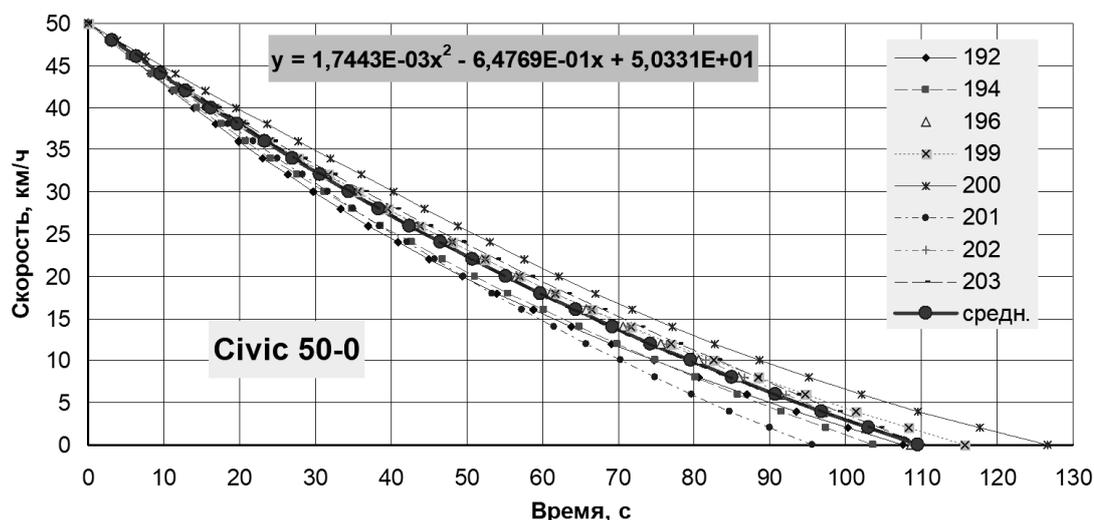


Рис. 1. Диаграммы выбегов автомобиля Honda Civic D4 от 50 км/ч до полной остановки

Требовалось найти такой диапазон скоростей, в котором путь выбега не превышал хотя бы 500 м, время было достаточно велико для надежного измерения при ручной засечке, а вариация – достаточно мала.

Были оценены общепринятые выборочные показатели – выборочное среднее, размах, дисперсия, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

Чтобы снизить требования к длине дороги, можно замерять выбег не до остановки, а до 20 или 30 км/ч. Но в первом случае путь выбега все же превышает 500 м, а во втором заметно больше вклад сопротивления воздуха.

Это делает проверку более чувствительной к изменению скорости ветра и менее чувствительной к неисправностям ходовой части и трансмиссии.

Лучше ограничивать диапазон сверху.

Таблица 2

Время выбега автомобиля Honda Civic D4 от 50 км/ч до скорости V

Клип	Скорость V, км/ч				
	40	30	20	10	0
1	2	3	4	5	6
192	13,87	29,70	49,38	74,74	107,63
196	16,69	35,35	56,47	80,66	108,60

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
199	16,69	35,57	56,96	82,61	115,69

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport №23' 2021

200	19,58	40,23	62,12	88,71	126,74
201	15,40	31,61	49,47	70,23	95,58
202	16,56	35,38	56,96	81,48	108,78
203	17,14	36,56	58,55	83,12	110,05
Среднее t	16,28693	34,44496	55,1222	79,55868	109,5863
Размах Δ	5,71	10,53	12,74	18,48	31,16
Дисперсия D	3,181196	11,74634	21,53607	34,65025	81,28929
Станд. откл. σ	1,783591	3,427294	4,640698	5,886446	9,016057
Коэф. вариации ν	0,109511	0,099501	0,084189	0,073989	0,082274

Привлекательно выглядят два варианта: от 40 до 20 км/ч и от 30 до 10 км/ч (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение показателей двух возможных диапазонов скоростей

Диапазон скоростей, км/ч	От 40 до 20	От 30 до 10
Время выбега, с	38,6	44,9
Путь выбега, м	317,3	242,6
Размах замедления, м/с ²	0,0723	0,0711

Оба диапазона удобны. Средний путь выбега существенно меньше 500 м. Среднее время выбега достаточно велико, чтобы погрешность, вызванная запаздыванием засечки, например, 0,5 с, не вызывала общую ошибку более 1,5 % (1,3 и 1,1 %). Размах замедления в выборке практически одинаков.

