

УДК 625.032.821

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЮ АВТОМОБИЛЯ CHEVROLET AVEO МЕТОДОМ ВЫБЕГА

Э.Х. Рабинович, доцент, к.т.н., В.П. Волков, профессор, д.т.н.,  
Е.А. Белогуров, аспирант, В.В. Белошицкий, студент, ХНАДУ

*Аннотация.* По выбегу автомобиля Chevrolet Aveo определен коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x = 0,367$  и коэффициент суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,0143$ . Выявлено расхождение реальной картины замедлений выбега с расчетной.

*Ключевые слова:* автомобиль, выбег, замедление, коэффициент аэродинамического сопротивления, коэффициент сопротивления качению, время.

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ РУХУ АВТОМОБІЛЯ CHEVROLET AVEO МЕТОДОМ ВИБІГУ

Е.Х. Рабінович, доцент, к.т.н., В.П. Волков, професор, д.т.н.,  
Є.О. Білогуров, аспірант, В.В. Білошицький, студент, ХНАДУ

*Анотація.* За вибігом автомобіля Chevrolet Aveo визначено коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_x = 0,367$  і коефіцієнт сумарного дорожнього опору  $\psi = 0,0143$ . Виявлено розбіжність реальних уповільнень вибігу з розрахунковими.

*Ключові слова:* автомобіль, вибіг, уповільнення, коефіцієнт аеродинамічного опору, коефіцієнт опору коченню, час.

## MEASUREMENT OF CHEVROLET AVEO CAR MOTION RESISTANCE BY COAST-DOWN METHOD

E. Rabinovich, Associate Professor, Candidate of Technical Science,  
V. Volkov, Professor, Doctor of Technical Science, E. Belogurov, postgraduate,  
V. Beloshitskiy, student, KhNAHU

*Abstract.* At road coast-down test of Chevrolet Aveo sedan the aerodynamic drag coefficient  $C_d = 0,367$  and the coefficient of rolling resistance  $\psi = 0,0143$  is defined. The reference values of coast-down are calculated. There have been revealed discrepancies between the real slowdowns and the calculated ones.

*Key words:* sedan Chevrolet Aveo, coast-down test, deceleration, time, coefficient of rolling resistance, aerodynamic drag coefficient.

### Введение

Создатели автомобилей и шин стремятся снизить сопротивления движению. В эксплуатации нужно поддерживать достигнутый разработчиками уровень, для чего регулярно диагностировать автомобиль, выявлять и устранять дефекты, увеличивающие сопротивление движению (а значит, расход топлива и вредные выбросы).

### Анализ публикаций

Когда нет тяговых роликовых стендов, самый доступный способ диагностирования – дорожная проверка по времени разгона и выбега [1]. Метод хорошо известен, используется во всем мире, только вместо времени измеряется путь. Мы показывали, что измерение скорости намного проще и доступнее для рядового пользователя. Измеренные значения нужно сравнивать с контрольными.

**Цель и постановка задачи**

Цель работы – улучшить техническое состояние автомобилей Chevrolet Aveo в эксплуатации за счет регулярной проверки силами водителя по методу [1]. Задача – обосновать контрольное значение времени выбега. Chevrolet Aveo – один из самых массовых автомобилей в мире, его выпускают в разных странах, в том числе и в Украине. Поэтому данное исследование актуально.

**Теоретический расчет**

Расчет параметров неустановившегося движения – стандартная задача теории автомобиля. Для решения нужно знать параметры автомобиля, дороги и окружающей среды. Мы выбрали седан Chevrolet Aveo II, собранный в Украине в 2007 г. (платформа T250, модификация SF69Y3) со штатными шинами Kumho Power Max 769 185/60 R14 82H (радиус качения  $R_k = 281$  мм, момент инерции колеса с шиной  $0,58 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  – по нашему расчету). Двигатель Daewoo 1,5 л и механическая коробка передач однотипны с автомобилем Lanos. Снаряженная масса автомобиля 1060 кг, полная – 1540 (в описанном ниже эксперименте  $m = 1443$  кг; вес  $G_a = 14156$  Н). Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x=0,326$  [2], лобовая площадь  $F = 2,23 \text{ м}^2$ . На дороге и с учетом увеличенного на 10 мм клиренса (адаптация для наших условий) можно ожидать [3]

$$C_x = 0,326 \cdot 1,1 \cdot (1 + 1,7 \cdot 0,01) = 0,3647. \quad (1)$$

Сила сопротивления воздуха

$$P_w = k \cdot F \cdot V^2 / 3,6^2; \quad k = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x. \quad (2)$$

