

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**Конструкция и эксплуатационные свойства  
транспортно-технологических машин**

**Учебное пособие**

Ставрополь  
2020

УДК 631.12  
ББК 40.72

***Составители:***

*Л.И. Высочкина, М.В. Данилов, Р. М. Якубов*

***Рецензент***

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Машины и технологии АПК»  
*И. И. Швецов*

**Конструкция** и эксплуатационные свойства транспортно-технологических машин /сост. Л.И. Высочкина, Р. М. Якубов. - Ставрополь, 2020. – 66 с.

В учебном пособии кратко представлен теоретический материал по всем разделам дисциплины. Рассмотрены основы теории автомобиля и примеры решения задач по тяговой и тормозной динамике, устойчивости и расходу топлива при движении и работе автомобиля, а так же справочные данные для выполнения расчетов.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.03 - «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета (протокол № 3 от 09.11.2020)*

© Л.И. Высочкина, М.В. Данилов, Р.М. Якубов, 2020.

© Издательство «АГРУС» ФГБОУ ВО СтГАУ, 2020.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. . . . .	4
ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ. . . . .	5
1.СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА АВТОМОБИЛЬ.	
ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ . . . . .	10
1.1. Основы теории автомобиля. . . . .	10
1.2. Примеры решения задач . . . . .	15
2.УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ . . . . .	28
2.1.Основы теории устойчивости автомобиля . . . . .	28
2.1.1.Поперечная устойчивость автомобиля . . . . .	28
2.1.2.Продольная устойчивость автомобиля . . . . .	32
2.2.Примеры решения задач . . . . .	34
3.ТОРМОЗНАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ . . . . .	36
3.1.Основы теории тормозной динамики автомобиля . . . . .	36
3.2.Примеры решения задач . . . . .	43
4.РАСЧЕТ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ РАБОТЕ	45
АВТОМОБИЛЯ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ НОРМАМ . . . . .	
4.1 Общие сведения . . . . .	45
4.2 Примеры решения задач . . . . .	50
5.ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ . . . . .	56
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	60
ПРИЛОЖЕНИЯ. . . . .	61

## ВВЕДЕНИЕ

Автомобильная промышленность — одна из ведущих отраслей машиностроения. Основная ее задача — совершенствование и развитие автомобильного транспорта. Конструкции автомобилей непрерывно совершенствуются. Тенденции развития конструкций автомобилей обусловлены как экономическими, так и социальными причинами. Экономические причины определяют тенденцию повышения топливной экономичности как легковых, так и грузовых автомобилей, что в настоящее время стало одним из ведущих направлений современного автостроения. Социальными причинами обусловлена тенденция повышения безопасности автомобилей.

Эксплуатационные свойства, обеспечивающие движение автомобиля, существенно зависят от конструкции и технического состояния автомобиля, его систем и механизмов. Чем совершеннее конструкция автомобиля и лучше его техническое состояние, тем выше эксплуатационные свойства автомобиля. Поэтому автомобиль, его системы и механизмы конструируют таким образом, чтобы он имел определенные эксплуатационные свойства, требуемые для заданных условий эксплуатации и обеспечивающие его эффективное использование.

На современном этапе, когда организована разработка и изготовление новых образцов техники, весьма важно уметь оценивать ее основные эксплуатационные характеристики: тягово-скоростных показателей, устойчивости, тормозной динамики и т.д.

Данный практикум в примерах и задачах позволит выполнять расчеты основных параметров и свойств автомобилей и будет полезен как для студентов, так и для инженерно-технических работников.

При подготовке данного учебного пособия были использованы материалы трудов [1-6].

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$G_0$  - собственный вес автомобиля, Н;  
 $G_{0n}$  - собственный вес прицепа, Н;  
 $G_a$  - полный вес автомобиля, Н;  
 $G_n$  - полный вес прицепа, Н;  
 $G_H$  - номинальная грузоподъемность автомобиля, Н;  
 $K_2$  - коэффициент использования грузоподъемности;  
 $G_{nac}$  - пассажиро вместимость, чел;  
 $K_{nac}$  - коэффициент использования пассажироместности;  
 $G_1$  - вес, приходящийся на переднюю ось автомобиля, Н;  
 $G_2$  - вес, приходящийся на заднюю ось автомобиля, Н;  
 $G_3$  - вес, приходящийся на переднюю ось прицепа, Н;  
 $G_4$  - вес, приходящийся на заднюю ось прицепа, Н;  
 $m_a$  - масса автомобиля, кг;  
 $m_1$  - масса приходящаяся на переднюю ось автомобиля, кг;  
 $m_2$  - масса приходящаяся на заднюю ось автомобиля, кг;  
 $m_3$  - масса, приходящаяся на переднюю ось прицепа, кг;  
 $m_4$  - масса, приходящаяся на заднюю ось прицепа, кг;  
 $L$  - продольная база автомобиля, м;  
 $B_a$  - ширина колеи автомобиля, м;  
 $B_{вн}$  - ширина колеи автомобиля без учета ширины шин, м;  
 $H$  - высота автомобиля, м;  
 $l_1$  - длина переднего свеса, м;  
 $l_2$  - длина заднего свеса автомобиля, м;  
 $h_0$  — высота центра масс (тяжести) автомобиля, м;  
 $h_{кр}$  - высота тягово-сцепного устройства прицепа, м;  
 $h_w$  - высота центра парусности, м;  
 $h_n$  - расстояние от нижней точки автомобиля до опорной поверхности, м;  
 $a$  - расстояние от центра масс (тяжести) автомобиля до передней оси, м;  
 $b$  - расстояние от центра масс (тяжести) автомобиля до задней оси, м;  
 $c$  - расстояние от центра тяжести до центра нижней точки автомобиля по горизонтали, м;  
 $R_n$  - продольный радиус проходимости автомобиля, м;  
 $R_{non}$  - поперечный радиус проходимости автомобиля, м;  
 $n_e$  - частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;  
 $n$  - частота вращения ведущих колес автомобиля, об/мин;  
 $n_{ч}$  - число пассажирских мест (включая водителя) автомобиля, чел,  
 $\omega_e$  - угловая скорость коленчатого вала двигателя, с<sup>-1</sup>;  
 $\omega_k$  - угловая скорость ведущих колес автомобиля, с<sup>-1</sup>;  
 $\omega_k$  - угловое ускорение коленчатого вала двигателя, с<sup>-2</sup>;

$v_a$  - скорость движения автомобиля, м/с (км/ч);  
 $v_n, v_k$  - начальная и конечная скорости движения автомобиля, м/с (км/ч);  
 $j_k$  - передаточное число коробки передач;  
 $j_{dk}$  - передаточное число дополнительной коробки передач;  
 $j_0$  - передаточное число главной передачи;  
 $j_{mp}$  - передаточное число трансмиссии;  
 $r_k$  - радиус качения колеса; м<sup>2</sup>;  
 $F_k$  - площадь пятна контакта колеса с дорогой, м<sup>2</sup>;  
 $P_k$  - касательная сила тяги, Н;  
 $P_m$  - тормозная сила между колесами и дорогой, Н  
 $P_{kp}$  - сила тяги на крюке, Н;  
 $P_x, P_y, P_z$  - горизонтальная, боковая, нормальная силы действующие на колесо, Н;  
 $P_f$  - сила сопротивления качению, Н;  
 $P_\psi$  - сила сопротивления дороги, Н;  
 $P_i$  - сила сопротивления подъему, Н;  
 $P_w$  - сила сопротивления воздуха, Н;  
 $P_j$  - сила сопротивления разгону (сила инерции поступательно движущихся масс), Н;  
 $P_{mp}$  - сила трения в трансмиссии, Н;  
 $P_{тд}$  - сила трения в двигателе, переведенная к ведущим колесам, Н;  
 $R_{z1}$  - нормальная реакция дороги на передние колеса, Н;  
 $R_{z2}$  - нормальная реакция дороги на задние колеса, Н;  
 $M_e$  - эффективный крутящийся момент на коленчатом валу двигателя, Н-м;  $M_{mk}$  - тормозной момент на ведущих колесах, Н\*м;  
 $V_h$  - рабочий объем двигателя, дм<sup>3</sup> (л);  
 $S_n$  - ход поршня, м;  
 $M_k$  - крутящийся момент на ведущих колесах, Н-м;  
 $M_f$  — момент сопротивления качению автомобиля, Н-м;  
 $M_{mp}$  - момент силы трения в трансмиссии, Н-м;  $M_{тд}$  - момент силы трения в двигателе, Н-м;  
 $M_{mk}$  - суммарный момент трения на колесных тормозах, Н-м;  
 $N_e$  - эффективная мощность двигателя, кВт;  
 $N_k$  - мощность, подводимая к ведущим колесам, кВт;  
 $N_f$  - мощность, затрачиваемая для преодоления сил сопротивления качению, Н-м;  
 $N_\psi$  - мощность, затрачиваемая для преодоления сил сопротивления дороги, кВт;  
 $N_i$  - мощность, для преодоления сил сопротивления подъему, кВт;  
 $N_w$  - мощность, затрачиваемая для преодоления сил сопротивления воздуха, кВт;