Таблица 4

Расчетные нормативные значения параметров «Время выбега» и «Путь выбега» автомобиля Honda Civic D4

Вариант сопротивления качению	Параметр	Диапазон скорости			
		от 50 до 0	от 40 до 20	от 30 до 10	от 40 до 10
худший	Время, с	90,6	32,4	37	52,3
	Путь, м	554,1	266,8	200,6	348,7
средний	Время, с	106,2	37,3	43,2	60,7
	Путь, м	639,2	306,7	233,6	403
лучший	Время, с	129,4	44,2	52,3	72,8
	Путь, м	760	362,6	281,3	480,3

Цифровой спидометр автомобиля Honda Civic индицирует скорость в целых км/ч, поэтому на дисплее одно значение удерживается довольно долго – а человек может засечь время как в самом начале, так и в конце периода индикации.

Впрочем, после некоторой тренировки ручная засечка оказывается достаточно точной и дает ошибку от 0 до 0,35 с.

Погрешности включения и выключения секундомера имеют одинаковый знак, поэтому ошибка разности невелика 0,1–0,2 с.

Вторая особенность цифрового спидометра – спорадические пропуски значений скорости, например, после 40 сразу 38 км/ч, после 33 – 31 и т.п., что вынуждает повторять замеры.

В описанном выше анализе результатов эксперимента получено среднее значение $f = 0,01124$ (для скорости 20 км/ч). Это близко к 0,01130 – по нижней границе поля возможных значений для шин категорий S и T.

Наибольшие возможные значения f (верхняя граница поля для шин H, V и других скоростных) выше в 1,237 раза, наименьшие (нижняя граница поля для шин ECO) – 0,756 раза.

Опуская вычисления, приведем полученные значения пути и времени выбега для рассматриваемых диапазонов скорости.

Итак, установлены рекомендуемые режимы проверки автомобиля Honda Civic D4 с шинами группы ECO и нормативы для этих режимов.

Однако при шинах других типов нормативы будут иными.

Не имея возможности повторить эксперимент со всеми вариантами шин, мы попытались рассчитать эти варианты, исходя из общепринятых моделей сопротивлений движению автомобиля.

Однако никакое сочетание постоянного значения C_x и зависимости $f(v)$ не дало кривой замедления $j(v)$, приближающейся к экспериментальной.

Оставалось принять версию о непостоянстве C_x и попытаться найти достаточно простые методы расчета параметров выбега с 50 км/ч с учетом этого непостоянства.

Характер зависимости $C_x(v)$ удобно исследовать методом, описанным, например в [4]. Выбирают на экспериментальной кривой $j(v)$ две близкие по скорости точки и принимают допущение, что в силу малой разности скоростей значения сопротивлений в обеих точках одинаковы. Далее составляют систему из двух уравнений силового баланса для этих двух точек и решают ее. Затем переходят к следующей паре скоростей – и так до конца исследуемого диапазона.

Мы называем эту процедуру «метод близких скоростей».

Исходная система уравнений

$$\begin{cases} P_{f1} + P_{xx.mp1} + kF \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_{f2} + P_{xx.mp2} + kF \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2, \end{cases} \quad (1)$$

где P_f – сила сопротивления качению, Н;

$P_{xx.mp}$ – сила сопротивления холостого хода трансмиссии, Н;

k – коэффициент обтекаемости, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$; $k = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x$ (ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления);

F – лобовая площадь автомобиля, м^2 ;

v_1, v_2 – выбранные близкие скорости, $\text{м}/\text{с}$;

j_1, j_2 – замедления при этих скоростях.

Как сказано выше, принято допущение, что при достаточно близких скоростях сопротивления равны.

Однако предварительная оценка на примере автомобиля Honda Civic показывает, что чувствительность трех составляющих к изменению скорости различна (табл. 5, рис. 2).

