

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24613**

(13) **С1**

(45) **2025.06.05**

(51) МПК

G 01M 17/00 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СУММАРНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО
СРЕДСТВА**

(21) Номер заявки: а 20220131

(22) 2022.05.20

(43) 2023.12.30

(71) Заявитель: Белорусский националь-
ный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Гурский Александр Стани-
славович; Буйкус Кястас Вито (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский
национальный технический универси-
тет (ВУ)

(56) RU 2011955 С1, 1994.

ВУ 9806 С1, 2007.

RU 2561647 С1, 2015.

RU 2090855 С1, 1997.

RU 1138301 С1, 1996.

RU 2028595 С1, 1995.

JP 2798906 В2, 1998.

CN 103115651 В, 2015.

(57)

Способ определения коэффициента суммарного сопротивления движению колесного транспортного средства, снабженного системой мониторинга параметров транспортного средства и его положения в пространстве, при котором перемещают испытуемое колесное транспортное средство по опорной поверхности, при этом измеряют расход топлива двигателя и скорость движения, определенные профилем и несущей способностью опорной поверхности, причем посредством упомянутой системы мониторинга, выполненной с возможностью точного определения времени, положения транспортного средства в пространстве и дистанционного считывания его параметров, определяют массу перевозимого груза, проскальзывание колес, ускорения транспортного средства и его вращающихся масс, уклон дорожного покрытия, по которым рассчитывают коэффициент суммарного сопротивления движению Ψ_{Σ} из выражения:

$$\Psi_{\Sigma} = \Psi_Q \Psi_m \Psi_v \Psi_j \Psi_i,$$

где Ψ_Q - коэффициент сопротивления движению, зависящий от расхода топлива и передаточного числа на различных скоростных режимах, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_Q = c \left(1 + \left(i_{\max} - 0,377 \frac{r_k}{i_0} \frac{n_e}{V_A} \right) \frac{Q}{V_{GPS} i_{\max}} \right),$$

где c - постоянный коэффициент, характерный для каждого типа транспортного средства и отражающий его конструктивные решения, определяемый экспериментальным путем при движении транспортного средства по ровной горизонтальной поверхности в незагруженном состоянии, где нагрузка на ось m_g , т, равна нулю, установившемся движении при постоянной скорости V_A движения транспортного средства по данным спидометра или тахографа, равной 80 км/ч, при отсутствии проскальзывания колес, причем $V_A = V_{GPS}$, где V_{GPS} - скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера, км/ч;

i_{\max} - наибольшее передаточное число коробки передач;

ВУ 24613 С1 2025.06.05

r_k - радиус колеса, м;

n_e - частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹;

i_0 - передаточное число главной передачи;

Q - расход топлива двигателя, л/100 км,

Ψ_m - коэффициент сопротивления движению, зависящий от массы перевозимого груза транспортным средством, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_m = 1 + k_m \frac{m_G}{m_F},$$

где k_m - коэффициент корректирования, зависящий от распределения веса между осями транспортного средства;

m_F - полная масса транспортного средства, т,

Ψ_V - коэффициент сопротивления движению, зависящий от проскальзывания колес транспортного средства, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_V = 1 + \frac{V_A - a(b + V_{GPS})}{V_A},$$

где a - корректирующий коэффициент, зависящий от размера колес и степени накачки шин;

b - основная погрешность спидометра,

Ψ_J - коэффициент сопротивления движению, зависящий от ускорений транспортного средства и его вращающихся масс, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_J = \left(\frac{V_{GPS} - V_{GPS0}}{|V_{GPS}| - V_{GPS0}} + \frac{3,6(V_{GPS} - V_{GPS0})}{t} \right) \left(0,377 \frac{r_k}{i_0} \frac{n_e}{V_A} \right)^2 k_y,$$

где V_{GPS0} - скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера перед ускорением, км/ч;

t - продолжительность ускорения, с;

k_y - корректирующий коэффициент полноты загрузки транспортного средства,

Ψ_i - коэффициент сопротивления движению, зависящий от уклона дорожного покрытия, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_i = 1 + k_i \frac{h_n - h_{n-1}}{S_n},$$

где k_i - коэффициент корректирования, зависящий от настройки датчика тангажа;

h_n - высота над уровнем моря текущей точки считывания параметров, м;

h_{n-1} - высота над уровнем моря предыдущей точки считывания параметров, м;

S_n - пробег транспортного средства между упомянутыми текущей и предыдущей точками, м.

Изобретение относится к эксплуатации транспортных средств и касается определения коэффициента суммарного сопротивления движению колесного транспортного средства.