$N_j$  - мощность, затрачиваемая для преодоления сил сопротивления разгону (сил инерции), кВт;  
 $N_{тр}$  - мощность, затрачиваемая для преодоления сил трения в двигателе, кВт;  $g_e$  - удельный расход топлива при максимальной мощности, г/кВт-ч;  
 $\kappa_n$  - коэффициент использования частоты вращения коленчатого вала двигателя;  
 $\kappa_N$  - коэффициент использования мощности двигателя;  
 $D$  - динамический фактор;  
 $D_{сц}$  - динамический фактор по сцеплению ведущих колес с дорогой;  
 $\dot{\eta}_{тр}$  - коэффициент полезного действия трансмиссии;  
 $\dot{\eta}_m$  - механический коэффициент полезного действия двигателя;  
 $\rho_t$  - плотность топлива, кг/л;  
 $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  
 $f$  - коэффициент сопротивления качению;  
 $f_0$  - коэффициент сопротивления качению при движении с малой скоростью ( $\leq 14$  м/с);  
 $\Psi$  - коэффициент сопротивления дороги;  
 $\varphi$  - коэффициент сцепления колес с дорогой;  
 $\dot{\eta}_\delta$  - коэффициент боковой устойчивости автомобиля;  
 $b_{ш}$  - высота профиля шины, мм;  
 $b_y$  - ширина профиля шины, мм;  
 $\lambda_{ш}$  - коэффициент деформации шины;  
 $d$  - внутренний (посадочный) диаметр шины, мм (дюймы);  
 $D_{ст}$  - статистический диаметр шины, м;  
 $\alpha$  - угол подъема (уклона) дороги, град;  
 $\beta$  - угол бокового наклона дороги, град;  
 $\gamma_1, \gamma_2$  - передний и задний углы свеса автомобиля (углы въезда и съезда), град;  
 $\delta$  - коэффициент буксования колес;  
 $\delta_{вр}$  - коэффициент учета вращающихся масс;  
 $\delta_1, \delta_2$  - угол бокового увода шин передних и задних колес автомобиля, град;  
 $j, j_3$  - ускорение и замедление автомобиля, м/с<sup>2</sup>;  
 $\kappa_w$  - коэффициент обтекаемости автомобиля, Н\*с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  
 $F_w$  - площадь лобового сопротивления автомобиля (миделево сечение), м<sup>2</sup>;  $W_a = \kappa_w F_w$  - фактор обтекаемости, Н\*с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  
 $m_1, m_2$  - коэффициенты перераспределения нагрузок на передние и задние колеса при торможении автомобиля;  
 $J_{дв}$  - момент инерции вращающихся деталей двигателя, Н\*м\*с<sup>2</sup>;  
 $J_k$  - момент инерции колеса автомобиля, Н\*м\*с<sup>2</sup>;

$\theta_n$  - угол поворота наружного управляемого колеса, град;  
 $\theta_b$  - угол поворота внутреннего управляемого колеса, град;  
 $\theta$  - средний угол поворота управляемых колес, град;  
 $\theta_{\max}$  - максимальный средний угол поворота управляемых колес, град;  
 $\theta_{ук}$  - угол поворота рулевого колеса автомобиля, град;  
 $\lambda_o$  - угол между осями поворотных цапф, град;  
 $i_{ру} = i_{рм} * i_{рп}$  - передаточное число рулевого механизма;  
 $i_{рм}$  - передаточное число рулевого редуктора;  
 $i_{рп}$  - передаточное число рулевого привода;  
 $R$  - радиус поворота автомобиля, м;  
 $R_{\min}$  - минимальный радиус поворота автомобиля, м;  
 $R_{таб\max}$  - внешний габаритный радиус поворота автомобиля, м;  
 $R_{таб\min}$  - внутренний габаритный радиус поворота автомобиля, м;  $R_n$  - радиус поворота прицепа, м;  
 $R_{кт}$  - наименьший радиус поворота наиболее удаленной точки тягача от центра поворота, м;  
 $R_{кп}$  - наименьший радиус поворота наиболее близкой точки прицепа к центру поворота, м;  
 $l_1$  - расстояние от наиболее удаленной точки автомобиля от центра поворота до центра следа наружного управляемого колеса, м;  
 $l_2$  - расстояние от центра следа наружного управляемого колеса до наиболее близкой к центру поворота точки автомобиля, м;  
 $B_n$  - поворотная ширина по следу колес, м;  
 $B_c$  - габаритная полоса движения, м;  
 $B_k$  - ширина коридора поворота автопоезда, м;  
 $B_p$  - ширина полосы разворота автопоезда на 180 град, м;  
 $k_y$  - коэффициент сопротивления боковому уводу колес;  
 $\omega_a$  - угловая скорость поворота автомобиля,  $c^{-1}$ ;  
 $\omega_a / \theta$  - чувствительность автомобиля к управлению,  $c^{-1}$ ;  
 $\beta_p$  - угол между средним радиусом поворота и радиусом центра тяжести автомобиля, град;  
 $\omega_{пк}$  - угловая скорость поворота управляемых колес,  $c^{-1}$ ;  
 $\lambda_{ап}$  - относительный сдвиг траектории автопоезда м .  
 $P_{y1}, P_{y2}$  - боковые силы, действующие на передние и задние колеса автомобиля при повороте, Н;  
 $P_n$ ;  $P_{ц}$  - центробежная сила, действующая на центр тяжести автомобиля при повороте,  
 $S_m$  - тормозной путь автомобиля, м;  
 $t_l$  - время реакции водителя, с;



$t_2$  - время до начала срабатывания тормозной системы, с;  $t_m$  - полное время торможения автомобиля, с;  
 $\kappa_3$  - коэффициент снижения эффективности торможения;  $\gamma_t, \gamma_n$  - удельная тормозная сила тягача и прицепа;  
 $P_c$  - сила сцепления между тягачом-автомобилем и прицепом, Н;  
 $I_3, I_4$  - расстояние от центра тяжести прицепа до оси вращения передних или задних колес, м;  
 $n_n$  - общее число прицепов;  
 $n_{nm}$  - общее число прицепов, имеющих тормозную систему;  
 $m_r$  - коэффициент перераспределения нагрузки, для тормозящих колес прицепа;  
 $G_{пф}$  - сцепной вес, приходящийся на оси тормозящих колес прицепа, Н;  
 $p_{ш}$  - внутреннее давление в шине, Па;  
 $p_0$  - давление в пятне контакта при  $p_{ш} = 0$ , Па;  
 $C_{п(р)}$  - жесткость пружины (рессоры), Н/м;  
 $C_{под}$  - жесткость подрессорника, Н/м;  
 $C_{ш}$  - жесткость шины, Н/м;  
 $h_p$  - высота рва, м;  
 $F_K$  - площадь контакта колеса с дорогой, м<sup>2</sup>;  
 $F_{np}$  - площадь контакта на выступах рисунка протектора, м<sup>2</sup>;  
 $\kappa_n$  - коэффициент насыщенности протектора;  
 $f_n$  - статистический прогиб пружины, м;  
 $f_{ш}$  - статистический прогиб шины, м;  
 $f_{np}$  - статистический прогиб подвески под действием веса автомобиля, м;  
 $\varepsilon$  - коэффициент распределения масс;  
 $r_k$  - радиус инерции подрессорной массы автомобиля относительно оси У-У, м;  
 $m_n$  - масса неподрессорных частей автомобиля, кг;  
 $m_k$  - масса подрессорных частей автомобиля, кг;  
 $m_o$  - подрессорная масса автомобиля без груза, кг;  
 $m_z$  - масса груза, кг;  
 $H$  - норма расхода топлива, л/100км;  
 $Q_n$  - расход топлива, рассчитанный по нормам, л;  
 $K_1, K_2, K_3 \dots$  - коэффициенты корректирования линейной нормы при работе в различных условиях (город, зима и т. д.).

# 1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА АВТОМОБИЛЬ. ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ

## 1.1. Основы теории автомобиля

При движении со скоростью  $v$  на автомобиль действует целый ряд сил, которые называются внешними. К ним относятся сила тяжести  $G$ , силы взаимодействия между колесами автомобиля и дорогой (реакции дороги)  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{z1}$ ,  $R_{z2}$  и сила взаимодействия автомобиля с воздухом (реакция воздушной среды)  $P_v$ .

Одни из указанных сил действуют в направлении движения и являются движущими, другие — против движения и относятся к силам сопротивления движению.

Сила тяжести автомобиля ( $G_0$ ) условно прикладывается в центре тяжести, расположенном на расстоянии  $a$  от передней оси,  $b$  - от задней и  $h_0$  - от плоскости дороги.

