

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ: МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ

**О.В. Рябова, Т.В. Скворцова, Е.В. Кондрашова,
А.В. Скрыпников, Ю.В. Лобанов**

*ГОУ ВПО «Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет»;
ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая
академия», г. Воронеж*

Рецензент В.В. Леденев

Ключевые слова и фразы: движение на подъем; движение накатом; концентрация вредных веществ; миделевое сечение; отработавшие газы; расход топлива; сопротивление воздуха; тяговое усилие; эмиссия окислов азота; эмиссия окислов углерода.

Аннотация: Обобщены результаты современных исследований эксплуатационных свойств автомобилей. Представлены расчеты расхода топлива, эмиссии токсичных веществ, выбросов вредных газообразных веществ в атмосферу при эксплуатации автотранспорта, способствующие снижению энергоемкости перевозок и улучшению экологических характеристик проектируемых дорог.

С целью моделирования движения автомобилей и расчета показателей их движения в постоянно меняющихся дорожных условиях в настоящей статье обобщены результаты современных исследований эксплуатационных свойств автомобилей.

Режимы движения, выбираемые водителем, описываются следующими дифференциальными уравнениями [1]. При движении на подъем

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_k} \left[D(v) - i - f - \frac{1}{G_a} \left(kFv^2 \pm k'F'(v \pm v_c \cos \alpha)^2 \pm \eta F''(v \pm v_c \cos \alpha)^2 \right) \right], \quad (1)$$

Рябова О.В. – доктор технических наук, профессор кафедры строительства автомобильных дорог ВГАСУ; Скворцова Т.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА; Кондрашова Е.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА; Скрыпников А.В. – доктор технических наук, профессор кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА; Лобанов Ю.В. – аспирант кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, г. Воронеж.

где $D(v)$ – динамический фактор, зависящий от скорости; v – скорость движения автомобиля относительно дороги, м/с; t – время, с; g – ускорение свободного падения, м/с²; δ_k – коэффициент учета вращающихся масс при k -й передаче; i – продольный уклон; f – коэффициент сопротивления качению; G_a – сила веса автомобиля, кгс; k – коэффициент обтекаемости при лобовом сопротивлении; k' – коэффициент обтекаемости с учетом сопротивления среды, действующего под углом к направлению движения; η – коэффициент обтекания колес в площади миделевого сечения; F – площадь лобового сопротивления автомобиля, м²; F' – площадь миделевого сечения автомобиля в плоскости, перпендикулярной к направлению движения среды, м² (рис. 1, a – угол между векторами активного воздействия среды и поступательного движения автомобиля $\alpha < \alpha_{\text{крит}}$, b – $\alpha > \alpha_{\text{крит}}$); F'' – площадь колес в миделевом сечении, м².

Сопротивление воздуха движению автомобиля обычно рассматривается при неподвижной воздушной среде; в этом случае относительная скорость автомобиля равна его поступательной скорости.

Из рис. 1, a – $w_1 = w \cos \alpha$, $w_2 = L_1 \sin \alpha$, $w_3 = L_2 \sin \alpha$, $w_4 = L_3 \sin \alpha$, где w – ширина автопоезда, м; L_1, L_3 – длина транспортных средств, составляющих автопоезд, м; L_2 – длина сцепного устройства, м. Тогда ширина миделевого сечения будет равна:

$$M_c = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = w \cos \alpha + (L_1 + L_2 + L_3) \sin \alpha .$$

Аналогично, для рис. 1, b –

$$M_c = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 2w \cos \alpha + (L_1 + L_3) \sin \alpha .$$

Таким образом, обобщая все вышесказанное, имеем систему уравнений для расчета площади миделевого сечения с учетом активного сопро-

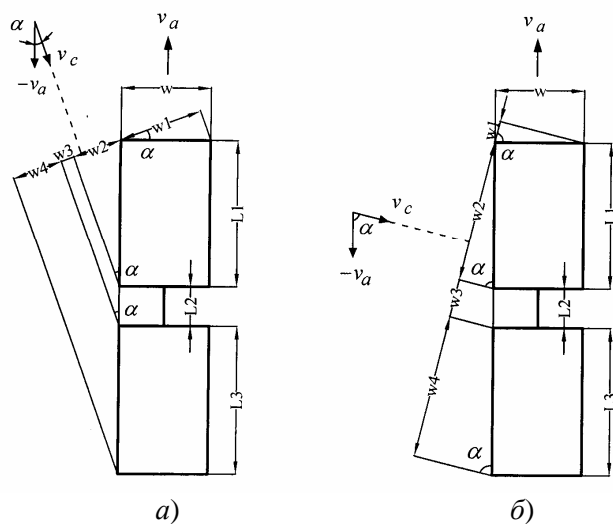


Рис. 1. Схема к выводу показателя F'