Таблица 5

Зависимость сопротивлений выбегу автомобиля Honda Civic от скорости

V	0	5	10	15	20	25	30
Pw	0,0	0,8	3,3	7,3	13,0	20,4	29,3
Pf	189,4	189,0	188,8	188,8	188,8	189,0	189,3
Pxx	0,052	0,704	1,05	1,37	2,64	3,85	4,81
V	35	40	45	50	55	60	65
Pw	39,9	52,2	66,0	81,5	98,6	117,4	137,8
Pf	189,6	190,2	190,8	191,5	192,4	193,4	194,5
Pxx	5,72	6,78	8,07	9,46	10,85	12,4	15,1

При этом сопротивление воздуха определялось по стандартной формуле при $\rho=1,208 \text{ кг}/\text{м}^3$, $C_x=0,31$, $F=2,1 \text{ м}^2$; сопротивление качению при $m_a=1703 \text{ кг}$, f – по нижней границе поля возможных значений для шин категорий S и T [1]; P_{xx} – по результатам измерений [5].

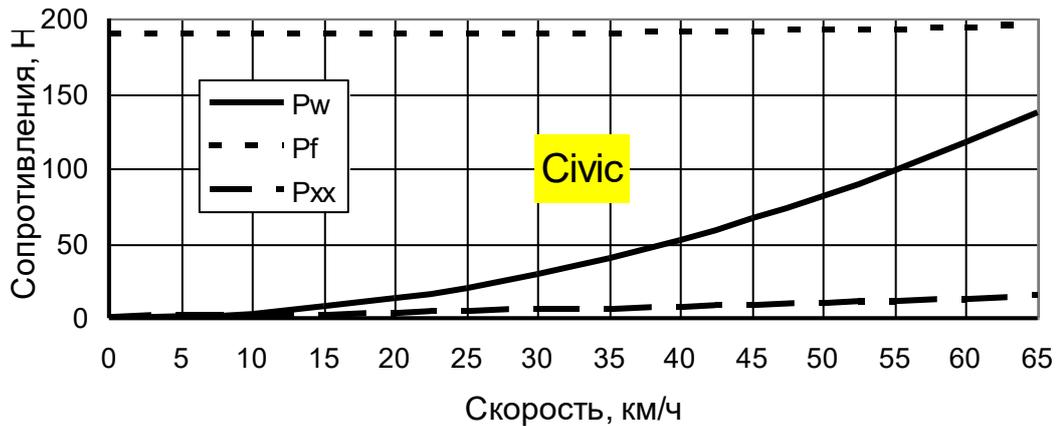


Рис. 2. Зависимость сопротивлений выбегу Honda Civic от скорости

Наименее чувствительно сопротивление качению, именно его можно без ущерба для точности считать постоянным в выбранном диапазоне скоростей от v_1 до v_2 ($P_{f1} = P_{f2} = P_f$).

Остальные два сопротивления зависят от скорости. Их удобно объединить в виде $kF^* \cdot v^2$. Тогда

$$\begin{cases} P_f + kF^* \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_f + kF^* \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2. \end{cases} \quad (2)$$

После простейших преобразований получаем

$$kF^* = \frac{\delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{(v_1^2 - v_2^2)}, \quad C_x^* = \frac{2 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^2 - v_2^2)} \quad (3)$$

или, если скорость выражена в км/ч,

$$C_x^* = \frac{25,92 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^2 - v_2^2)}. \quad (4)$$

Несложно найти и коэффициент сопротивления качению из

$$\begin{cases} P_f + kF^* \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_f + kF^* \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2, \end{cases} \quad (5)$$

$$m \cdot g \cdot f \cdot (v_2^2 - v_1^2) = m \cdot \delta \cdot (j_1 \cdot v_2^2 - j_2 \cdot v_1^2),$$

$$f = \frac{\delta \cdot (j_1 \cdot v_2^2 - j_2 \cdot v_1^2)}{g \cdot (v_2^2 - v_1^2)}. \quad (6)$$

Если же принять гипотезу о непостоянстве показателя степени n [1], то картина несколько изменится:

$$C_x^* = \frac{2 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^{n_1} - v_2^{n_2})}; \quad (7)$$

$$f = \frac{\delta \cdot (j_1 \cdot v_2^{n_2} - j_2 \cdot v_1^{n_1})}{g \cdot (v_2^{n_2} - v_1^{n_1})} \quad (8)$$

В качестве примера были взяты приведенные в [6] данные выбега седана Mitsubishi Lancer 2.0 (масса 1555 кг, $\delta=1,0373$, $r_k=0,318$ м. Методом [1] вычислены значения $C_x=0,364$, $f=0,0117$) и обработаны в двух вариантах: при классическом описании сопротивления воздуха с постоянным показателем степени при скорости $n=2$ и с переменным показателем степени $n(v)$ (рис. 3).