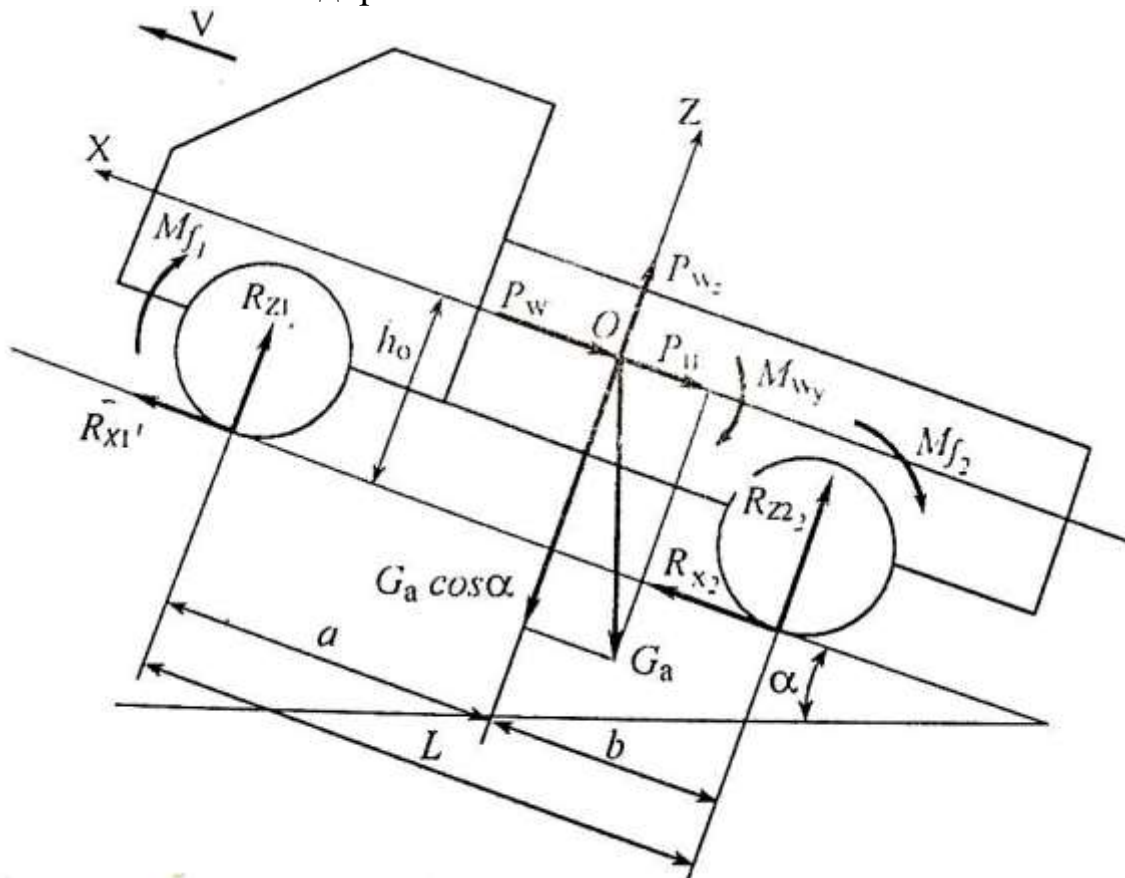


Рисунок 1 - Силы, действующие на автомобиль

В статическом положении автомобиля нормальные реакции на передние и задние колеса, Н

$$R_{z1} = G_a \cdot \frac{b}{L}, R_{z2} = G_a \cdot \frac{a}{L} \quad (1.1)$$

При равномерном движении автомобиля происходит изменение нормальных реакций и возникают касательные реакции, Н, дороги:

- для передних колес

$$R_{Z1} = G_a \cdot \cos \alpha \cdot \left( \frac{b - \varphi \cdot h_o}{L - \varphi \cdot h_o} \right), \quad (1.2)$$

$$R_{X1} = f \cdot R_{Z1} = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \cdot \frac{b - \varphi \cdot h_o}{L - \varphi \cdot h_o}. \quad (1.3)$$

- для задних колес

$$R_{Z2} = G_a \cdot \cos \alpha \cdot \frac{a}{L - \varphi \cdot h_o}, \quad (1.4)$$

$$R_{X2} = \frac{M_K}{r_K} - f \cdot R_{Z2} = \frac{M_K}{r_K} - f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \cdot \frac{a}{L - \varphi \cdot h_o}. \quad (1.5)$$

Основной движущей силой, действующей на автомобиль, является сила тяги, приложенная к ведущим колесам ( $P_K$ ). Сила тяги возникает в результате взаимодействия ведущих колес с дорогой.

При неравномерном прямолинейном движении действуют силы сопротивления движению.

В общем случае уравнение движения автомобиля выражается в виде, Н

$$P_K = P_f + P_W \pm P_i \pm P_j. \quad (1.6)$$

Сила тяги при равномерном движении, Н

$$P_K = \frac{M_K}{r_K} = \frac{M_e \cdot i_K \cdot i_{дк} \cdot i_0 \cdot \eta_{тр}}{r_K}. \quad (1.7)$$

Сила тяги при неравномерном движении автомобиля, Н

$$P_K = \frac{M_K}{r_K} + \frac{M_j}{r_K} = \frac{M_e \cdot i_K \cdot i_{дк} \cdot i_0 \cdot \eta_{тр}}{r_K} + \delta_{вр} \cdot P_j. \quad (1.8)$$

Эффективный крутящий момент, развиваемый на коленчатом валу двигателя, Н\*м

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \cdot 10^3. \quad (1.9)$$

Механический КПД трансмиссии для грузовых автомобилей находится в пределах 0,85-0,88, для легковых - 0,90-0,98, для полноприводных 0,80-0,85.

Коэффициент учета вращающихся масс

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{J_{дв} \cdot i_{тр}^2 \cdot \eta_{тр} + \Sigma J_K}{m_a \cdot r_K^2} \quad (1.10)$$

Приблизленно коэффициент учета вращающихся масс

$$\delta_{вр} = 1,05 + 0,07 \cdot j_K^2. \quad (1.11)$$

Радиус качения колеса, м

$$r_K = 0,0254 \cdot (0,5 \cdot d + \lambda_{ш} \cdot b_{ш}), \quad (1.12)$$

$$r_K = (0,5 \cdot d + \lambda_{ш} \cdot b_{ш}) \cdot 10^{-3} \quad (1.13)$$

Сила сопротивления качению, Н

$$P_f = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha. \quad (1.14)$$

При движении со скоростью более 14 м/с

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v_a^2}{1500}\right). \quad (1.15)$$

Полный вес автомобиля, Н

$$G_a = G_0 + G_H + 750 \cdot n_ч. \quad (1.16)$$

Сила сопротивления воздуха, Н

$$P_W = k_w \cdot F_w \cdot v_a^2 = W_a \cdot v_a^2. \quad (1.17)$$

Площадь лобового сопротивления, м<sup>2</sup>, (миделево сечение):

- для легковых автомобилей

$$F_w = 0,78 \cdot B \cdot H; \quad (1.18)$$

- для грузовых автомобилей

$$F_w = B_a \cdot H. \quad (1.19)$$

Скорость движения автомобиля, км/ч

$$v_a = 0,377 \cdot \frac{n_e \cdot r_K}{i_{тр}}. \quad (1.20)$$

Передаточное число трансмиссии

$$i_{тр} = i_K \cdot i_{дк} \cdot i_0. \quad (1.21)$$

Сила сопротивления при движении автомобиля на подъем (+) или под уклон (-), Н

$$P_i = G_a \cdot \sin\alpha \quad (1.22)$$

Сила инерции поступательно движущихся масс, Н

$$P_i = \delta_{\text{вр}} \cdot m_a \cdot j = \delta_{\text{вр}} \cdot \frac{G_a}{g} \cdot j \quad (1.23)$$

При движении автомобиля на подъеме во время его разгона приведенная сила инерции, Н

$$P_i = \left( 1 + \frac{J_{\text{дв}} \cdot i_{\text{тр}}^2 \cdot \eta_{\text{тр}} + \sum J_K}{m_a \cdot r_K^2} \right) \quad (1.24)$$

Величина суммарного дорожного сопротивления, Н

$$P_{\Psi} = P_f + P_i = f \cdot G_a \cdot \cos\alpha + G_a \cdot \sin\alpha = G_a \cdot (f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) = G_a \cdot \Psi \quad (1.25)$$

Уравнение мощностного баланса, кВт:

в общем случае

$$N_K = N_e \cdot \eta_{\text{тр}} = N_f + N_w \pm N_i \pm N_j; \quad (1.26)$$

в развернутом виде

$$N_K = \frac{P_K \cdot v_a}{1000} = \frac{f \cdot G_a \cdot v_a \cdot \cos\alpha}{1000} + \frac{k_w \cdot F_w \cdot v_a^3}{1000} \pm \frac{G_a \cdot \sin\alpha \cdot v_a}{1000} \pm \frac{G_a \cdot j \cdot \delta_{\text{вр}} \cdot v_a}{g \cdot 1000}. \quad (1.27)$$

При равномерном движении автомобиля по ровной горизонтальной дороге ( $F = \Psi$ ), кВт

$$N_K = N_e \cdot \eta_{\text{тр}} = N_{\Psi} + N_w = \frac{\Psi \cdot G_a \cdot v_a + k_w \cdot F_w \cdot v_a^3}{1000} \quad (1.28)$$

Величина динамического фактора

$$D = \frac{P_K - P_w}{G_a} = \Psi + \frac{\delta_{\text{вр}}}{g} = (f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + \frac{\delta_{\text{вр}}}{g} \cdot j. \quad (1.29)$$

С изменением веса автомобиля величина динамического фактора изменяется:

$$D_x = D \cdot \frac{G_a}{G_x}. \quad (1.30)$$

Для длительного безостановочного движения автомобиля необходимо соблюдать условия  $D \geq \Psi$

Предельное значение силы тяги по условиям сцепления ведущих колес с дорогой

$$D_{\text{сц}} = \varphi_x \cdot \frac{G_a}{G_x}. \quad (1.31)$$

Движение автомобиля без буксования ведущих колес возможно при условии  $D_{\text{сц}} > D > \Psi$ .

Максимальное значение динамического фактора:

- для легковых автомобилей

$$D_{\text{max}} = 0,3 \dots 0,4; \quad (1.32)$$

- для грузовых автомобилей дорожной проходимости

$$D_{\text{max}} = 0,26 \dots 0,36; \quad (1.33)$$

- для грузовых повышенной проходимости

$$D_{\text{max}} = 0,57 \dots 0,8; \quad (1.34)$$

Ускорение автомобиля, м/с<sup>2</sup>

$$j = \frac{D - \Psi}{\delta_{\text{вп}}} \cdot g; \quad (1.35)$$

$$j = \frac{v_H - v_K}{3,6 \cdot t_p} \quad (1.36)$$

Максимальный угол подъема, который может преодолеть автомобиль, движущийся равномерно, по динамической характеристике

$$\sin \alpha = D - f; \quad (1.37)$$

$$\alpha = \arcsin(D - f). \quad (1.38)$$

Максимальный угол подъема увеличивается, если автомобиль имеет дополнительное ускорение:

$$\sin \alpha = D - f + \frac{\delta_{\text{вп}}}{g} \cdot j; \quad (1.39)$$

$$\alpha = \arcsin \left( D - f + \frac{\delta_{\text{вп}}}{g} \right) \cdot j. \quad (1.40)$$

## 1.2. Примеры решения задач

**Задача 1.1.** Определить величины радиальных реакций между колесами автомобиля и дорогой в статическом состоянии и при его движении, а также коэффициенты изменения реакций. Вес автомобиля 50 кН, расстояние от центра масс до оси передних колес автомобиля 2,4 метра до оси задних колес 1,6 метра. Высота центра тяжести 0,8 м. Дорога горизонтальная с коэффициентом сцепления 0,7.