Суммарное дорожное сопротивление на ровной горизонтальной дороге можно считать равным сопротивлению качению

$$P_{\psi} \approx P_f = G_a \cdot f = m_a \cdot g \cdot f. \quad (3)$$

Фирма Kumho заявляет, что шины Power Max 769 имеют уменьшенное сопротивление качению. Владелец автомобиля, чтобы повысить комфортность, поддерживает в шинах давление 0,177 МПа (1,8 атм) вместо предписанных 0,206 (2,1). Как показали наши прежние опыты, при малых скоростях  $f = 0,0147$ , что близко к верхней границе поля возмож-

ных значений для шин категорий H, V, W [4], которую хорошо ( $R^2 = 0,99976$ ) описывает квадратичная функция [1]

$$f = 6,7619 \cdot 10^{-8} \cdot v^2 + 1,52143 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,01401. \quad (4)$$

Момент инерции трансмиссии взят по аналогии с автомобилем Lanos  $0,335 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  [5], приведенная масса колес и трансмиссии

$$4m_k + m_{тр} = (0,580 \cdot 4 + 0,335) / 0,281^2 = 33,6 \text{ кг}.$$

Сопротивления холостого хода трансмиссии  $P_{тр}$  невелики (рис. 1); их зависимость от скорости, определенная экспериментально [5], хорошо ( $R^2=0,99949$ ) описывается функцией

$$P_{тр} = 1,6885 \cdot 10^{-5} v^3 - 5,3366 \cdot 10^{-3} v^2 + 0,7282v + 17,259. \quad (5)$$

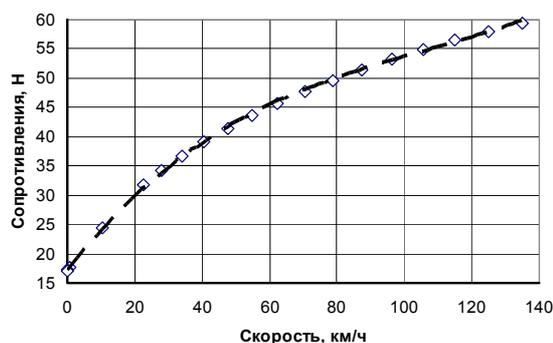


Рис. 1. Сопротивления холостого хода трансмиссии Lanos [5]

Итак, замедление свободного выбега

$$j = \frac{dV}{dt} = \frac{P_w + P_f + P_{тр}}{m_a + 4m_k + m_{тр}}. \quad (6)$$

Мы решали это дифференциальное уравнение численно, приняв шаг значений скорости 2 км/ч. Для каждого интервала скоростей вычисляли сумму сопротивлений, среднее замедление, а по нему – время прохождения автомобилем этого интервала. Далее эти значения последовательно суммировали. Результаты расчета показаны на рис. 2. Расчет-

\* В статье [1] по вине авторов допущены опечатки. Верхние две формулы в табл. 1 следует читать так:

$0,6762 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 + 1,5214 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,014010$
$0,9619 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 + 0,6057 \cdot 10^{-5} \cdot v + 0,013261$

ное время выбега от 116,5 км/ч до полной остановки составило 141,8 с, от 58,5 до нуля – 96,5 с (такие скорости соответствуют 120 и 60 км/ч по спидометру тестового автомобиля).

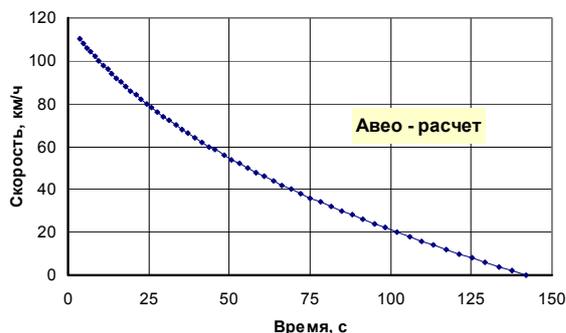


Рис. 2. Диаграмма выбега автомобиля Aveo

### Экспериментальная проверка

Выбранная для тестов дорога, идущая по дамбе водохранилища, имеет два участка: длинный протяженностью 1650 м, направленный примерно с запада на восток (азимут  $98^\circ$ ), и короткий – 720 м, азимут  $43,4^\circ$  (северо-восток) – рис. 3. Покрытие – асфальтобетон поверх бетонных плит, состояние хорошее. Оба участка строго горизонтальны.