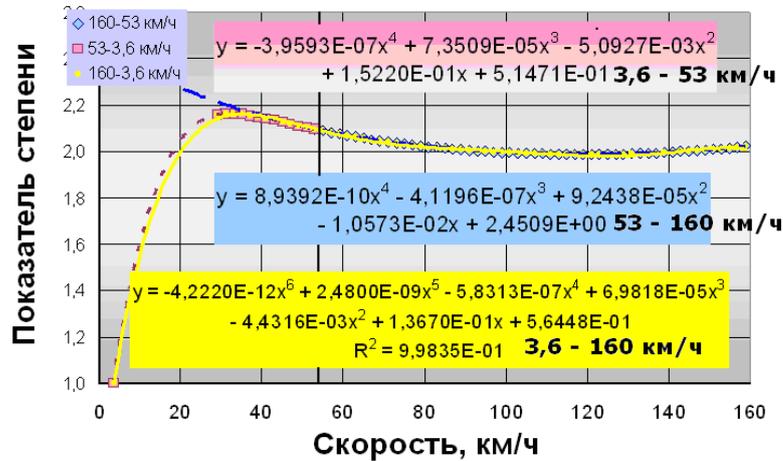


Рис. 3. Зависимость показателя степени n от скорости – усредненная по 84 моделям легковых автомобилей разных типов

На рис. 4 и рис. 5 показаны расчетные зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления C_x и коэффициента сопротивления качению f от скорости.

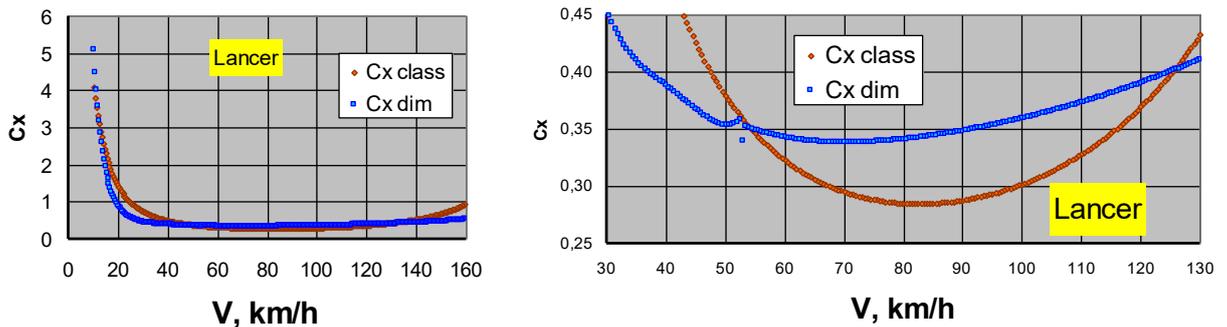


Рис. 4. Расчетная зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости, полученная методом близких скоростей, в полном (слева) и рабочем диапазонах скоростей

Неожиданно выглядит снижение до нуля сопротивления качению в начале и, особенно, в конце диаграммы.

Резкое падение f при скоростях ниже 20 км/ч уже описано в работах ХНАДУ [1], но для высоких скоростей оно не отмечалось. Скорее всего, это следствие несовершенства модели. Впрочем, для настоящего исследования этот вопрос не важен: выбеги изучаются здесь со скорости 50 км/ч.

Как видно из этих диаграмм, в варианте с переменным показателем степени МБС дает несколько более стабильные результаты.