тивления среды, действующего под углом к направлению движения автомобиля:

$$F' = \begin{cases} H[w \cos \alpha + (L_1 + L_2 + L_3) \sin \alpha], & \text{при } \alpha < \alpha_{\text{крит}}; \\ H[w \cos \alpha + (L_1 + L_2 + L_3) \sin \alpha], & \text{при } \alpha < \alpha_{\text{крит}}; \\ \operatorname{tg} \alpha_{\text{крит}} = \frac{w}{L_2}. \end{cases}$$

При движении накатом (после разгона и отключения двигателя от ведущих колес)

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_{\text{н}}} \left[i - f - \frac{1}{G_{\text{а}}} (kFv^2 \pm k'F'(v \pm v_c \cos \alpha)^2 \pm \eta F''(v \pm v_c \cos \alpha)^2) - \frac{2 + 0,09v}{1000} \right], \quad (2)$$

где $\delta_{\text{н}}$ – коэффициент учета вращающихся масс при отсоединенном двигателе.

В формуле (2) четвертое слагаемое учитывает сопротивление трения трансмиссии, приведенное к ведущим колесам [1].

При движении на спусках в уравнение движения вводится тормозная сила двигателя или тормозная сила колесных тормозов, или их сочетание. При торможении двигателем уравнение имеет вид

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_k} \left[-i - f - \frac{1}{G_{\text{а}}} (kFv^2 \pm k'F'(v \pm v_c \cos \alpha)^2 \pm \eta F''(v \pm v_c \cos \alpha)^2) - \frac{2 + 0,09v}{1000} - \frac{i_k i_0 V_A}{G_{\text{а}} r_k \eta_{\text{т}}} - \left(\frac{a_1 i_k}{0,105 r_k} - v - b_1 \right) \right], \quad (3)$$

где V_A – рабочий объем двигателя, л; a_1, b_1 – коэффициенты ($a_1 = 0,008, b_1 = 0,15$ – для карбюраторных двигателей; $a_1 = 0,001, b_1 = 0,2$ – для дизелей); i_k, i_0 – передаточные числа k -й и главной передач; r_k – радиус качения колеса, м; $\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии.

В формуле (3) последнее слагаемое учитывает тормозную силу двигателя по эмпирической зависимости [2].

При совместном торможении (торможение двигателем и колесными тормозами) уравнение движения имеет вид

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_k} \left[-i - f - \frac{1}{G_{\text{а}}} (kFv^2 \pm k'F'(v \pm v_c \cos \alpha)^2 \pm \eta F''(v \pm v_c \cos \alpha)^2) - \frac{2 + 0,09v}{1000} - \frac{i_k i_0 V_A}{G_{\text{а}} r_k \eta_{\text{т}}} - \left(\frac{a_1 i_k}{0,105 r_k} - v - b_1 \right) - \gamma_{\text{т}} \right], \quad (4)$$

где $\gamma_{\text{т}}$ – коэффициент использования тормозов.

Сопоставление уравнений (1) – (4) движения автомобилей при различных режимах показывает, что их общий вид одинаков

$$\frac{dv}{dt} = a + bv + cv^2. \quad (5)$$

Практическое использование уравнений движения автомобиля в дорожном проектировании сдерживается следующими обстоятельствами. Во-первых, недостаточно изучен выбор водителем режима движения в различной дорожной обстановке. Во-вторых, практически отсутствует связь между большой (20-летней) перспективой дорожного проектирования и перспективами развития автомобильного парка, то есть проектировщик ориентируется на режимы движения современных серийных автомобилей, а не на перспективные модели. В-третьих, недостаточно разработаны алгоритмы моделирования и детальных расчетов на ЭВМ показателей движения при различных режимах, необходимых для детального анализа при вариантном проектировании дорог. В-четвертых, в уравнениях (1) – (4) практически не учитываются эксплуатационные качества покрытия.

