

УДК 625.032.821

БЕЛОГУРОВ Е.А., к.т.н., доцент,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ДОРОЖНЫМ МЕТОДОМ

Представлены результаты сравнительного анализа теоретических и экспериментальных исследований силы аэродинамического сопротивления автомобиля при движении. В качестве метода исследования выбран дорожный метод. Рассмотрены различные факторы, влияющие на аэродинамику автомобиля.

Ключевые слова: дорожный метод, время выбега, аэродинамика, коэффициент аэродинамического сопротивления, тяговый баланс.

Постановка проблемы

Движение автомобиля обусловлено взаимодействием различных сил. Одни силы способствуют данному движению, другие противодействуют. Сила аэродинамического сопротивления является одной из основных сил, которая препятствует движению автомобиля. Характер её влияния на автомобиль неоднозначен и зависит от многих факторов. Ещё со времен первых автомобилей данному вопросу уделялось значительное внимание, и до сих пор идут споры о способах, методах определения данной силы, о влиянии того или иного фактора на значение, направление и величину результирующей силы данного сопротивления. Все крупнейшие автомобильные заводы-изготовители для изучения данного вопроса строят дорогостоящие лаборатории, в которых изучают аэродинамику автомобиля. Но даже значительные материальные затраты на лабораторное оборудование не дают точного ответа о силе аэродинамического сопротивления автомобиля на дороге, так как не могут полностью воссоздать реальную картину дорожного движения.

Анализ последних публикаций

Силу сопротивления воздуха принято рассчитывать по формуле

$$P_w = k \cdot F \cdot v^2 / 3,6^2, \quad (1)$$

где k – коэффициент обтекаемости $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$,

$k = 0,5 C_X \rho_B$ (C_X – коэффициент аэродинамического сопротивления, ρ_B – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$);

F – лобовая площадь автомобиля, м^2 .

Однако расчет по этой формуле дает расхождение с данными дорожных экспериментов, иногда весьма значительное [1, 2], причем наибольшее расхождение приходится на скорости выше 80...100 км/ч (рис. 1).

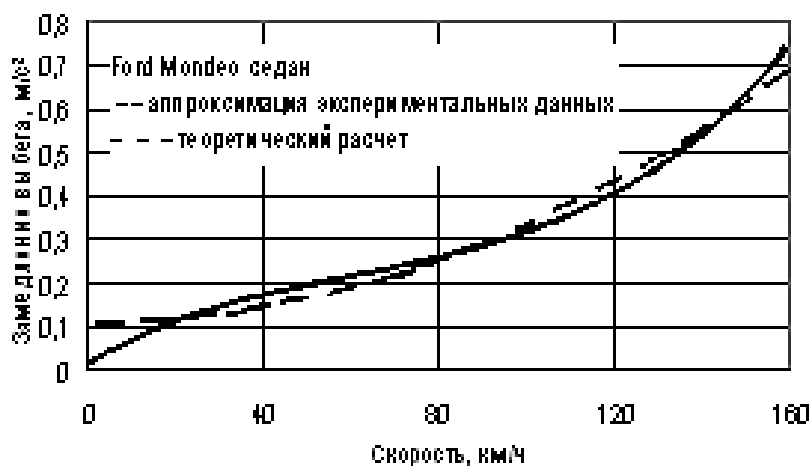


Рис. 1. Зависимость замедления выбега автомобиля от скорости [2]

Анализ этих расхождений [1] приводит к выводу, что наиболее вероятная причина – слишком упрощенная модель аэродинамического сопротивления. Рассмотрены две гипотезы: непостоянство C_x и непостоянство показателя степени при скорости «2». Выбор зависит от смысла, который вкладывается в коэффициент C_x .

Если C_x – постоянная характеристика данного объекта и определяется только его формой и состоянием поверхностей, то приходится принять гипотезу о непостоянстве показателя степени. В рассмотренном в [1] примере он варьирует от 1,95 до 2,1.

Если же C_x – это не присущая данному объекту характеристика, а просто результат математических действий и потому величина переменная, то ее значение меняется в пределах от 0,3 до 0,5. Это менее вероятно.

Более привлекателен первый вариант: он вносит определенность в понимание явления и требует меньшей изменчивости расчетного показателя. Кроме того, такой подход лучше отражает сложность картины в зоне перехода от ламинарного обтекания к турбулентному, где теория не дает надежных оценок.

Не удалось найти публикаций, подтверждающих или опровергающих эту гипотезу для автомобиля (кроме старых данных, рассмотренных в [1]). В других случаях, однако, это общепринятое мнение. Так, при расчете замедления пули в полете R [3] используется формула

$$R = A \cdot v^m, \tag{2}$$

где показатель степени m варьирует в зависимости от скорости от 1,5 до 3, причем для скоростей от 0 до 840 фут/с (т.е. 0...256 м/с) приводится среднее значение $m=1,6$.

