

УДК 629.016

Д.В. Абрамов*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет***МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ АВТОМОБИЛЯ В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ
ПО ДОРОГЕ С ПРОДОЛЬНОМ УКЛОНОМ**

Усовершенствован метод определения массы автомобиля в процессе его движения по дороге с продольным уклоном. Результаты измерения массы автомобиля могут быть использованы в алгоритмах работы его интеллектуальных бортовых систем.

Ключевые слова: автомобиль, продольный уклон, масса, ускорение, скорость.

Д.В. Абрамов*Харківський національний автомобільно-дорожній університет***МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ АВТОМОБІЛЯ В ПРОЦЕСІ РУХУ
ДОРОГОЮ З ПОЗДОВЖНІМ УХИЛОМ**

Вдосконалено метод визначення маси автомобіля в процесі його руху дорогою, що має поздовжній ухил. Результати вимірювання маси автомобіля можуть бути використані в алгоритмах роботи його інтелектуальних бортових систем.

Ключові слова: автомобіль, поздовжній ухил, маса, прискорення, швидкість.

D. Abramov*Kharkiv National Automobile and Highway University***METHOD FOR DETERMINING THE MASS OF THE VEHICLE
DURING MOVEMENT ALONG THE ROAD WITH LONGITUDINAL SLOPE**

The method of determining the mass of the vehicle during movement along the road with longitudinal slope been improved. The results of measuring the mass of the car can be used in the algorithms of its smart onboard systems.

Keywords: vehicle, longitudinal slope, mass, acceleration, velocity, acceleration.

Постановка проблемы. Для улучшения работы интеллектуальных бортовых систем автомобиля необходимо определять его массу, которая может изменяться в широких пределах в процессе эксплуатации. Известно, что отношение полной массы легкового автомобиля к снаряженной может превышать значение 1,4 [1].

Определение массы груза необходимо также при выполнении коммерческих перевозок. При этом возможность осуществления процедуры взвешивания в большинстве случаев отсутствует. Измерение полной массы транспортного средства позволяет не допустить запредельных нагрузок на узлы и агрегаты автомобиля. Поэтому актуальной является задача контроля массы транспортного средства при движении.

В данной статье предложено усовершенствовать метод определения массы автомобиля или перевозимого груза при движении по дорогам, имеющим продольный уклон.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно много методов определения загрузки автомобиля, но большинство из них требуют дополнительных затрат времени, наличия дополнительного оборудования, не входящего в перечень бортовых средств [2, 3].

Так, в работе [2] предложено определять массу груза путем измерения расстояния от определенных четырех и более точек грузовой платформы до поверхности дорожного полотна до и после загрузки и дальнейшего вычисления с учетом изменения измеряемого расстояния. При этом для каждой модели автомобиля предварительно должна быть определена соответствующая функциональная зависимость на основе закона Гука. В работе [2] также рассмотрен метод, в котором масса колесного транспортного средства определяется с использованием математической модели, учитывающей частотные характеристики и температуры каждой шины, значения давления в каждой шине до и после загрузки.

Недостатками указанных методов определения величины загрузки колесных транспортных средств является сложность практического применения.

Кроме того, известен метод определения массы колесного транспортного средства с грузом при проведении выбега, осуществляемого в загруженном состоянии и без груза [3]. Необходимость проведения выбега является недостатком этого метода, что затрудняет его практическое применение.

Метод определения массы или величины загрузки автомобиля в процессе его движения без проведения выбега предложен в работах [1, 4]. Так, масса автомобиля определялась в процессе разгона автомобиля на 1-й передаче при нажатии на педаль газа на определенную величину, при этом развиваемое ускорение соотносилось с ускорением автомобиля при движении с той же скоростью в специальном тестовом заезде с известной массой. Масса автомобиля определялась по формуле

$$m_{a_2} = \frac{m_{a_1} \cdot (g \cdot f + \dot{V}_{a_1} \cdot \delta)}{g \cdot f + \dot{V}_{a_2} \cdot \delta}, \quad (1)$$

где m_{a_1} – известная масса автомобиля в тестовом заезде; \dot{V}_{a_1} – ускорение автомобиля известной массой m_{a_1} при движении в тестовом заезде с линейной скоростью V_a ; \dot{V}_{a_2} – ускорение автомобиля искомой массой m_{a_2} при движении с той же скоростью V_a ; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; f – коэффициент сопротивления качению колес автомобиля; δ – коэффициент учета вращающихся масс двигателя и трансмиссии автомобиля при разгоне, согласно [5]

$$\delta = 1,03 + 0,05 \cdot U_K^2, \quad (2)$$

где U_K – передаточное число коробки передач.

Недостатком рассматриваемого метода является ограниченная область применения – он может быть применен только на горизонтальных участках дороги.