Дорожные сопротивления, входящие в уравнения (1) – (4) представлены величиной уклона i и коэффициентом сопротивления качению f . При проектировании и, особенно при реконструкции дорог, необходимо учитывать, что коэффициент f в составе дорожных сопротивлений может иногда существенно превышать сопротивление подъема i . На величину f большое влияние оказывает боковой увод при действии на автомобиль поперечной силы. Особенно велико это воздействие на кривых малых радиусах.

Снижение ровности покрытия в процессе эксплуатации ведет к существенному увеличению сопротивления качению. Это требует введения в уравнения (1) – (4) зависимости, учитывающей влияние эксплуатационного состояния покрытия на величину сопротивления движению.

Снижению энергоемкости перевозок и улучшению экологических характеристик проектируемых дорог способствует методика расчета в проектах дорог расхода топлива и эмиссии токсичных веществ.

На участке длиной S и при скорости автомобиля v , м/с, расход топлива при используемой мощности N двигателя

$$G = \frac{gNS}{3600\rho v(D, i, f, kF, k'F', \eta F'')}. \quad (6)$$

Расход топлива при движении автомобиля с двигателем, работающим на холостом ходу

$$G = kV_h n_x t p, \quad (7)$$

где t – время остановки, с; $k = 2,8 \cdot 10^{-9}$ – для карбюраторных двигателей; $k = 1,5 \cdot 10^{-9}$ – для дизелей.

На участках торможения и движения накатом водитель ограничивает подачу топлива и поэтому расход топлива можно найти по формуле

$$G = \frac{G_{\text{тц}} V_h n_x S}{12 \cdot 10^7 \rho v (i, f, kF, k'F', \eta F'', \gamma_T)}, \quad (8)$$

где $G_{\text{тц}}$ – расход топлива на 1 цикл для двигателя объемом 1 л (15... 25 мг/цикл·л); V_h – рабочий объем двигателя, л; n_x – частота вращения вала двигателя, мин⁻¹, принимаемая равной частоте холостого хода; ρ – удельный вес топлива, кг/л; S – путь движения, м.

Расход топлива автомобилями разных типов и характеристики режима движения автомобиля служат исходной информацией для расчета показателей токсичности отработавших газов автомобильных двигателей. При сравнении вариантов автомобильных дорог количество токсичных веществ может стать одной из характеристик, определяющих оптимальное решение.

Точно определить количество вредных выбросов двигателями практически невозможно. Величина выбросов вредных веществ зависит от многих факторов: конструктивных параметров элементов двигателя, величины коэффициента избытка воздуха, угла опережения зажигания, режима работы двигателя, частоты вращения вала двигателя, степени сжатия и формы камеры сгорания, особенностей процесса подготовки и сгорания смеси, технического состояния и др.

При использовании водителем режима тягового усилия:

– для карбюраторных двигателей эмиссия окиси углерода составляет

$$G_{\text{CO}} = \begin{cases} 4170 \cdot G(1 - \alpha), & \text{при } \alpha \leq 0,95; \\ 229 \cdot \exp[-18,3(\alpha - 0,95)]G, & \text{при } \alpha > 0,95; \end{cases} \quad (9)$$

эмиссия окислов азота

$$G_{\text{NO}} = P_{\text{NO}}G, \quad G_{\text{CH}} = P_{\text{CH}}G, \quad (10)$$

где G – расход топлива, л; $P_{\text{NO}}, P_{\text{CH}}$ – относительная концентрация соответственно окислов азота и углеводородов в 1 л отработавших газов;

– для дизелей

$$G_{\text{CO,NO,сажа}} = P_{\text{CO,NO,сажа}}V_T, \quad (11)$$

где $P_{\text{CO,NO,сажа}}$ – относительные концентрации соответствующих токсичных веществ; V_T – объем отработавших газов.