Рис. 3. Место проведения эксперимента

Погода во время эксперимента: температура  $t = +12,9^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $H = 48\%$ , давление  $p = 756$  мм рт. ст. (100 792 Па). Ветер с юго-востока, 5 м/с. Плотность воздуха ( $1,22577$  кг/м<sup>3</sup>) рассчитана по формуле Международного бюро мер и весов:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{0,464554p - H(0,00252t - 0,020582)}{273,15 + t}. \quad (7)$$

В ходе заездов регистрировались процессы разгона и выбега. Регистрация проводилась, как описано в [6], путем видеозаписи движения стрелки спидометра цифровым фотоаппаратом Canon Power Shot A700 с частотой 30 кадров в секунду. Спидометр проградуи-

рован с помощью ручного приемника GPS модели Magellan Triton 300. В [6] показано, что такое сочетание видеозаписи и GPS дает вполне удовлетворительную точность. Результаты градуировки показаны на рис. 4.

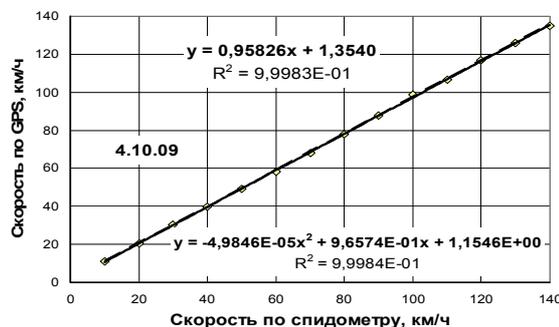


Рис. 4. Градуировка спидометра тестового автомобиля Aveo по сигналам GPS

Годом ранее для того же автомобиля была получена очень близкая градуировка:

$$y = 0,95964 \cdot x + 1,3619. \quad (8)$$

Заезды проводились в двух направлениях: на восток («туда») и на запад («обратно»). За один заезд выполнялись на длинной плотине два разгона до 60 км/ч с последующим выбегом и один – на короткой. После отбраковки записей с помехами от стороннего транспорта осталось 6 записей на длинной плотине в направлении «туда» (ДТ), 7 «обратно» (ДО); на короткой плотине – по 5 записей туда и обратно (КТ и КО). Дополнительно сделали несколько заездов с разгоном до 110–120 км/ч и последующим выбегом до 60 км/ч. Такие отдельные замеры – вынужденная мера: длина плотины не позволяла за один раз выполнить разгон до 120 км/ч и последующий выбег до полной остановки.

Видеозаписи мы затем обрабатывали на компьютере в программе VirtualDub – находили в режиме покадрового просмотра моменты прохождения стрелкой спидометра рисок на шкале. Усредненные значения времени по каждой группе приведены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 5.

Влияние ветра оказалось пренебрежимо мало даже на длинной плотине, где должно было проявиться заметно (рис. 3). Вероятно, воздушный поток, идущий с юго-востока вдоль русла реки, встречая преграду в виде плотины высотой 12 метров, «перепрыгивал» дорогу несколько выше автомобиля и практически не создавал помех движению. Общая

средняя диаграмма хорошо ( $R^2 = 0,99936$ ) аппроксимируется выражением

$$V = 2,519 \cdot 10^{-7} t^4 - 5,2329 \cdot 10^{-5} t^3 + 6,432 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,96953t + 58,664. \quad (9)$$

Таблица 1 Усредненное время достижения скорости  $V$  по участкам и направлениям

V	58,85	54,06	49,27	44,48	39,684
ДТ	0	4,133	9,720	15,473	21,867
ДО	0	4,233	10,028	16,633	23,357
КТ	0	4,616	10,616	16,489	23,242
КО	0	4,883	10,653	16,527	22,766
Ср.	0	4,466	10,254	16,281	22,808