Известен способ [1] определения коэффициента сопротивления качению (метод выбега), заключающийся в разгоне до заданной скорости V транспортного средства, выключении передачи в коробке передач и свободном выбеге по инерции до полной остановки, измеряют путь выбега S и рассчитывают коэффициент сопротивления качению f по формуле:

$$f = \frac{\delta V^2}{2gS}, \tag{1}$$

где δ - коэффициент учета вращающихся масс;

V - начальная скорость выбега, м/с;

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

S - путь выбега, м.

Недостатком способа является то, что транспортное средство работает в режиме, не соответствующем реальному процессу его испытаний, и не учитываются затраты мощности на преодоление всех сил сопротивления движению, в частности подъему, инерции, колебаниям подрессоренной массы, воздуха и прицепа, а также сил трения в трансмиссии.

Известен также способ [2] определения коэффициента сопротивления качению (метод буксировки), заключающийся в буксировке транспортного средства по дороге с отключенной силовой передачей равномерно с небольшой скоростью тягачом через динамометр, определяют коэффициент сопротивления качению по формуле, при условии что $P_f = P_b$:

$$f = \frac{P_b}{G}, \quad (2)$$

где P_b - показания динамометра, Н;

G - масса транспортного средства, Н.

Недостатки способа - высокая стоимость реализации, обусловленная необходимостью применения тягача и контрольно-измерительной аппаратуры, а также невозможность учета потерь мощности на преодоление сил сопротивления движению, указанная в первом способе.

В качестве прототипа выбран способ [3] определения коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства, заключающийся в перемещении испытуемого транспортного средства по опорной поверхности в установившемся режиме с измерением расхода топлива двигателя и средней скорости движения в неустановившемся режиме движения, определенном профилем и несущей способностью опорной поверхности, и последующем расчете по формуле:

$$\Psi_{\Sigma_j} = n \frac{\bar{Q}_j}{\bar{V}_j}, \quad (3)$$

где \bar{Q}_j - средний расход топлива на j -й опорной поверхности, л/100 км;

\bar{V}_j - средняя скорость движения на j -й опорной поверхности, км/ч;

n - коэффициент пропорциональности, характерный для каждого типа транспортного средства и отражающий его конструктивные решения.

Недостаток этого способа - расчет коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства ведут для конкретной j -й опорной поверхности, определенной профилем и несущей способностью (видом дороги). Однако эксплуатация транспортного средства редко происходит по одному виду дороги на протяжении одной поездки. К тому же в формуле (3) используются средние значения расхода топлива и средней скорости движения за весь путь, что снижает точность вычисления коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства. Также в способе не указано, как определяют точки отсчета интервалов считывания средней скорости и среднего расхода и с какого момента определяют режим установившегося движения.

Задача, которую решает предлагаемое изобретение, состоит в возможности расчета коэффициента суммарного сопротивления движению для пути с переменным профилем (учет уклона) и несущей способностью (учет проскальзывания ведущих колес) с определением интервалов движения в установившемся режиме, а также учетом интервалов движения в режиме неустановившегося движения (учет ускорения).

Поставленная техническая задача решается следующим образом.

В предлагаемом способе определения коэффициента суммарного сопротивления движению колесного транспортного средства, снабженного системой мониторинга параметров транспортного средства и его положения в пространстве, перемещают испытуемое

колесное транспортное средство по опорной поверхности, при этом измеряют расход топлива двигателя и скорость движения, определенные профилем и несущей способностью опорной поверхности, причем посредством упомянутой системы мониторинга, выполненной с возможностью точного определения времени, положения транспортного средства в пространстве и дистанционного считывания его параметров, определяют массу перевозимого груза, проскальзывание колес, ускорение транспортного средства и его вращающихся масс, уклон дорожного покрытия, по которым рассчитывают коэффициент суммарного сопротивления движению Ψ_{Σ} из выражения:

$$\Psi_{\Sigma} = \Psi_Q \Psi_m \Psi_V \Psi_J \Psi_i, \quad (4)$$

где Ψ_Q - коэффициент сопротивления движению, зависящий от расхода топлива и передаточного числа на различных скоростных режимах, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_Q = c \left(1 + \left(i_{\max} - 0,377 \frac{r_k n_e}{i_0 V_A} \right) \frac{Q}{V_{GPS} i_{\max}} \right), \quad (5)$$