Методам определения величины продольного уклона дорожного полотна непосредственно в процессе движения автомобиля посвящены работы [6-8]. В работе [8] апробирован метод определения продольного уклона дороги с использованием GPS/GLONASS приемника, средняя относительная погрешность которого составила до 9,48 %.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является повышение функциональной стабильности за счет усовершенствования метода определения массы автомобиля в процессе его движения.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить взаимосвязь массы автомобиля и его ускорения при наличии продольного уклона дороги;
- определить взаимосвязь массы перевозимого автомобилем груза и его ускорения при наличии продольного уклона дороги.

Результаты исследований. Независимо от величины угла продольного уклона дороги и степени загрузки автомобиля, мощность двигателя будет одинаковой при одной и той же величине подачи топлива и одинаковой скорости движения машины при тестовом заезде и на произвольном участке дороги в эксплуатации. При этом предполагается, что техническое состояние автомобиля и теплотворная способность топлива одинаковы в тестовом заезде и рассматриваемом случае.

Мощность двигателя, реализуемая при разгоне автомобиля, может быть определена по формуле [9]

$$N_e = \frac{m_a \cdot g \cdot V_a \cdot \psi + kF \cdot V_a^3 + m_a \cdot V_a \cdot \delta \cdot \frac{dV_a}{dt}}{\eta_{mp} \cdot (1 - S_x)}, \quad (3)$$

где m_a – масса автомобиля; V_a – линейная скорость движения автомобиля; ψ – коэффициент суммарного дорожного сопротивления; kF – фактор аэродинамического сопротивления (k – коэффициент сопротивления воздуха, F – мидель); S_x – относительное буксование ведущих колес; η_{mp} – коэффициент полезного действия трансмиссии; t – время.

Коэффициент суммарного дорожного сопротивления равен [6]

$$\psi = f + i = f + \sin \alpha, \quad (4)$$

где i – продольный уклон ($i = \sin \alpha$); α – угол продольного уклона дорожного полотна (на подъеме $\alpha > 0$, а на спуске $\alpha < 0$).

Пусть буксование колес при разгоне отсутствует ($S_x = 0$). Тогда эффективная мощность двигателя автомобиля массой m_{a1} при движении по дороге с углом продольного уклона α_1 , будет определяться по формуле

$$N_{e1} = \frac{m_{a1} \cdot g \cdot V_{a1} \cdot (f + \sin \alpha_1) + k \cdot F \cdot V_{a1}^3 + m_{a1} \cdot V_{a1} \cdot \delta \cdot \dot{V}_{a1}}{\eta_{mp}}, \quad (5)$$

а эффективная мощность двигателя того же автомобиля массой m_{a2} при движении на той же передаче по дороге с углом продольного уклона α_2 – по формуле

$$N_{e2} = \frac{m_{a2} \cdot g \cdot V_{a2} \cdot (f + \sin \alpha_2) + k \cdot F \cdot V_{a2}^3 + m_{a2} \cdot V_{a2} \cdot \delta \cdot \dot{V}_{a2}}{\eta_{mp}}, \quad (6)$$

где \dot{V}_{a1} , \dot{V}_{a2} – линейные продольные ускорения в плоскости дороги автомобиля соответственно массой m_{a1} и m_{a2} .

Прямые измерения линейных ускорений автомобиля осуществляются акселерометрами [10]. Акселерометр при разгоне по дороге с продольным уклоном будет регистрировать вдоль оси чувствительности x величину ускорения, равную [10]

$$a_x = \dot{V}_a + g \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

где \dot{V}_a – продольное в плоскости дороги линейное ускорение автомобиля (величина \dot{V}_a будет принимать положительные значения при разгоне и отрицательные значения при торможении).

Слагаемое $g \cdot \sin \alpha$ принимает положительные значения при движении автомобиля вверх по уклону ($\alpha > 0$) и отрицательные при движении вниз по уклону ($\alpha < 0$) [10].

Таким образом, линейные продольные ускорения в плоскости дороги автомобиля с учетом выражения (7) будут определяться по формулам

$$\dot{V}_{a1} = a_{x1} - g \cdot \sin \alpha_1; \quad (8)$$

$$\dot{V}_{a2} = a_{x2} - g \cdot \sin \alpha_2, \quad (9)$$

где a_{x1} , a_{x2} – кажущиеся линейные продольные ускорения автомобиля соответственно массой m_{a1} и m_{a2} в плоскости дороги, определяемые при использовании акселерометров.

С учетом выражений (8), (9) формулы (5) и (6) примут вид

$$N_{e1} = \frac{m_{a1} \cdot g \cdot V_{a1} \cdot (f + \sin \alpha_1) + k \cdot F \cdot V_{a1}^3 + m_{a1} \cdot V_{a1} \cdot \delta \cdot (a_{x1} - g \cdot \sin \alpha_1)}{\eta_{mp}}, \quad (10)$$

$$N_{e2} = \frac{m_{a2} \cdot g \cdot V_{a2} \cdot (f + \sin \alpha_2) + k \cdot F \cdot V_{a2}^3 + m_{a2} \cdot V_{a2} \cdot \delta \cdot (a_{x2} - g \cdot \sin \alpha_2)}{\eta_{mp}}. \quad (11)$$