*Решение задачи.*

База автомобиля

$$L = a + b = 2,4 + 1,6 = 4,0 \text{ м.}$$

Радиальные реакции (вес) приходящиеся на переднюю и заднюю оси в статическом состоянии:

$$R_{Z1} = G_1 = \frac{G_a b}{L} = \frac{50000 \cdot 1,6}{4} = 20000 \text{ Н,}$$

$$R_{Z2} = G_2 = \frac{G_a \cdot a}{L} = 30000 \text{ Н.}$$

Радиальные реакции, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля при его движении:

$$R_{Z1} = G_a \cdot \cos\alpha \cdot \frac{b - \varphi \cdot h_0}{L - \varphi \cdot h_0} = 50000 \cdot 1 \cdot \frac{1,6 - 0,7 \cdot 0,8}{4 - 0,7 \cdot 0,8} = 15116 \text{ Н,}$$

$$R_{Z2} = G_a \cdot \cos\alpha \cdot \frac{a}{L - \varphi \cdot h_0} = 50000 \cdot 1 \cdot \frac{2,4}{4 - 0,7 \cdot 0,8} = 34884 \text{ Н,}$$

$$R_{Z2} = G_a - R_{Z1} = 50000 - 15116 = 34884 \text{ Н.}$$

Коэффициент изменения реакций

$$m_1 = \frac{R_{Z1}}{G_1} = \frac{15116}{20000} = 0,776; \quad m_2 = \frac{R_{Z2}}{G_2} = \frac{34884}{30000} = 1,163.$$

**Задача 1.2.** Определить касательную силу тяги и мощность, подводимую к ведущим колесам автомобиля, движущегося по горизонтальной дороге на прямой передаче. Максимальный крутящий момент на коленчатом валу двигателя 450 Н·м при частоте вращения 1400 об/мин. Передаточное число главной передачи 6,45; КПД трансмиссии 0,85; диаметр обода колеса 0,508 м; ширина профиля колеса 0,260 м.

*Решение задачи*

Максимальный крутящий момент, подводимый к ведущим колесам автомобиля

$$M_K = M_e \cdot i_K \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}} = 450 \cdot 1 \cdot 6,45 \cdot 0,85 = 2467 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Радиус качения колеса

$$r_K = 0,5 \cdot d + b = 0,5 \cdot 0,508 + 0,260 = 0,514 \text{ м}.$$

Касательная сила тяги, развиваемая на ведущих колесах

$$P_K = \frac{M_K}{r_K} = \frac{2467}{0,514} = 4800 \text{ Н}.$$

Частота вращения колес при максимальном крутящем моменте

$$n_K = \frac{n_e}{i_K \cdot i_0} = \frac{1400}{1 \cdot 6,45} = 217,1 \text{ об/мин}.$$

Длина окружности колеса

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r_K = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,514 = 3,23 \text{ м}.$$

Скорость движения автомобиля

$$v_a = \frac{n_K \cdot S}{60} = \frac{217,1 \cdot 3,23}{60} = 11,7 \text{ м/с}.$$

Мощность, подводимая к ведущим колесам

$$N_K = \frac{P_K \cdot v_a}{1000} = \frac{4800 \cdot 11,7}{1000} = 56,2 \text{ кВт}.$$

**Задача 1.3.** Определить силу и мощность сопротивления качению легкового автомобиля весом 17,9 кН при его движении со скоростями 10 м/с и 20 м/с, если коэффициент сопротивления качению при движении с малой скоростью равен 0,014.

*Решение задачи.*

Сила сопротивления качению: при скорости 10 м/с

$$P_K = f_0 \cdot G_a = 0,014 \cdot 17900 = 250,6 \text{ Н}$$

при скорости 20 м/с

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v_a^2}{1500}\right) = 0,014 \cdot \left(1 + \frac{400}{1500}\right) = 0,018,$$



$$P_k = f \cdot G_a = 0,018 \cdot 17900 = 322,2.$$

Мощность сопротивления качению:

при скорости 10 м/с

$$N_K = \frac{P_k \cdot v_a}{1000} = \frac{250,6 \cdot 10}{1000} = 2,51 \text{ кВт};$$

при скорости 20 м/с

$$N_K = \frac{322,2 \cdot 20}{1000} = 6,44 \text{ кВт}.$$

**Задача 1.4.** Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению автопоезда массой 48 т при движении по горизонтальной дороге со скоростью 18 км/ч, равна 82,4 кВт. Определить уклон дороги на котором сила сопротивления дороги равна нулю.

*Решение задачи.*

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению:

$$N_K = N_\psi = N_f + N_i, \text{ кВт}$$

При движении по горизонтальной дороге

$$N_K = N_f = \frac{f \cdot G_a \cdot v_a}{1000} \text{ кВт},$$

где  $G_a = 480000 \text{ Н}$ ;

$$v_a = \frac{18}{3,6} = 5 \text{ м/с}.$$

Откуда

$$f = \frac{N_K \cdot 1000}{G_a \cdot v_a} = \frac{82,4 \cdot 1000}{480000 \cdot 5} = 0,034.$$

Сила сопротивления дороги

$$P_\psi = P_f + P_i = f \cdot G_a \cdot \cos\alpha + G_a \cdot \sin\alpha = 0,$$

$$f = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \operatorname{tg}\alpha = i,$$

$$i = 0,034; i = 3,4\%$$

**Задача 1.5.** Определить силу и мощность сопротивления подъему легкового автомобиля при движении его со скоростью 10 м/с на подъеме, угол которого равен  $3^\circ 30'$ . Вес автомобиля 17900 Н.

*Решение задачи.*

Уклон дороги при угле  $3^{\circ}30'$

$$i = \operatorname{tg}3^{\circ}30' = 0,06.$$

Сила сопротивления подъему при любой скорости

$$P_i = i \cdot G_a = 0,06 \cdot 17900 = 1070 \text{ Н.}$$

Мощность сопротивления подъему при скорости 10 м/с

$$N_i = \frac{P_i \cdot v_a}{1000} = \frac{1070 \cdot 10}{1000} = 10,7 \text{ кВт.}$$

**Задача 1.6.** Определить силу и мощность сопротивления дороги при движении легкового автомобиля со скоростью 10 м/с по дороге с асфальтированным покрытием в удовлетворительном состоянии с коэффициентом сопротивления качению 0,02. Угол подъема дороги  $3^{\circ}30'$ . Вес автомобиля 1790 Н.

*Решение задачи.*

Коэффициент сопротивления дороги

$$\Psi = f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha = 0,02 \cdot 0,998 + 0,061 = 0,081.$$

Сила сопротивления дороги

$$P_{\Psi} = \Psi \cdot G_a = 0,081 \cdot 1790 = 145 \text{ Н.}$$

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления дороги:

$$N_{\Psi} = \frac{P_{\Psi} \cdot v_a}{1000} = \frac{145 \cdot 10}{1000} = 1,45 \text{ кВт.}$$

**Задача 1.7.** Определить силу и мощность сопротивления воздуха при движении автомобиля со скоростями 10 м/с и 20 м/с. Коэффициент сопротивления воздуха  $0,25 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ . Площадь миделева сечения 2,3 м.

*Решение задачи.*

Сила сопротивления воздуха:

$$P_w = k_w \cdot F_w \cdot v_a^2 \text{ Н,}$$

при скорости 10 м/с

$$P_w = 0,025 \cdot 2,3 \cdot 100 = 57,5 \text{ Н,}$$

при скорости 20 м/с

$$P_w = 0,025 \cdot 2,3 \cdot 400 = 230 \text{ Н.}$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха:

$$N_w = \frac{P_w \cdot v_a}{1000} \text{ кВт,}$$

при скорости 10 м/с

$$N_w = \frac{57,5 \cdot 10}{1000} = 0,575 \text{ кВт,}$$

при скорости 20 м/с

$$N_w = \frac{230 \cdot 20}{1000} = 4,6 \text{ кВт}$$

**Задача 1.8.** Ведущий момент на одном из ведущих колес автомобиля равен 8800 Н\*м. Найти мощность двигателя при равномерном движении автомобиля, если известно, что его ведущие колеса вращаются без буксования с частотой 41 об/мин. КПД трансмиссии 0.9.