где c - постоянный коэффициент, характерный для каждого типа транспортного средства и отражающий его конструктивные решения, определяемый экспериментальным путем при движении транспортного средства по ровной горизонтальной поверхности в незагруженном состоянии, где нагрузка на ось m_G , т, равна нулю, установившемся движении при состоянии скорости V_A движения транспортного средства по данным спидометра или тахографа, равной 80 км/ч, при отсутствии проскальзывания колес, причем $V_A = V_{GPS}$, где V_{GPS} - скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера, км/ч,

i_{\max} - наибольшее передаточное число коробки передач,

r_k - радиус колес, м,

n_e - частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹,

i_0 - передаточное число главной передачи,

Q - расход топлива двигателя, л/100 км;

Ψ_m - коэффициент сопротивления движению, зависящий от массы перевозимого груза транспортным средством, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_m = 1 + k_m \frac{m_G}{m_F}, \quad (6)$$

где k_m - коэффициент корректирования, зависящий от распределения веса между осями транспортного средства,

m_F - полная масса транспортного средства, т;

Ψ_V - коэффициент сопротивления движению, зависящий от проскальзывания колес транспортного средства, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_V = 1 + \frac{V_A - a(b + V_{GPS})}{V_A}, \quad (7)$$

где a - корректирующий коэффициент, зависящий от размера колес и степени накачки шин,

b - основная погрешность спидометра;

Ψ_J - коэффициент сопротивления движению, зависящий от ускорений транспортного средства и его вращающихся масс, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_J = \left(\frac{V_{GPS} - V_{GPS0}}{|V_{GPS} - V_{GPS0}|} + \frac{3,6(V_{GPS} - V_{GPS0})}{t} \right) \left(0,377 \frac{r_k n_e}{i_0 V_A} \right)^2 k_y, \quad (8)$$

где V_{GPS0} - скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера перед ускорением, км/ч,

t - продолжительность ускорения, с,

k_y - корректирующий коэффициент полноты загрузки транспортного средства;

ВУ 24613 С1 2025.06.05

Ψ_i - коэффициент сопротивления движению, зависящий от уклона дорожного покрытия, рассчитывают из выражения:

$$\Psi_i = 1 + k_i \frac{h_n - h_{n-1}}{S_n}, \quad (9)$$

где k_i - коэффициент корректирования, зависящий от настройки датчика тангажа,
 h_n - высота над уровнем моря текущей точки считывания параметров, м,
 h_{n-1} - высота над уровнем моря предыдущей точки считывания параметров, м,
 S_n - пробег транспортного средства между упомянутыми текущей и предыдущей точками, м.

Использование предлагаемого способа определения коэффициента суммарного сопротивления движению обеспечивает по сравнению с прототипом следующие преимущества: повышение точности определения количественного значения коэффициента за счет учета всех сил сопротивления движению; снижение трудозатрат, так как коэффициент определяется с использованием эксплуатируемого транспортного средства с установленной на нем системой мониторинга транспорта и предусматривает калибровку в ходе испытаний транспортных средств в идеальных условиях.

Заявляемый способ может быть использован для нормирования и корректировки периодичности технического обслуживания и пробега до капитального ремонта транспортных средств.

Пример.

Испытания проводили на автомобиле MAN TGA24.430 с колесной формулой 6×2 2005 года выпуска при его движении по участку автодороги общего пользования. Данный автомобиль укомплектован системой мониторинга транспорта Wialon, позволяющей точно определять временные данные, положение в пространстве, а также дистанционно считывать параметры с автомобиля, причем данные о скорости автомобиля одновременно считываются с блока управления автомобилем и с GPS-трекера.

Шины 315/60 R22,5 (радиус колеса $r_k = 0,475$ м).

Передаточное число главной передачи $i_0 = 2,91$.

Наибольшее передаточное число коробки передач $i_{\max} = 4$ (при использовании делителя $i_{\max} = 8$).

Полная масса транспортного средства $m_F = 43,7$ т.

Условия движения:

скорость движения транспортного средства по данным спидометра или тахографа $V_A = 80$ км/ч;

скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера $V_{GPS} = 78$ км/ч;

частота вращения коленчатого вала $n_e = 1300$ мин⁻¹;

расход топлива $Q = 30$ л/100 км;

нагрузка на ось (по данным датчика нагрузки на ось) $m_G = 20$ т;

скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера перед ускорением $V_{GPS0} = 76$ км/ч;

скорость движения транспортного средства по данным GPS-трекера в конце ускорения $V_{GPS} = 80$ км/ч;

продолжительность ускорения $t = 42$ с;

высота над уровнем моря текущей точки $h_n = 220$ м;

высота над уровнем моря предыдущей точки $h_{n-1} = 200$ м;

пробег транспортного средства между текущей и предыдущей точками $S_n = 1000$ м.