При одинаковой величине подачи топлива при движении на маршруте и при движении в тестовом заезде с одинаковой скоростью будет выполняться равенство $N_{e1} = N_{e2}$. Тогда приравняв правые части уравнений (10) и (11) получим выражение, из которого определим массу m_{a2} автомобиля

$$m_{a2} = \frac{m_{a1} \cdot (g \cdot V_{a1} \cdot (f + \sin \alpha_1) + V_{a1} \cdot \delta \cdot (a_{x1} - g \cdot \sin \alpha_1))}{g \cdot V_{a2} \cdot (f + \sin \alpha_2) + V_{a2} \cdot \delta \cdot (a_{x2} - g \cdot \sin \alpha_2)}. \quad (12)$$

С учетом того, что $V_a = V_{a1} = V_{a2}$ формула (12) преобразуется следующим образом

$$m_{a2} = \frac{m_{a1} \cdot (g \cdot f + \delta \cdot a_{x1} + g \cdot \sin \alpha_1 \cdot (1 - \delta))}{g \cdot f + \delta \cdot a_{x2} + g \cdot \sin \alpha_2 \cdot (1 - \delta)}. \quad (13)$$

Если тестовый заезд выполняется на горизонтальном участке ($\alpha_1 = 0$), формула (13) примет вид

$$m_{a2} = \frac{m_{a1} \cdot (g \cdot f + \delta \cdot a_{x1})}{g \cdot f + \delta \cdot a_{x2} + g \cdot \sin \alpha_2 \cdot (1 - \delta)}. \quad (14)$$

Значение массы m_{a2} предлагается по аналогии с работой [1] вычислять многократно при различных значениях скорости движения V_{ai} при разгоне на определенной передаче. Математическое ожидание полученного распределения значений m_{a2i} и будет являться величиной массы автомобиля при текущей нагрузке. Такой подход позволяет снизить погрешность определения искомого параметра. Тогда масса автомобиля будет определяться по формуле [1, 4]

$$m_{a2} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{a2i}}{n}, \quad (15)$$

где n – количество расчетных точек [1],

$$n = \frac{V_{a \max} - V_{a \min}}{\Delta V_a}, \quad (16)$$

где $V_{a \max}$ – максимальная скорость автомобиля при разгоне на определенной передаче; $V_{a \min}$ – начальная скорость автомобиля при разгоне на той же передаче; ΔV_a – шаг между расчетными точками.

Масса груза, очевидно, будет определяться как разность найденной массы автомобиля и его массы в снаряженном состоянии

$$m_{gp} = m_{a2} - m_{ac}, \quad (17)$$

где m_{ac} – масса снаряженного автомобиля.

Выводы. Предлагаемый метод позволяет уточнить результаты измерения массы автомобиля и массы перевозимого груза в процессе движения по дорогам с продольным уклоном. Это позволяет повысить функциональную стабильность автомобиля и улучшить работу его интеллектуальных бортовых систем.

Литература

1. Абрамов Д.В. Визначення поточної маси автомобіля в процесі руху / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета: технические науки. – 2013. – Вып. 40. – С. 41-43.
2. Пат. 63953 Україна, МПК G01G 19/08 (2006.01). Спосіб визначення маси вантажу в колісному транспортному засобі з рухомою підвіскою / С.М. Бабій, О.Д. Фолюшняк; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № у 2011 03787; заявл. 29.03.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20, 2011р.
3. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало и др.]. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2011. – 219 с.
4. Пат. 92259 Україна, МПК G01G 19/03, B60W 40/12, B60W 40/13. Спосіб визначення повної маси автомобіля та маси вантажу в процесі руху / Подригало М.А., Абрамов Д.В., Тесля В.О.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № у 2014 01854; заявл. 25.02.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15.

5. Агейкин Я.С. Теория автомобиля. Учебное пособие / Я.С. Агейкин, Н.С. Вольская. – М.: МГИУ, 2008. – 318 с.
6. Пат. 2274831 Российская Федерация, МПК G01C7/04. Способ исследования рельефа поверхности посредством гироскопической инерциальной системы измерения пространственного положения / В.А. Иващенко; заявитель и патентообладатель В.А. Иващенко; заявл. 20.09.2004; опубл. 20.04.2006.
7. Patent EP №0274632, IPS G01C7/04 Method and apparatus for measurement of road profile / В. Elson; inventor and applicant Spangler, Elson В.; application 24.11.1987; publication 16.01.1991.
8. Шеин В.С. Определение продольного уклона дороги в процессе движения автомобиля / В.С. Шеин, А.И. Коробко, Д.В. Абрамов, М.А. Подригало // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2014. – Вып. 1. – С. 163-168.
9. Динамика автомобиля / [М.А. Подригало, В.П. Волков, А.А. Бобошко, В.А. и др.] под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.
10. Тесля В.О. Оценка погрешности показаний акселерометра при измерении ускорений автомобиля на дороге с продольным уклоном / В.О. Тесля, Д.В. Абрамов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе. Проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2015.– Том 2. – Вып. 2 – С. 515-521.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2016