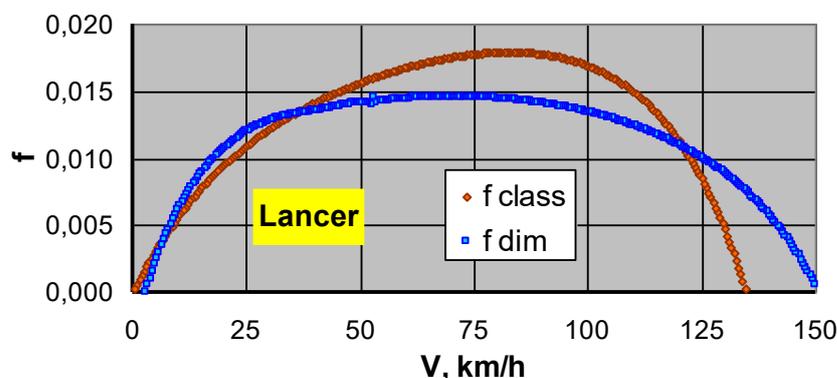


Рис. 5. Расчетная зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости, полученная методом близких скоростей

Полученное при этом среднее для рабочего диапазона скоростей значение $C_x = 0,3656$ достаточно близко к вычисленному методом [1] $0,3639$, а значение $f = 0,011748$ практически совпадает с $f = 0,011706$ (при скорости $23,75$ км/ч, на которой вычисляется f методом [1]).

Возник вопрос: а в какую степень надо возводить скорость при таком значении C_x , чтобы получить такое же сопротивление воздуха, какое дает МБС.

Результат расчета оказался бесполезным: кривая этого условного показателя степени (рис. 6) в зоне малых скоростей заметно уходит от исходной (n), устремляется к бесконечности и образует разрыв вблизи $3,6$ км/ч.

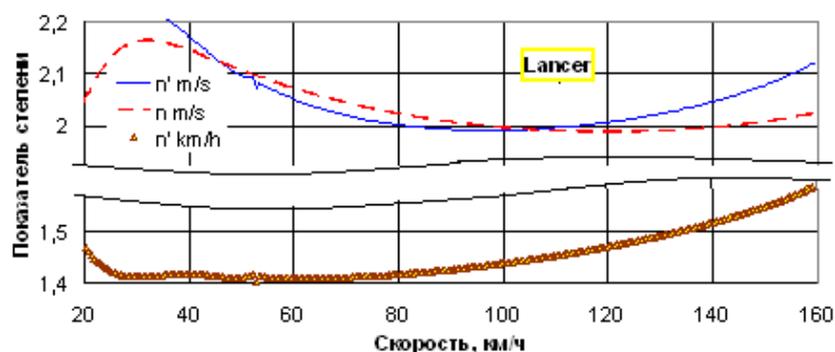


Рис. 6. Условный показатель степени при расчете с $C_x=0,3639$

Более практичный результат такая операция дала при подстановке скорости в км/ч. Кривая $n' \text{ km/h}$ на рис. 6 идет в области рабочих скоростей более полого, на участке от 90 до 30 км/ч этот показатель практически постоянный ($1,4135$), а в пределах от 50 до 20 км/ч может быть принят $1,418$.

Правда, на меньших скоростях расчет сопротивления воздуха при $C_x=0,3639$ и $n'=1,418$ дает нарастающую погрешность, но на фоне прочих сопротивлений она незначительна, да и сам расчет по МБС не идеален.

Анализ выбега сравниваемых автомобилей с использованием «метода близких скоростей»

Аналогичные расчеты для автомобилей с резко отличающейся аэродинамикой: внедорожника Toyota Land Cruiser 200 ($C_x=0,5063$) и седана Honda Civic D4 ($C_x=0,3092$) дали близкие значения $n'=1,4396$ и $n'=1,4228$. Среднее из трех – $1,427$.

Подбор эмпирических формул для расчета коэффициента сопротивления качению f также опирался на результаты анализа выбега Mitsubishi Lancer с помощью МБС при переменном показателе степени.

Полученная диаграмма $f(v)$ показана на рис. 7. Она была аппроксимирована логарифмической функцией, но кривая при скоростях ниже 2 км/ч уходила в отрицательную область, что не имеет физического смысла.

Поэтому функция была откорректирована смещением аргумента на 1,7 км/ч.