При работе двигателя на холостом ходу количество токсичных веществ:

– для карбюраторных двигателей

$$G_{\text{CO}} = 0,63G, \quad G_{\text{CH}} = 0,084G, \quad G_{\text{NO}} = 0,055G; \quad (12)$$

– для дизелей

$$G_{\text{CO}} = 0,0005G, \quad G_{\text{CH}} = 0,0018G, \quad G_{\text{NO}} = 0,0012G. \quad (13)$$

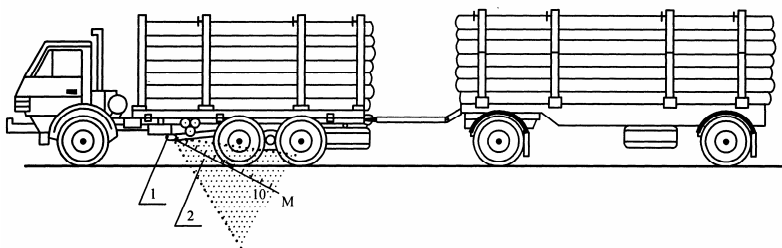


Рис. 2. Схема замеров при работе лесовозного автопоезда КамАЗ 53228-02:
 1 – выхлопная труба; 2 – конус струи выхлопных газов двигателя

В основу экспериментов по определению концентрации вредных веществ положены наблюдения за источниками выбросов.

Рассмотрим объект исследования. Входные параметры (погодно-климатические условия, состав автотранспортного потока, тип двигателя автомобиля и др.) заданы. Другие параметры (скорость и направление ветра, концентрация вредных веществ от каждого источника) определялись в результате замеров.

В ходе натурального эксперимента определялись концентрации вредных веществ в конусе отработавших газов за двигателем на безопасном для наблюдателя расстоянии (начиная с 10 м от двигателя на фиксированной высоте, равной уровню дыхания человека) (рис. 2).

Инструментальные замеры концентраций загрязняющих веществ проводились с помощью многоканального газоизмерительного прибора «Multiwag-П», фирма «Dräger» (Германия). Замерялись концентрации пяти ингредиентов: CO_2 , CO , CH_4 , H_2S и O_2 .

Вредные вещества, выделяемые автотранспортными средствами, создают поле с концентрацией, превышающей значения ПДК, достигающее 5...7 м, таким образом, создается почти сплошная зона покрытия продуктами сгорания автомобильного топлива.

В проводимых опытах варьировались расстояния от автомобиля до наблюдателя (точки замера пробы). При эксперименте параметры варьировались: продольное расстояние от среза выхлопной трубы до наблюдателя. При каждом замере фиксировались скорость и направление ветра. Экспериментально вне плана исследовался процесс рассеивания в центральной части технической позиции и на месте предполагаемого размещения, то есть определялось увеличение фона загрязнения в течение фиксированного времени независимо от количества автомобилей.

Рассчитанные с учетом принципа единого подхода к моделированию движения автомобилей такие показатели, как скорость движения, расход топлива, токсичность и т.п., существенно повышают степень оптимизации проектных решений при вариантном проектировании дорог и организации движения на них.

Снижению энергоемкости перевозок и улучшению экологических характеристик проектируемых дорог способствует методика расчета в проектах дорог расхода топлива и эмиссии токсичных веществ и методика расчета выбросов вредных газообразных веществ в атмосферу при эксплуатации автотранспорта, разработанные на основе обобщения современных исследований эксплуатационных свойств автомобилей.

Список литературы

1. Илларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобилей / В.А. Илларионов. – М. : Машиностроение, 1966. – 280 с.
2. Литвинов, А.С. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств / А.С. Литвинов. – М. : МАДИ, 1978. – Ч. 1. – 122 с.

**Increase in Road Ecological Qualities:
Models, Algorithms**

**O.V. Ryabova, E.V. Kondrashova, T.V. Skvorcova,
A.V. Skrypnikov, Yu.V.Lobanov**

*Voronezh State University of Architecture and Construction;
Voronezh State Forestry Engineering Academy, Voronezh*

Key words and phrases: upgrading; free running; harmful substances concentration; midsection; exhaust fumes; fuel consumption; air resistance; pull; nitrogen oxides emission; carbon oxides emission.

Abstract: The article generalizes the results of up-to-date studies of cars operating capabilities. The article provides the calculation of fuel consumption, toxic substances emission, harmful gaseous substances emissions into the atmosphere. These calculations help to cut down power consumption and to improve ecological characteristics of projected roads.

© О.В. Рябова, Т.В. Скворцова, Е.В. Кондрашова,
А.В. Скрыпников, Ю.В. Лобанов, 2008