Для артиллерийских снарядов считают, что сопротивление воздуха пропорционально первой степени лобовой площади снаряда и скорости в степени n , причем n варьирует от 1,55 до 5; баллистиков не смущает несогласованность размерности в этом случае.

Исследуя сопротивление воздуха на малых скоростях, С.А. Герасимов [4] получил показатель степени при скорости $5/2$, а при лобовой площади – $5/4$.

Итак, надо помнить, что формула (1) эмпирическая, а потому вполне доступна для уточнений, и не требовать от нее строгости закона природы, например, соблюдения правила размерности.

В работе [5] изучены на значительном числе примеров расхождения расчетных и экспериментальных сопротивлений движению (ΔF) и выведены эмпирические формулы поправок к стандартному расчету. Анализ факторов, вызывающих расхождения, не проводился.

Цель статьи

Цель исследования – повышение точности тягово-скоростных расчетов за счет совершенствования математических моделей сопротивления движению автомобиля. Для этого следует решить такие задачи:

1. выполнить теоретический расчёт силы аэродинамического сопротивления;
2. провести экспериментальные исследования на дороге в соответствии с теоретическими допущениями, которые были заложены при расчёте;
3. исследовать влияние открытых окон автомобиля на аэродинамику автомобиля, тем самым проверив чувствительность предложенной методики.

Основная часть

Для определения значений аэродинамического сопротивления были проведены экспериментальные исследования методом выбега по ровной дороге со скорости 130 км/ч до полной остановки.

Для проведения эксперимента была выбрана дорога М-29 (рис.2) сообщением Харьков – Симферополь, которая по своим параметрам соответствует условиям эксперимента. Для этого там имеется участок ровной дороги длиной 2,3 км с небольшим постоянным уклоном и низкой интенсивностью движения.



Рис.2. Участок дороги М-29

Перед проведением эксперимента была проведена соответствующая подготовка, а именно: проверено и доведено до нормы давление в шинах, обозначен автомобиль (рис.3) (чтобы предупредить других участников движения), определена температура воздуха (рис.4), направление и скорость ветра (рис.5), проведена градуировка спидометра (рис.6) и установлен фотоаппарат, фиксирующий выбег автомобиля по спидометру (рис.7).



Рис.3. Информационно-предупредительные таблички на автомобиле



Рис.4. Определение температуры воздуха



Рис.5. Определение направления и скорости ветра

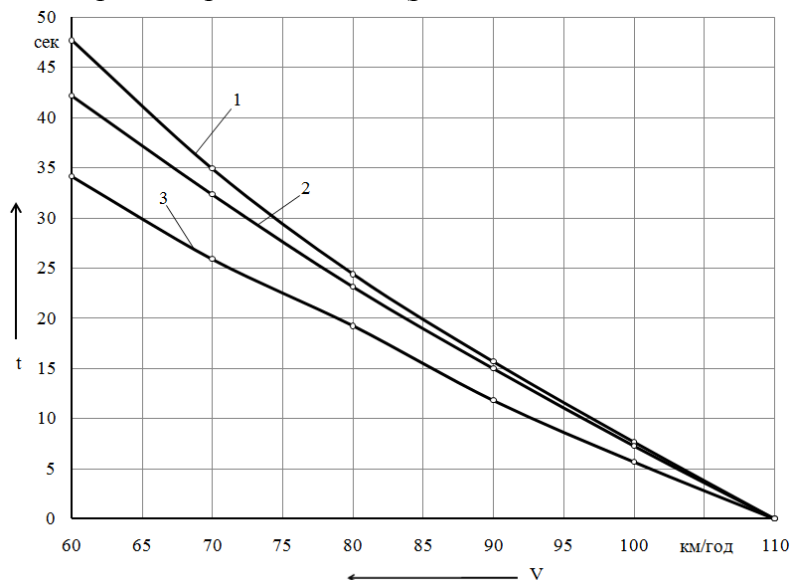


Рис.6. Градуировка спидометра с помощью GPS навигатора



Рис.7. Устройство видеофиксации на рулевом колесе

В дальнейшем результаты экспериментальных заездов были обработаны с помощью программы Virtual Dub и построены кривые выбега (рис.8).



1) 5 человек в машине; 2) 5 человек в машине и открытые окна; 3) 2 человека в машине

Рис. 8. Выбег автомобиля Chevrolet Lacetti

Как видно из диаграмм (рис. 8), выбег автомобиля, полностью загруженного, с закрытыми окнами, составляет 47,68 с, а выбег автомобиля с той же массой, но уже со всеми открытыми окнами составляет 42,15 с. Разница между ними составляет 13,11 %, что подтверждает общепринятую теорию – лучше ездить со включённым кондиционером, чем с открытыми окнами, так как потери будут меньше.