*Решение задачи.*

Мощность, подводимая к ведущим колесам, кВт:

$$N_k = N_e \cdot \eta_{\text{тр}} = \frac{P_k \cdot v_a}{3600}$$

Касательную силу тяги можно найти,

$$P_k = \frac{2 \cdot M_k}{r_k} \text{ Н.}$$

Скорость движения автомобиля

$$v_a = 0,377 \cdot r_k \cdot n_k \text{ км/ч}$$

Подставив в уравнение мощности значения касательной силы тяги и скорости движения, получим, кВт:

$$N_e \cdot \eta_{\text{тр}} = 0,377 \cdot \frac{2 \cdot M_k \cdot n_k}{3600}$$

Мощность двигателя

$$N_e \cdot \eta_{\text{тр}} = 0,377 \cdot \frac{2 \cdot M_k \cdot n_k}{3600 \cdot \eta_{\text{тр}}} = 0,377 \cdot \frac{8800 \cdot 41}{3600 \cdot 0,9} = 84 \text{ кВт.}$$

**Задача 1.9** Рассчитать скорость движения автомобиля при частоте вращения коленчатого вала 2000 об/мин, если передаточные числа коробки передач равны: 6,4; 3,09; 1,69; 1,0; главной передачи 6,67, радиус колеса 0,44 м,

*Решение задачи.*

Передаточное число трансмиссии

$$i_{\text{тр}} = i_k \cdot i_0$$

$$i_{\text{тр}1} = 6,04 \cdot 6,67 = 40,29$$

$$i_{\text{тр}2} = 3,09 \cdot 6,67 = 20,61$$

$$i_{\text{тр}3} = 1,69 \cdot 6,67 = 11,27$$

$$i_{\text{тр}4} = 1 \cdot 6,67 = 6,67.$$

Частот вращения колес, об/мин:

$$n_k = \frac{n_e}{i_{\text{тр}}}$$

Первой передачи

$$n_{к1} = \frac{2000}{40,29} = 49,64 \text{ об/мин};$$

Второй передачи

$$n_{к2} = \frac{2000}{20,61} = 97,04 \text{ об/мин};$$

Третьей передачи

$$n_{к3} = \frac{2000}{11,27} = 177,46 \text{ об/мин};$$

Четвертой передаче

$$n_{к4} = \frac{2000}{6,67} = 299,85 \text{ об/мин};$$

Длина окружности колеса

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,44 = 2,76 \text{ м.}$$

Скорость движения автомобиля, м/с:

$$v_a = \frac{S \cdot n_k}{60}$$

на первой передачи

$$v_{a1} = \frac{2,76 \cdot 49,64}{60} = 2,28 \text{ м/с};$$

на второй передаче

$$v_{a2} = \frac{2,76 \cdot 97,04}{60} = 4,46 \text{ м/с};$$

на третьей передаче

$$v_{a3} = \frac{2,76 \cdot 177,46}{60} = 8,16 \text{ м/с};$$

на четвертой передаче

$$v_{a4} = \frac{2,76 \cdot 299,85}{60} = 13,79 \text{ м/с};$$

**Задача 1.10.** Найти максимальную скорость движения автомобиля, который движется с полностью открытой дроссельной заслонкой по горизонтальному участку дороги, характеризуемой коэффициентом сопротивления качению 0,025. При этом величина силы тяги, которая может быть использована для поступательного ускорения, равна нулю. Вес автомобиля 48кН: фактор сопротивления воздуха  $2,6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ : сила тяги ведущих колес равна 1,7 кН.

*Решение задачи.*

Сила тяги на ведущих колесах может быть найдена из выражения

$$P_k = P_f + P_w = f \cdot G_a + W_a \cdot v_a^2, \text{ Н.}$$

Откуда скорость движения автомобиля

$$v_a = \sqrt{\frac{P_k - f \cdot G_a}{W_a}} = \sqrt{\frac{1700 - 0,025 \cdot 48000}{2,6}} = 13,87 \text{ м/с.}$$

**Задача 1.11.** Автомобиль с полным весом 54 кН движется с равномерной скоростью по горизонтальному участку дороги, характеризуемой коэффициентом сопротивления качению равным 0,25. Во сколько раз изменится скорость движения автомобиля, если сила тяги на ведущих колесах возрастет с 1,59 до 1,89 кН.

*Решение задачи.*

Сила тяги на ведущих колесах для данного случая находится из выражения:

$$P_k = P_f + P_w = f \cdot G_a + W_a \cdot v_a^2, \text{ Н.}$$

Для первого случая, когда  $P_k = 1,59$  кН:

$$1590 = 0,025 \cdot 54000 + W_a \cdot v_{a1}^2, \text{ Н.}$$

$$W_a \cdot v_{a1}^2 = 240, \text{ Н.}$$

Для второго случая, когда  $P_k = 1,89$  кН

$$1890 = 0,025 \cdot 54000 + W_a \cdot v_{a2}^2, \text{ Н.}$$

$$W_a \cdot v_{a2}^2 = 540, \text{ Н.}$$

Возьмем отношение

$$\frac{W_a \cdot v_{a2}^2}{W_a \cdot v_{a1}^2} = \frac{540}{240} = 2,25$$

$$\frac{v_{a2}}{v_{a1}} = \sqrt{2,25} = 1,5,$$

скорость возрастет в 1,5 раза.

**Задача 1.12.** Определить динамический фактор легкового автомобиля с полной нагрузкой, равной 17,9 кН при его движении на прямой передаче со скоростью 17,7 м/с, если касательная сила тяги равна 2,12 кН. Коэффициент сопротивления воздуха 0,25 Нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup> ; площадь миделева сечения 2,3 м<sup>2</sup>. Определить возможность движения данного автомобиля, если коэффициент сцепления колес с дорогой равен 0,1. База автомобиля 2,8 м, расстояние от центра масс до передней оси 1,46 м.

*Решение задачи.*

Динамический фактор по условиям тяги

$$D = \frac{P_k - P_W}{G_a} = \frac{P_k - P_W \cdot F_W \cdot v_a^2}{G_a} = \frac{2102 - 0,025 \cdot 2,3 \cdot 17,7^2}{17900} = 0,109$$

Вес, приходящийся на ведущие колеса:

$$G_{a2} = \frac{G_a \cdot a}{L} = \frac{17900 \cdot 1,46}{2,8} = 9334 \text{ Н.}$$

Динамический фактор по сцеплению ведущих колес с дорог

$$D_{сц} = \varphi \cdot \frac{G_{a2}}{G_a} = 0,1 \cdot \frac{9334}{17900} = 0,052.$$

Условие непрерывного движения автомобиля  $D_{сц} > D$ .

Так как  $D_{сц} = 0,052$  ( $D = 0,109$ ), то длительное движение автомобиля с указанной скоростью невозможно вследствие буксования ведущих колес.

**Задача 1.12.** Грузеный автомобиль движется с равномерной скоростью по асфальтированному участку дороги с коэффициентом сопротивления качению 0,02 и на подъем с углом  $5^\circ$ . Найти динамический фактор автомобиля.

*Решение задачи.*

При равномерном движении автомобиля динамический фактор равен коэффициенту дорожного сопротивления:

$$D = \Psi$$

Коэффициент дорожного сопротивления можно найти из выражения

$$\Psi = D = f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha = 0,02 \cdot \cos 5^\circ + \sin 5^\circ = 0,11.$$

**Задача 1.13.** Сила сопротивления качению полностью груженого автомобиля весом 82,5 кН на горизонтальном участке дороги равна 1,77 кН. Определить коэффициент сопротивления качению.

*Решение задачи.*

Сила сопротивления качению при движении по горизонтальному участку дороги

$$P_k = P_f = f \cdot G_a, \text{ Н.}$$

Следовательно

$$f = \frac{P_f}{G_a} = \frac{1770}{82500} = 0,02.$$

**Задача 1.14.** Определить коэффициент скольжения ведущих колес грузового автомобиля, реальная скорость которого 10 м/с при угловой скорости коленчатого вала двигателя 150 с<sup>-1</sup>. Передаточные числа: коробки перемены передач 0,81; главной передачи 7,22. Радиус качения колес 0,5 м.

*Решение задачи.*

Скорость движения автомобиля, при угловой скорости коленчатого вала двигателя 150 с<sup>-1</sup>, должна быть:

$$v_{a1} = 0,377 \cdot \frac{n_c \cdot r_k}{i_{тр}}, \text{ км/ч,}$$

Где  $n_c$  — частота вращения коленчатого вала двигателя

$$n = \frac{30 \cdot \omega_e}{\pi} = \frac{30 \cdot 150}{3,14} = 1433 \text{ об/мин;}$$

$i_{тр}$  - передаточное число трансмиссии

$$i_{тр} = i_k \cdot i_0 = 0,81 \cdot 7,22 = 5,85.$$

Следовательно, скорость движения должна быть

$$v_{a1} = 0,377 \cdot \frac{1433 \cdot 0,5}{5,85} = 46,17 \text{ км/ч}$$

$$v_{a1} = \frac{46,17}{3,6} = 12,83 \text{ м/с.}$$

Коэффициент скольжения

$$\delta = \frac{v_{a1} - v_a}{v_{a1}} = \frac{12,83 - 10}{12,83} = 0,22$$

**Задача 1.15.** Колесо со статическим радиусом 0,31 м, нагруженное нормальной силой 8,6 кН, катится по размокшей грунтовой дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,25. Определить возможность движения колеса в указанных дорожных условиях, ли оно может передать максимальный, по условиям сцепления, момент 0,4кНм.

*Решение задачи.*

Сила сопротивления качению нагруженного колеса

$$P_k = f \cdot G_{a2} = 0,025 \cdot 8600 = 2150 \text{ Н.}$$

Момент сопротивления качению этого же колеса

$$M_k = P_k \cdot r_k = 2150 \cdot 0,31 = 666,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так как  $M_k = 666,5 \text{ Нм} > M_k = 400 \text{ Нм}$ , то движение невозможно.

**Задача 1.16.** Сила сопротивления качению автомобиля весом 79 кН при движении по горизонтальной дороге равна 1,94 кН. Чему равен коэффициент сопротивления дороги при движении автомобиля на подъем с уклоном 25%?