V	30,10	25,31	20,52	10,94	0
ДТ	34,507	42,426	50,807	67,406	94,573
ДО	35,490	43,552	52,793	69,826	96,720
КТ	36,242	43,835	52,542	68,975	95,095
КО	34,673	42,667	51,580	68,679	96,763
Ср.	35,228	43,120	51,931	68,722	95,788

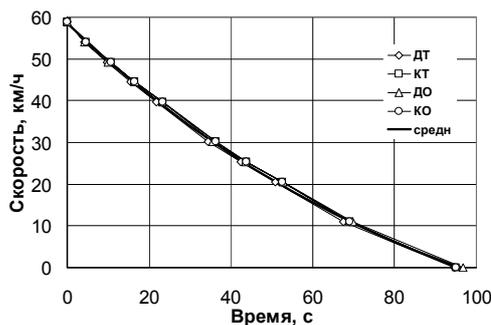


Рис. 5. Усредненные диаграммы выбега с малой скорости по четырем группам

Аналогичным образом были рассчитаны и построены диаграммы выбега с более высокой скорости (на рис. 6 показана усредненная диаграмма). Ее хорошо ( $R^2 = 0,99993$ ) описывает выражение

$$V = -9,9043 \cdot 10^{-5} t^3 + 1,6621 \cdot 10^{-2} t^2 - 1,8307t + 116,49. \quad (10)$$

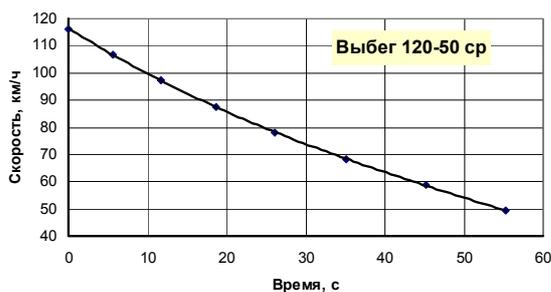


Рис. 6. Усредненная диаграмма выбега с высокой скорости

Среднее время выбега от 116,5 км/ч до полной остановки по замерам составило 141,2 с, по расчету 141,8 с; от 58,5 до нуля – соответственно 96,1 с и 96,5 с.

### Определение коэффициентов $C_x$ и $f$

Результаты описанных экспериментов позволяют оценить коэффициенты сопротивления воздуха и качению, например, по следующим формулам [7]:

$$C_x = \frac{2 \cdot \beta \cdot m \cdot (j_1 - j_2 \cdot K_V)}{F \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V)},$$

$$f = \frac{\beta \cdot (j_2 \cdot v_1^2 - j_1 \cdot v_2^2)}{g \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_V)}, \quad (11)$$

где  $\beta$  – коэффициент учета вращающихся масс;  $m$  – масса автомобиля, кг;  $v_1, v_2$  – средние скорости на начальном и конечном участках выбега, м/с;  $j_1, j_2$  – замедления на тех же участках, м/с<sup>2</sup>;  $K_V$  – коэффициент ожидаемого возрастания сопротивления качению при увеличении скорости от  $v_2$  до  $v_1$  [1];  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Для расчета по этим формулам нужно получить значения замедлений при высокой и низкой скоростях  $j_1$  и  $j_2$ . Замедления были рассчитаны по усредненным диаграммам  $V(t)$  (рис. 5, 6). Зависимость  $j(V)$  (рис. 7) хорошо ( $R^2 = 0,99969$ ) описывается выражением

$$j = 2,2643 \cdot 10^{-7} V^3 - 2,5214 \cdot 10^{-5} V^2 + 3,5068 \cdot 10^{-3} V + 0,096568. \quad (12)$$

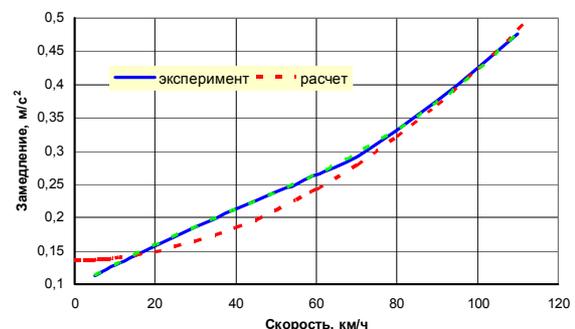


Рис. 7. Усредненная зависимость замедления от скорости

При скоростях ниже 70 км/ч, как видно из рисунка, появляется заметное расхождение между экспериментальными и расчетными

значениями замедления – выпуклость на экспериментальной кривой. Мы уже обнаружили такое явление, анализируя данные выбега седана Ford Mondeo [7]. Если подставлять в формулы для  $C_x$  и  $f$  измеренные замедления  $j$  при разных скоростях  $V_2$ , будут получаться разные значения  $C_x$  (табл. 2).