1. Вариант расчета коэффициента сопротивления движению Ψ_Q , зависящего от расхода топлива и передаточного числа на различных скоростных режимах:

$$\Psi_Q = c \left(1 + \left(i_{\max} - 0,377 \frac{r_k n_e}{i_0 V_A} \right) \frac{Q}{V_{GPS} i_{\max}} \right), \quad (5)$$

BY 24613 C1 2025.06.05

где c - постоянный коэффициент, характерный для каждого типа транспортного средства и отражающий его конструктивные решения, определяемый экспериментальным путем при движении транспортного средства по ровной горизонтальной поверхности в незагруженном состоянии ($m_G = 0_T$), установившемся движении при постоянной скорости $V_A = 80$ км/ч, при отсутствии проскальзывания колес ($V_A = V_{GPS}$), $c = 0,025$ (для 4-ступенчатой коробки передач без делителя) и $c = 0,02$ (для 4-ступенчатой коробки передач с делителем (всего 8 передач));

$$\Psi_Q = 0,025 \left(1 + \left(4 - 0,377 \frac{0,475 \cdot 1300}{2,91 \cdot 80} \right) \frac{30}{78 \cdot 4} \right) = 0,032$$

Для 4-ступенчатой коробки передач с делителем (всего 8 передач):

$$\Psi_Q = 0,02 \left(1 + \left(8 - 0,377 \frac{0,475 \cdot 1300}{2,91 \cdot 80} \right) \frac{30}{78 \cdot 8} \right) = 0,027.$$

2. Вариант расчета коэффициента сопротивления движению Ψ_m , зависящего от массы перевозимого груза транспортным средством:

$$\Psi_m = 1 + k_m \frac{m_G}{m_F}, \quad (6)$$

где k_m - коэффициент корректирования, зависящий от распределения веса между осями транспортного средства (настройки датчика нагрузки на ось) (в данном примере $k_m = 0,1$);

$$\Psi_m = 1 + 0,1 \frac{20}{43,7} = 1,046.$$

3. Вариант расчета коэффициента сопротивления движению Ψ_V , зависящего от проскальзывания колес транспортного средства:

$$\Psi_V = 1 + \frac{V_A - a(b + V_{GPS})}{V_A}, \quad (7)$$

где a - корректирующий коэффициент, зависящий от размера колес и степени накачки шин (при правильной эксплуатации $a = 1$);

b - основная погрешность спидометра, определяется в соответствии с табл. 1 "Основная погрешность спидометра" ГОСТ 12936, $b = 0$;

$$\Psi_V = 1 + \frac{80 - 1 \cdot (0 + 78)}{80} = 1,025.$$

4. Вариант расчета коэффициента сопротивления движению Ψ_J , зависящего от ускорений транспортного средства и его вращающихся масс:

$$\Psi_J = \left(\frac{V_{GPS} - V_{GPS0}}{|V_{GPS} - V_{GPS0}|} + \frac{3,6(V_{GPS} - V_{GPS0})}{t} \right) \left(0,377 \frac{r_k \cdot n_e}{i_0 \cdot V_A} \right)^2 k_y, \quad (8)$$

где k_y - корректирующий коэффициент полноты загрузки транспортного средства, $k_y = 0,8$;

$$\Psi_J = \left(\frac{80 - 76}{|80 - 76|} + \frac{3,6(80 - 76)}{42} \right) \left(0,377 \frac{0,475 \cdot 1300}{2,91 \cdot 80} \right)^2 \cdot 0,8 = 1,074.$$

5. Вариант расчета коэффициента сопротивления движению Ψ_i , зависящего от уклона дорожного покрытия:

$$\Psi_i = 1 + k_i \frac{h_n - h_{n-1}}{S_n}, \quad (9)$$

где k_i - коэффициент корректирования, зависящий от настройки датчика тангажа (в данном примере $k_i = 1$);

BY 24613 C1 2025.06.05

$$\Psi_i = 1 + 1 \frac{220 - 200}{1000} = 1,02.$$

6. Текущее значение коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства Ψ_{Σ} по предлагаемому способу определяют по формуле (4):

$$\Psi_{\Sigma} = 0,032 \cdot 1,046 \cdot 1,025 \cdot 1,074 \cdot 1,02 = 0,038.$$

Источники информации:

1. САЗОНОВ И.С. и др. Автомобили: учебно-методическое издание. Часть 2. Могилев: БРУ, 2019, 46 с. Найдено на [<http://e.biblio.bru.by/handle/1212121212/9583>].

2. ХИМЧЕНКО А.В. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине "Теория наземных транспортно-технологических средств". Горловка: ГОУВПО "ДонНТУ" АДИ, 2016, 39 с. Найдено на [<http://ea.donntu.org:8080/handle/123456789/34774>].

3. RU 2011955, 1994.