*Решение задачи.*

Сила сопротивления качению, при движении по горизонтальной дороге:

$$P_k = f \cdot G_a, \text{ Н}$$

откуда

$$f = \frac{P_k}{G_a} = \frac{1940}{79000} = 0,025,$$

коэффициент сопротивления дороги при движении на подъеме

$$\psi = f + i = 0,025 + 0,25 = 0,275$$

**Задача 1.17.** При испытаниях легкового автомобиля в дорожных условиях произведено 2 заезда на одном и том же горизонтальном участке испытательной дороги со скоростями 5 и 15 м/с. При движении были записаны величины крутящих моментов на вторичном валу коробки передач, которые при равномерном движении с указанными выше скоростями составили 17,52 и 25,93, 11м. Определить фактор обтекаемости и коэффициент сопротивления качению автомобиля. Передаточное число главной передачи 3,9; КПД трансмиссии 0,96; динамический радиус колес 0,29; вес автомобиля 14,45 кН.

*Решение задачи.*

При движении с малыми скоростями (менее 14 м/с)

Касательная сила тяги

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M_k \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k} = \frac{17,52 \cdot 3,9 \cdot 0,96}{0,29} = 226 \text{ Н.}$$

откуда

$$f = \frac{P_k}{G_a} = \frac{226,2}{14450} = 0,016$$

При движении с большими скоростями (более 14 м/с):

$$P'_k = f \cdot G_a + W_a \cdot v_a^2, \text{ Н.}$$

Касательная сила тяги

$$P'_k = \frac{M'_k}{r_k} = \frac{M'_k \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k} = \frac{25,93 \cdot 3,9 \cdot 0,96}{0,29} = 335 \text{ Н.}$$



Касательная сила тяги по условиям сопротивления дороги:

$$P'_k = f \cdot G_a + W_a \cdot v_a^2, H.$$

Откуда фактор обтекаемости

$$W_a = \frac{P'_k - G_a \cdot f}{v_a^2} = \frac{335 - 14450 \cdot 0,016}{15^2} = 0,484 H \cdot c^2 / m^2$$

**Задача 1.18.** Чему равно ускорение легкового автомобиля на второй передаче, если угловое ускорение коленчатого вала двигателя  $50 \text{ с}^{-2}$ ? Передаточные числа главной передачи 4,3; второй передачи коробки передач 2,3. Радиус колеса 0,278 м.

*Решение задачи.*

Ускорение автомобиля

$$j = \frac{\omega'_k \cdot r_k}{i_k \cdot i_0} = \frac{50 \cdot 0,278}{2,3 \cdot 4,3} = 1,41 \text{ м/с}^2.$$

**Задача 1.19.** Автобус движется на третьей передаче с ускорением  $0,64 \text{ м/с}^2$ . Найти передаточное число главной передачи автобуса, если угловое ускорение коленчатого вала двигателя  $15,74 \text{ с}^{-2}$ ; передаточное число третьей передачи коробки перемены передач равно 1,71; размер шин 240-508; коэффициент деформации шины 0,88; высота профиля шины равна его ширине.

*Решение задачи.*

Радиус автомобильного колеса

$$r_k = (0,5 \cdot d_{\text{ш}} + b_{\text{ш}}) \cdot \lambda_{\text{ш}} = (0,5 \cdot 0,508 + 0,240) \cdot 0,88 = 0,434 \text{ м.}$$

ускорение автомобиля:

$$j = \frac{\omega'_k \cdot r_k}{i_k \cdot i_0} \text{ м/с}^2.$$

откуда передаточное число главной передачи

$$i_0 = \frac{\omega'_k \cdot r_k}{j \cdot i_k} = \frac{15,74 \cdot 0,434}{1,71 \cdot 0,64} = 6,24.$$

**Задача 1.20.** Автобус весом 27,1 кН движется со скоростью 20 м/с по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,02. При этом сила тяги на ведущих колесах равна 2,48 кН. Фактор обтекаемости  $1,28 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$ . Коэффициент учета вращающихся масс 1,06. Найти ускорение автомобиля.

*Решение задачи.*

Касательная сила тяги, развиваемая автомобилем, Н:

$$P_k = P_k = P_f + P_w + P_j$$

Сила сопротивления качению

$$P_f = f \cdot G_a = 0,02 \cdot 27100 = 542 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления воздуха

$$P_w = W_a \cdot v_a^2 = 1,28 \cdot 20^2 = 512 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления инерции, Н

$$P_j = \delta \cdot \frac{G_a}{g} \cdot j = 1,06 \cdot \frac{27100}{10} \cdot j = 2873 \cdot j$$

Следовательно, из уравнения силового баланса, ускорение будет  
Равно

$$j = \frac{P_k - P_f - P_w}{\delta \cdot \frac{G_a}{g}} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

**Задача 1.21.** Автомобиль весом 160 кН движется на подъеме с уклоном 0,06. Коэффициент сопротивления качению равен 0,025. Двигатель развивает момент 587 Н\*м. Передаточные числа главной передачи 7,78; первой передачи коробки перемены передач 7,73; второй передачи 5,52. КПД трансмиссии 0,88. Динамический радиус колес 0,535. Коэффициент учета вращающихся масс на первой передаче 3,32; на второй 2,20. Определить ускорение на первой и второй передачах. Сопротивлением воздуха пренебречь.

*Решение задачи.*

Уравнение силового баланса

$$P_k = P_f + P_i + P_j = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha + G_a \cdot \sin \alpha + \delta \cdot \frac{G_a}{g} \cdot j \text{ Н.}$$

Касательную силу тяги можно найти:

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M_e \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k} \text{ Н.}$$

Для первой передачи

$$P_k = \frac{587 \cdot 7,73 \cdot 7,78 \cdot 0,88}{0,535} = 58067 \text{ Н.}$$

Для второй передачи

$$P_k = \frac{587 \cdot 5,52 \cdot 7,78 \cdot 0,88}{0,535} = 41465 \text{ Н.}$$

Из условия заданного уклона угол подъема

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,06; \quad \alpha = \operatorname{arctg} 0,06 = 3^\circ 30'$$

Сила сопротивления инерции для первой передачи, Н:

$$P_j = 3,32 \cdot \frac{160000}{10} \cdot j = 53120 \cdot j, \text{ Н}$$

Для второй передачи:

$$P_j = 2,2 \cdot \frac{160000}{10} \cdot j = 35200 \cdot j, H$$

Сила инерции из уравнения силового баланса:

$$j = \frac{P_k - P_f - P_w}{\delta \cdot \frac{G_a}{g}} \text{ м/с}^2$$

Для первой передачи

$$j = \frac{58067 - 3992 - 9760}{53120} = 0,834 \text{ м/с}^2$$

Для второй передачи

$$j = \frac{41465 - 3992 - 9760}{35200} = 0,8 \text{ м/с}^2.$$

## 2. УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

### 2.1. Основы теории автомобиля

Устойчивость - это способность автомобиля сохранять заданную скорость, направление движения, а также ориентацию продольной и вертикальной осей автомобиля в результате воздействия на него различных возмущающих сил.

Потеря автомобилем устойчивости выражается в его опрокидывании или скольжении. В зависимости от направления скольжения или опрокидывания различают поперечную или продольную устойчивость.

#### 2.1.1. Поперечная устойчивость автомобиля

Наиболее вероятным и опасным является потеря автомобилем поперечной устойчивости, которая происходит под действием центробежной силы  $P_{цy}$ , поперечной составляющей силы тяжести автомобиля  $G_{ay}$ , силы бокового ветра  $P_{wy}$ , а также в результате ударов о неровности дороги.

Показателями поперечной устойчивости автомобиля являются: максимально возможная скорость движения  $V_{amax}$  по окружности с минимально возможным радиусом  $R_{min}$  и максимальным углом поперечного уклона дороги  $\beta_{max}$

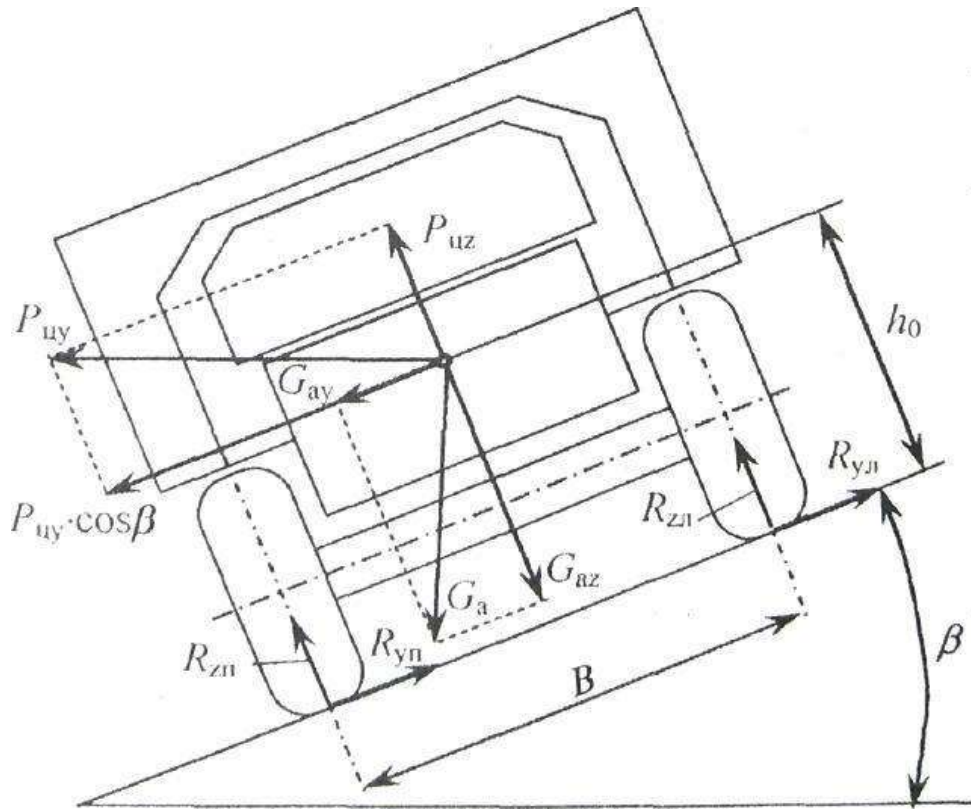


Рисунок 2.1 - Силы, влияющие на поперечную устойчивость автомобиля при движении по внешнему краю дороги