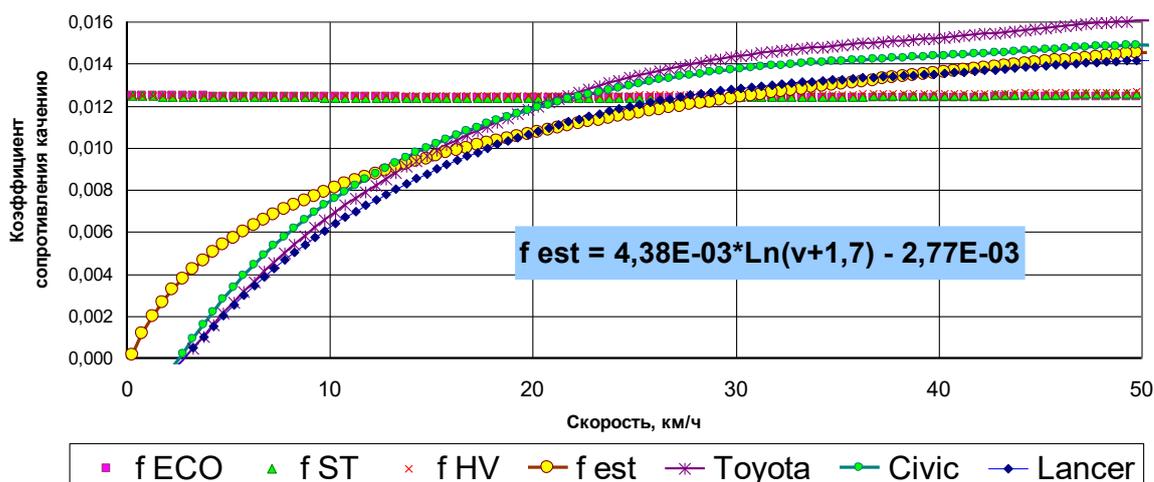


Рис. 7. Зависимость коэффициента сопротивления качению f от скорости, вычисленная методом близких скоростей при переменном $[n(v)]$ показателе степени

У двух других рассмотренных автомобилей форма аппроксимирующей кривой такая же, но ординаты выше или ниже в соответствии со свойствами шины.

Это удобно корректировать масштабным коэффициентом C_i/C_L , где C – свободный член в аппроксимирующем выражении для зависимости коэффициента сопротивления качению f от скорости [1]; i – индекс рассматриваемого автомобиля; L – индекс автомобиля Lancer.

Значение C_L для седана Lancer принято по средней линии для шин SR-TR (0,012467), для внедорожника Toyota по верхней линии для шин HR-VR (0,0140095), для седана Civic по средней линии для шин HR-VR (0,013261).

Выбор C определялся скоростной категорией шины с учетом значения ψ , полученного при обработке диаграммы выбега по [1].

Результаты расчета параметров выбега для трех автомобилей представлены в таблице 6 натуральными значениями и отклонениями от экспериментальных данных в процентах (ϵ , %).

Таблица 6

Параметры выбега легковых автомобилей, рассчитанные классическим и предлагаемым эмпирическим методами, в сопоставлении с экспериментальными данными

Источник данных	Диапазон скоростей							
	50...1		50...20		40...20		30...10	
	Время, с / ϵ , %	Путь, м / ϵ , %	Время, с / ϵ , %	Путь, м / ϵ , %	Время, с / ϵ , %	Путь, м / ϵ , %	Время, с / ϵ , %	Путь, м / ϵ , %
седан Mitsubishi Lancer 2,0								
Эксперимент	154,96	654,81	50,11	470,21	35,90	293,02	46,35	243,92
Класс. расчет	101,92	667,12	56,96	540,51	40,13	330,66	61,90	240,21
ϵ , %	-34,23	1,88	13,68	14,95	11,79	12,85	33,57	-1,52

Эмпири. расчет	151,93	656,17	50,85	474,92	36,79	299,65	47,48	250,63
ε, %	-1,96	0,21	1,48	1,00	2,47	2,26	2,45	2,75
внедорожник Toyota Land Cruiser 200								
Эксперимент	141,91	583,95	44,30	415,06	31,83	259,54	41,65	218,58
Класс. расчет	89,04	579,89	49,41	468,75	34,82	286,79	53,89	209,28
ε, %	-37,26	-0,70	11,53	12,94	9,39	10,50	29,39	-4,25
Эмпири. расчет	134,04	573,66	44,32	413,73	32,09	261,25	41,64	219,51
ε, %	-5,55	-1,76	0,03	-0,32	0,80	0,66	-0,04	0,43
седан Honda Civic D4								
Эксперимент	136,91	628,58	49,33	465,50	34,98	286,44	43,27	229,77
Класс. расчет	103,02	680,53	58,22	554,23	40,73	336,07	62,43	241,28
ε, %	-24,75	8,26	18,01	19,06	16,44	17,33	44,27	5,01
Эмпири. расчет	146,05	640,92	49,93	467,42	35,97	293,38	45,89	242,72
ε, %	6,68	1,96	1,23	0,41	2,85	2,42	6,05	5,63

Как видно из таблицы, предложенный эмпирический метод намного точнее общепринятого классического метода.