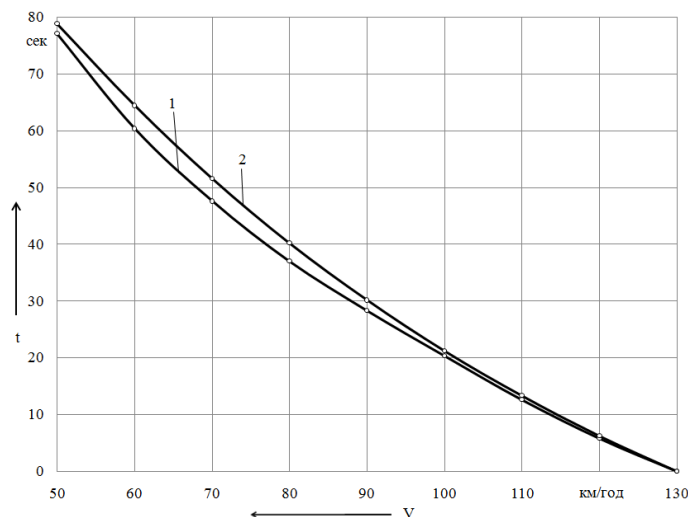
Потом было получено среднее замедление по формуле (3):

$$j = \frac{V_1 - V_2}{3,6 \cdot t} \quad (3)$$

Аппроксимируя кривые сопротивления качения для шин, установленных на экспериментальном автомобиле, удалось установить зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости (4):

$$f = (0,96191 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 + 0,0060571 \cdot V + 13,2613) \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

И в итоге расчётным методом удалось получить время выбега для экспериментального автомобиля. Для сравнения построены теоретическая и экспериментальная кривые времени выбега автомобиля (рис.9).



1) экспериментальное значение времени выбега, 2) расчётное время выбега

Рис.9. Время выбега автомобиля Chevrolet Lacetti

Разница времени выбега со скорости 130 км/ч до 50 км/ч составила 1,67 с, что не превышает 2%.

Выводы

1. Дорожные испытания для определения силы аэродинамического сопротивления методом выбега является самым простым и доступным методом.

2. При недостаточной длине горизонтального участка дороги проверку по времени выбега можно производить на меньших скоростях: от 80 или 70 км / ч до 50 или 40 км / ч, но не до полной остановки, чтобы избежать значительного разброса значений результатов.

3. В результате дорожных испытаний методом выбега было определено значение коэффициента аэродинамического сопротивления автомобиля Chevrolet Lacetti, которое составило $C_x = 0,359$, что на 6,33% больше, чем значение, заявленное заводом-производителем. Экспериментально подтверждены результаты известных исследований, которые заключаются в том, что значения коэффициента аэродинамического сопротивления, полученные при испытаниях в аэродинамической трубе, заявленные заводом-производителем, меньше на 5-10% аналогичных результатов, полученных в дорожных условиях.

4. С помощью полученных при эксперименте данных были рассчитаны значения сил аэродинамического сопротивления, действующих на автомобиль при разных скоростях. Также экспериментальным путем было определено, что время выбега автомобиля с открытыми окнами гораздо меньше времени выбега автомобиля с закрытыми окнами, а коэффициент аэродинамического сопротивления в среднем на 9,46% больше, что приведет к увеличению расхода топлива.

Список литературы

1. Рабинович Э.Х. Расчет коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега / Рабинович Э.Х., Волков В.П., Белогуров Е.А. // Вестник ХНАДУ. — 2009. — Вып. 44. — С.30–34.

2. Рабинович Э.Х. Сопротивления движению легкового автомобиля при выбеге / Рабинович Э.Х., Волков В.П., Белогуров Е.А. и др. // Автомобильный транспорт. — 2010. — вып. 26 — С. 53-58.

3. Зависимость баллистического коэффициента от формы пули / [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <http://www.ada.ru/guns/ballistic/bc/drag.htm>

4. Герасимов С.А. Динамический режим аэродинамического сопротивления / С.А. Герасимов // Современные наукоемкие технологии. — 2007. — № 8 — С. 19-22.

5. Рабинович Э.Х. Возможное влияние колебаний на сопротивление движению легкового автомобиля при выбеге / Э.Х. Рабинович, А.В. Дитятьев, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // Автомобильный транспорт. — Харьков, ХНАДУ. — 2010. — вып. 26. — с. 59-62.

Білогуров Є.О., Визначення сили аеродинамічного опору автомобіля дорожнім методом

Анотація. Представлені результати порівняльного аналізу теоретичних і експериментальних досліджень сили аеродинамічного опору автомобіля при русі. В якості методу дослідження обрано дорожній метод. Розглянуто різні фактори, що впливають на аеродинаміку автомобіля.

Ключові слова. дорожній метод, час вибігу, аеродинаміка, коефіцієнт аеродинамічного опору, тяговий баланс.

Bilogurov E.A., Certain forces of aerodynamic resistance road by car

Abstract. The results of the comparative analysis of theoretical and experimental research of aerodynamic drag force a vehicle while driving. As a research method chosen method of travel. Various factors affecting the aerodynamics of the car.

Keywords. Road method, run-down time, aerodynamics, drag coefficient, the traction balance.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2014 р.