Предельный критический угол поперечного уклона дороги  
 - по условиям опрокидывания дороги: а) в статистическом состоянии

$$tg\beta_{max} = \frac{B}{2 \cdot h_0} = \eta_6 \quad (2.1)$$

б) при повороте

$$tg\beta_{max} = \frac{g \cdot R \cdot B + 2 \cdot v^2 \cdot h_0}{2 \cdot g \cdot R \cdot h_0 - v^2 \cdot B} \quad (2.2)$$

- по условиям бокового скольжения автомобиля:

а) в статистическом состоянии

$$tg\beta_{max} = \varphi \quad (2.3)$$

б) при повороте

$$tg\beta_{max} = \frac{v^2 - \varphi \cdot g \cdot R}{\varphi \cdot v^2 + g \cdot R} \quad (2.4)$$

- условие невозможности бокового опрокидывания

$$\varphi \left( \frac{B}{2 \cdot h_0} \right) = \eta_6 \quad (2.5)$$

Максимальная (критическая) скорость, которую может развить автомобиль на повороте, без опасности опрокидывания, м/с:

- на дороге с поперечным уклоном

$$v_{max} = \sqrt{\frac{B+2 \cdot h_0 \cdot tg\beta}{2 \cdot h_0 - B \cdot tg\beta}} \cdot R \cdot g \quad (2.6)$$

- на дороге без поперечного уклона

Максимальная (критическая) скорость, которую может развить автомобиль на повороте, по условиям бокового скольжения (заноса), м/с:

- на дороге с поперечным уклоном

$$v_{max} = \sqrt{\frac{\varphi + tg\beta}{1 - \varphi \cdot tg\beta}} \cdot R \cdot g \quad (2.7)$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{(\varphi + tg\beta) \cdot L}{(1 - \varphi \cdot tg\beta) \cdot \theta}} \cdot g; \quad (2.8)$$

- на дороге без поперечного уклона

$$v_{max} = \sqrt{\varphi \cdot g \cdot R} \quad (2.9)$$

$$v_{max} = \sqrt{\varphi \cdot g \cdot \frac{L}{\theta}}, \quad (2.10)$$

где радиан - угол поворота управляемых колес.

Максимальный (критический) радиус поворота автомобиля, м:

- по боковому опрокидыванию:

а) на дороге с поперечным уклоном

$$\theta = \frac{L}{R} \quad R_{max} = \frac{(2 \cdot h_0 - B \cdot tg\beta) \cdot v^2}{(B + 2 \cdot h_0 \cdot tg\beta) \cdot g}; \quad (2.11)$$

б) на дороге без поперечного уклона

$$R_{max} = \frac{2 \cdot h_0 \cdot v^2}{B \cdot g} \quad (2.12)$$

- по боковому скольжению (заносу):

а) на дороге с поперечным уклоном

$$R_{max} = \frac{(1-\varphi \cdot tg\beta) \cdot v^2}{(\varphi + tg\beta) \cdot g}; \quad (2.13)$$

б) без поперечного уклона

$$R_{max} = \frac{v^2}{\varphi \cdot g} \quad \dots(2.14)$$

Условие устойчивости по боковому скольжению (заносу), Н:  
- передних колес

$$R_{y1} \leq \sqrt{(\varphi_1 \cdot R_{z1})^2 - R_{x1}^2}; \quad \dots(2.15)$$

- задних колес

$$R_{y2} \leq \sqrt{(\varphi_2 \cdot R_{z2})^2 - R_{x2}^2}; \quad \dots(2.16)$$

Критическая скорость установившегося кругового движения  
автомобиля по условиям бокового скольжения (заноса), м/с:

- передних колес

$$v_{max1} = \sqrt{g \cdot R \cdot \sqrt{\varphi_1 - K_{x1}}}; \quad \dots(2.17)$$

- задних колес

$$v_{max2} = \sqrt{g \cdot R \cdot \sqrt{\varphi_2 - K_{x2}}}; \quad \dots(2.18)$$

где

$$K_{x1} = \frac{R_{y1}}{R_{z1}}; \quad K_{x2} = \frac{R_{y2}}{R_{z2}} \quad (2.19)$$

Критическая скорость бокового увода автомобиля (максимальная  
скорость движения без возрастающего увода), м/с:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{g \cdot L}{\frac{G_2}{K_2} - \frac{G_1}{K_1}}}; \quad (2.20)$$

где

$$K_1 = \frac{R_{y1}}{\delta_1}; \quad (2.21)$$

$$K_2 = \frac{R_{y2}}{\delta_2}, \text{ Н/град.} \quad (2.22)$$

## 2.1.2. Продольная устойчивость автомобиля

Наибольший (предельный) угол подъема, преодолеваемый автомобилем по условиям опрокидывания (отрыв передних колес).

$$tg\alpha = \frac{a}{h_0} \quad \text{или} \quad tg\alpha = \frac{b-f \cdot r_{\kappa}}{h_0}; \quad (2.23)$$

Наибольший угол подъема, преодолеваемый автомобилем, по условиям сцепления задних ведущих колес с дорогой (буксование ведущих колес):

$$tg\alpha = \frac{G_a \cdot (b-f \cdot r_{\kappa}) - f \cdot G_{\text{пр}} \cdot h_{\text{кр}}}{G_a \cdot h_0 + G_{\text{пр}} \cdot h_{\text{кр}}} \quad (2.24)$$

- одиночным автомобилем

$$tg\alpha = \frac{b \cdot \varphi}{L - \varphi \cdot h_0} \quad (2.25)$$

- автопоездом

$$tg\alpha = \frac{\varphi \cdot (a + f \cdot r_{\kappa}) - f \cdot L}{L - \varphi \cdot h_0}; \quad (2.26)$$

Наибольший угол подъема, преодолеваемый автомобилем, по условиям сцепления передних ведущих колес с дорогой (буксование ведущих колес):

- одиночным автомобилем

$$tg\alpha = \frac{\varphi \cdot (b - f \cdot r_{\kappa}) - f \cdot L}{L + \varphi \cdot h_0}; \quad (2.27)$$

$$tg\alpha = \frac{G_a \cdot [\varphi \cdot (b - f \cdot r_{\kappa}) - f \cdot L] - f \cdot G_{\text{пр}} \cdot (L + \varphi \cdot h_{\text{кр}})}{G_a \cdot (L + \varphi \cdot h_0) + G_{\text{пр}} \cdot (L + \varphi \cdot h_{\text{кр}})} \quad (2.28)$$

- автопоездом

$$tg\alpha = \frac{b \cdot \varphi \cdot G_a - f \cdot G_{\text{пр}}}{G_a \cdot (L - \varphi \cdot h_0) + G_{\text{пр}} \cdot (L - \varphi \cdot h_{\text{кр}})} \quad (2.29)$$

$$tg\alpha = \frac{(L - a) \cdot \varphi \cdot G_a}{G_a \cdot (L - \varphi \cdot h_0) + G_{\text{пр}} \cdot (L - \varphi \cdot h_{\text{кр}})} \quad (2.30)$$

Наибольший угол подъема, преодолеваемый по условиям сцепления передних и задних ведущих колес с дорогой (буксование ведущих колес):



- одиночным автомобилем (со всеми ведущими колесами)

$$tg\alpha = \varphi \quad (2.31)$$

- автопоездом (автомобиль-тягач со всеми ведущими колесами)

$$tg\alpha = \frac{\varphi \cdot G_a}{G_a + G_{np}} \quad (2.32)$$

Условие невозможности опрокидывания автомобиля с задними ведущими колесами:

$$R_{z1} > 0 \quad \text{или} \quad \varphi < \frac{b}{h_0} \quad (2.33)$$

При движении на поперечном уклоне:

- скольжение наступит раньше опрокидывания

$$\frac{B}{2 \cdot h_0} > \varphi \quad (2.34)$$

- опрокидывание наступит раньше скольжения

$$\frac{B}{2 \cdot h_0} < \varphi \quad (2.35)$$

Коэффициент устойчивости бокового скольжения задней оси (и, следовательно, всего автомобиля)

$$\eta_{\phi} = \sqrt{\varphi^2 \cdot \left(1 + \gamma_T \cdot \frac{h_0}{B}\right)^2 - \frac{\left(\gamma_T \cdot \frac{L}{B}\right)^2}{1 - \left(\frac{2 \cdot \varphi \cdot h_0}{B}\right)^2}} \quad (2.36)$$

$\gamma_T = \frac{P_k}{G_a}$  – коэффициент тягового усилия (отношение суммарного тягового усилия на ведущих колесах автомобиля к весу, приходящемуся на ведущую ось).

## 2.2. Примеры решения задач

**Задача 2.1.** Найти предельную величину подъема, которую может преодолеть автомобиль-тягач, имеющий задние ведущие колеса, с прицепом. Коэффициент сцепления колес с дорогой 0,4. При расчете принять: вес автомобиля 80,0 кН; его база 4,2 м; высота центра тяжести 1,1 м; расстояние от центра тяжести до передней оси 1,8 м; вес прицепа 45,0 кН; высота расположения тягово-сцепного устройства 1,0 м.