**Таблица 2** Значения  $C_x$ , вычисленные по средней экспериментальной зависимости  $j(V)$  при  $v_1 = 110$  км/ч = 30,55 м/с ( $j_1 = 0,4754$  м/с<sup>2</sup>) и разных значениях  $v_2$

$V_2$	40	30	20	15	10
$j_2$	0,2127	0,1860	0,1579	0,1434	0,1285
$C_x$	0,3225	0,3344	0,3539	0,3666	0,3813

Можно предположить, что общепринятая математическая модель сопротивлений движению автомобиля нуждается в уточнении, а пока вычислять  $C_x$  по замедлению при скорости 15 км/ч, где экспериментальная и расчетная кривые пересекаются, т.е. дают одинаковое значение замедления. В этом случае получим  $C_x = 0,3666$  (близко к принятому выше значению 0,3647) и  $f = 0,01434$ . Тогда расчетное время выбега еще ближе к экспериментальному (141,66 и 96,41 с).

### Контрольные значения времени выбега

Значения времени выбега для практического пользования рассчитаны при указанных  $C_x$  и  $f$  для двух характерных случаев проверки: автомобиль с водителем (1133 кг) и автомобиль полной массы (1540 кг) – табл. 3.

**Таблица 3** Контрольные значения времени выбега автомобиля Chevrolet Aveo от 120 км/ч до скорости  $V$

Скорость $V$ , км/ч						
100	80	60	50	40	20	0
Автомобиль с водителем, 1133 кг						
9,5	22,1	39	49,6	61,9	92,7	131,2
Автомобиль полной массы, 1540 кг						
11,9	27,2	47,1	59,4	73,3	106,7	146,7

Чтобы узнать контрольное значение времени выбега, например, от 100 до 60 км/ч, нужно из значения для 60 км/ч вычесть значение для 100:  $39 - 9,5 = 29,5$  с.

### Выводы

Расчет времени выбега автомобиля традиционными методами дает значения, хорошо

сходящиеся с экспериментальными результатами, если правильно подбирать значения коэффициентов сопротивлений. В то же время реальная картина процесса сложнее традиционного описания (рис. 7). Реальная кривая не является следствием погрешностей эксперимента; мы получали такую же картину, анализируя результаты чужих испытаний [7]. Поэтому нужны дальнейшие исследования сопротивлений движению автомобиля.

### Литература

1. Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом однократного выбега / Э.Х. Рабинович, З.Э. Кемалов, А.В. Сосновский // Автомобильный транспорт : сб. научн. трудов.– Харьков: ХНАДУ. – 2008. – Вып. 22. – С. 46–48.
2. Buick site. Chevrolet Aveo, 8.07.2008.
3. Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом двукратного выбега / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, Н.В. Воскобойников // Автомобильный транспорт : сб. научн. трудов. – Харьков, ХНАДУ. – 2008. – Вып. 22. – С. 49–52.
4. BOSCH. Автомобильный справочник. – М. : ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.
5. Определение момента инерции и сопротивлений холостого хода трансмиссии легкового автомобиля / Э.Х. Рабинович, В.А. Зуев, М.А. Горбачевский и др. // Транспорт, экология – устойчиво развитие : материалы XV научно-технической конференции ЕКОВАРНА 2009. Технически университет – Варна, 2009. – С. 598–604.
6. Эксперименты в составе НИРС студентов-автомобилистов / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, М.Х. Буравцев и др. / Вестник ХНАДУ : сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2009. – Вып. 45. – С. 93–96.
7. Рабинович Э.Х. Расчет коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // Вестник ХНАДУ : сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2009. – Вып. 44. – С. 30–34.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2010 г.