Выводы

1. В описанном выше анализе результатов эксперимента получено среднее значение $f = 0,01124$ (для скорости 20 км/ч). Это близко к 0,01130 – по нижней границе поля возможных значений для шин категорий S и T.

Наибольшие возможные значения f (верхняя граница поля для шин H, V и других скоростных) выше в 1,237 раза, наименьшие (нижняя граница поля для шин ESO) – 0,756 раза.

2. Как видно из этих диаграмм, в варианте с переменным показателем степени МБС дает несколько более стабильные результаты.

Полученное при этом среднее для рабочего диапазона скоростей значение $C_x = 0,3656$ достаточно близко к вычисленному методом [1] 0,3639, а значение $f = 0,011748$ практически совпадает с $f = 0,011706$ (при скорости 23,75 км/ч, на которой вычисляется f методом [1]).

Список используемых источников

1. Рабинович Э.Х. Оценка коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега / Рабинович Э.Х., Волков В.П., Белогуров Е.А. // Український метрологічний журнал. – 2010. – №4. – С.47-52.

2. Про измерение выбега / [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.exp-rem.ru/files/faq/05-07-20_rem_faq_vybeg.htm

3. Волков В.П. Режимы дорожного диагностирования автомобиля Honda Civic 4d / Волков В.П., Рабинович Э.Х., Зыбцев Ю.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле-тракторобудування». – Х.: НТУ «ХП». – 2013.

4. Рябков А.И. Методика расчета коэффициента сопротивления качению и фактора объемаемости автомобиля / Рябков А.И., Лавренченко В.Н. // Автомоб. пром-сть. – 1984. – № 3. – С. 19-20.

5. Измерение момента инерции автомобильной автоматической трансмиссии методом выбега / Рабинович Э.Х., Волков В.П., Зыбцев Ю.В. [и др.] // Український метрологічний журнал. – 2013. – №2. – С. 28-33.

6. Диваков А. С намеком на... / Александр Диваков, Павел Карин // Авторевю. – 2007. – № 14.

References

1. Rabinovich E`.Kh. Oczenka koef`ficizientov soprotivlenij dvizheniyu avtomobilya po puti vy`bega / Rabinovich E`.Kh., Volkov V.P., Belogurov E.A. // Ukrayins`kij metrologi`chnij zhurnal. – 2010. – №4. – S.47-52.
2. Pro izmerenie vy`bega / [E`lektronny`j resurs] / Rezhim dostupa: http://www.exp-rem.ru/files/faq/05-07-20_rem_faq_vybeg.htm
3. Volkov V.P. Rezhimy` dorozhnogo diagnostirovaniya avtomobilya Honda Civic 4d / Volkov V.P., Rabinovich E`.Kh., Zy`bcezev Yu.V. // Vi`snik NTU «KhPI». Seri`ya: Avtomobi`le-traktorobuduvannya». – Kh.: NTU «KhPI». – 2013.
4. Ryabkov A.I. Metodika rascheta koef`ficizienta soprotivleniya kacheniyu i faktora ob`ekaemosti avtomobilya / Ryabkov A.I., Lavrenchenko V.N. // Avtomob. prom-st`. – 1984. – № 3. – S. 19-20.
5. Izmerenie momenta inerczii avtomobil`noj avtomaticheskoy transmissii metodom vy`bega / Rabinovich E`.Kh., Volkov V.P., Zy`bcezev Yu.V. [i dr.] // Ukrayins`kij metrologi`chnij zhurnal. – 2013. – №2. – S. 28-33.
6. Divakov A. S namekom na... / Aleksandr Divakov, Pavel Karin // Avtorevyu. – 2007. – №14.