*Решение задачи.*

Предельный угол подъема, преодолеваемый автомобилем-тягачом с прицепом:

$$tg\alpha = \frac{(L - a) \cdot \varphi \cdot G_a}{G_a \cdot (L - \varphi \cdot h_0) + G_{пр} \cdot (L - \varphi \cdot h_{кр})}$$

Находим угол подъема

$$\alpha = \arctg \frac{(4,2 - 1,8) \cdot 0,4 \cdot 80000}{80000 \cdot (4,2 - 0,4 \cdot 1,1) + 45000 \cdot (4,2 - 0,4 \cdot 1)} = 9^\circ 20'$$

**Задача 2.2.** Определить по условиям сцепления колес с дорогой возможность движения автомобиля на подъем с углом  $16^\circ$  по дороге с коэффициентом сцепления колес с дорогой 0,4. При расчете принять: база автомобиля 3,2 м; расстояние от центра тяжести до передней оси 1,7 м; высота центра тяжести 1 м.

*Решение задачи.*

Предельный угол подъема, преодолеваемый автомобилем:

$$tg\alpha = \frac{\alpha \cdot \varphi}{L - \varphi \cdot h_0}; \quad \alpha = \arctg \frac{1,7 \cdot 0,4}{3,2 - 0,4 \cdot 1,0} = 13^\circ 40'$$

Так как предельный угол подъема меньше заданного, то движение невозможно.

**Задача 2.3.** Определить возможность бокового опрокидывания автомобиля при движении по дороге с коэффициентом сцепления колес с дорогой 0,4. Ширина колеи 1,7 м; высота центра тяжести 1,4 м.

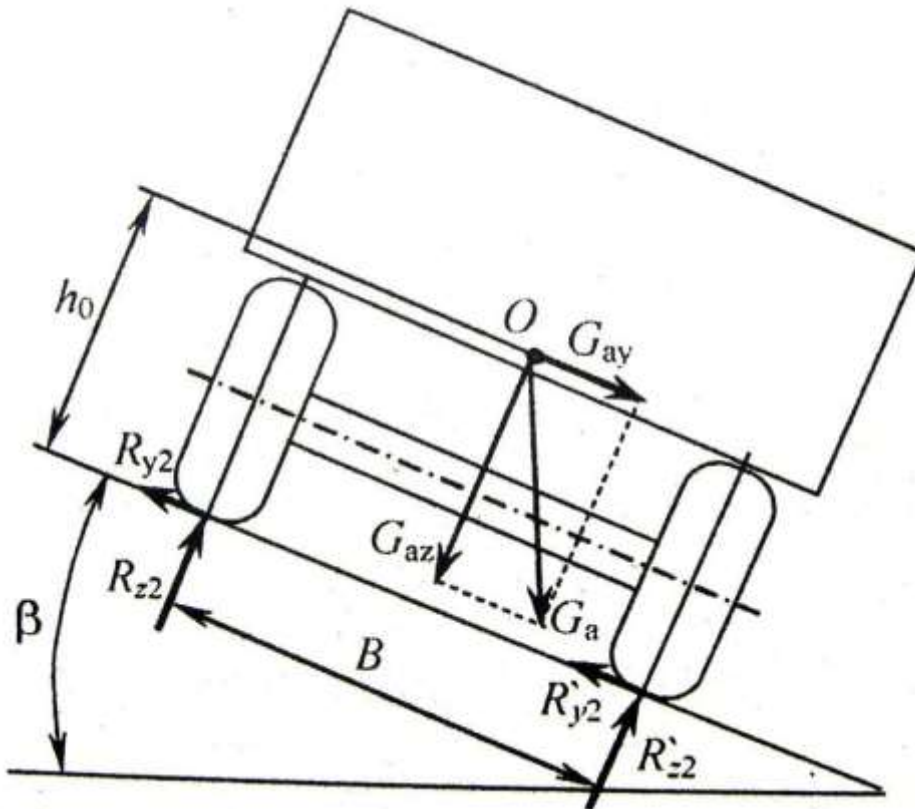


Рисунок 2.2 - Схема сил, действующих на автомобиль при движении по дороге с поперечным уклоном

**Решение задачи.**

Из условия устойчивого движения автомобиля

$$\varphi \left( \frac{b}{2 \cdot h_0}; 0,4 \right) \frac{1,7}{2 \cdot 1,4} = 0,608$$

видно, что опрокидывание автомобиля невозможно, возможно только его скольжение.

## 3. ТОРМОЗНАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ

### 3.1. Основы теории тормозной динамики автомобиля

Тормозные свойства относятся к одним из важнейших эксплуатационных свойств, которые определяют активную безопасность автомобиля. Под активной безопасностью автомобиля понимается совокупность специальных конструктивных мероприятий, которые обеспечивают снижение вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Каждая европейская страна имеет нормативные документы, которые регламентируют требования к тормозным свойствам автотранспортных средств (АТС).

Основные способы торможения: тормозной системой, двигателем, комбинированный (совместно двигателем и тормозной системой).

Режимы торможения: служебный, аварийный.

Измерители тормозных свойств автомобиля:

1. Максимальное значение замедления.
2. Минимальный тормозной путь, проходимый от начала торможения до необходимой скорости или полной остановки.
3. Минимальное время торможения, необходимое для прохождения минимального тормозного пути.

Нагрузка на автомобиль оказывает существенное влияние на его тормозные свойства. Поэтому в процессе эксплуатации для проверки эффективности тормозных механизмов в качестве измерителей используют максимально допустимый тормозной путь и минимально допустимое замедление автомобиля без нагрузки и с полной нагрузкой.

Нормативные значения измерителей тормозных свойств автомобиля без нагрузки при торможении на сухой асфальтовой горизонтальной дороге регламентированы правилами дорожного движения.

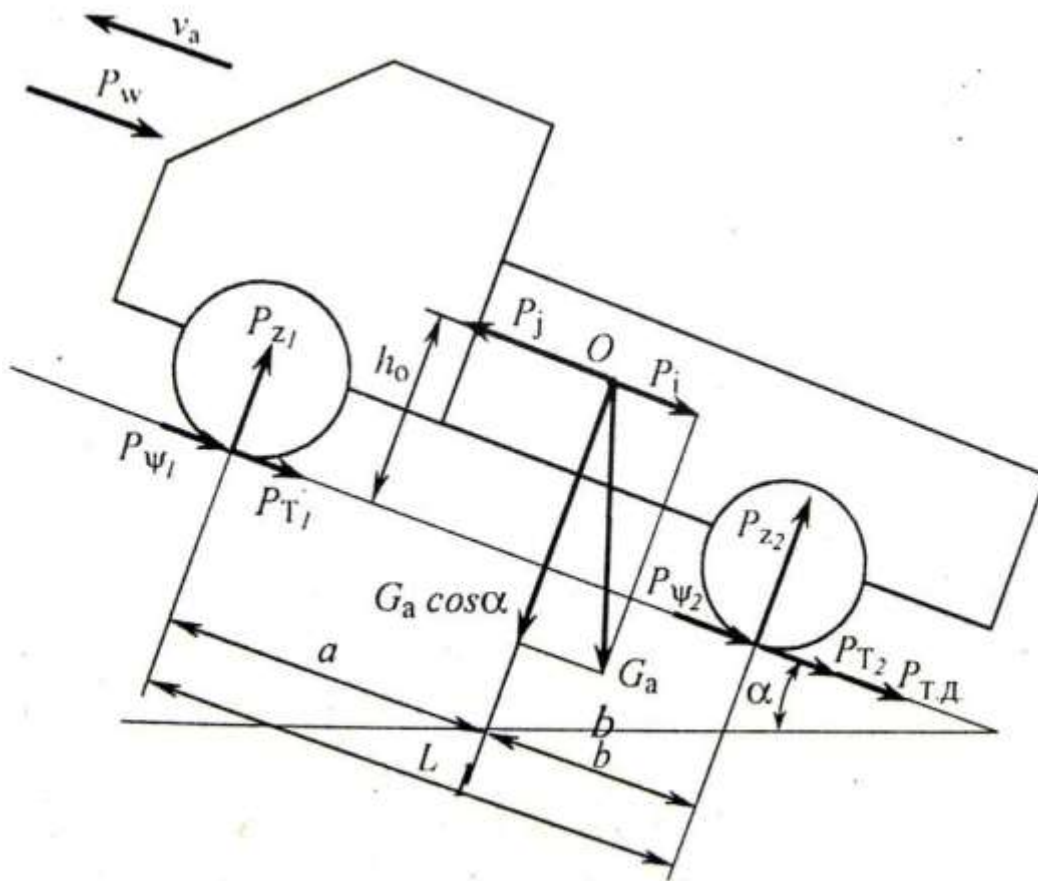


Рисунок 3.1- Силы, действующие на автомобиль при торможении на подъёме

Уравнение движения тормозящего колеса, Н:

$$R_x = \frac{M_{\text{ТК}}}{r_d} + f \cdot R_z - \frac{J_{\text{ТК}} \cdot J_3}{r_d \cdot r_k} \quad (3.1)$$

Уравнение движения автомобиля при торможении

$$P_T + P_{\text{ТД}} + P_\varphi + P_w - P_j \pm P_i = 0 \quad (3.2)$$

Тормозная сила

$$P_T = \frac{M_{\text{ТК}}}{r_k}, \text{ Н.} \quad (3.3)$$

где

$$M_{\text{ТК}} = (\varphi - f) \cdot R_z \cdot r_k + J_k \cdot \omega_k, \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (3.4)$$

Максимальное значение тормозной силы по сцеплению колес с дорогой, Н:

а) при торможении колес задней оси

$$P_T = \varphi \cdot \frac{G_a \cdot (a + f \cdot r_k) \cdot \cos \alpha \pm G_a \sin \alpha + P_w \cdot (h_w - h_0)}{L - \varphi \cdot h_0} \quad (3.5)$$

или

$$P_T = \varphi \cdot \frac{[(L - b) \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha - \frac{j_3 \cdot h_0}{g}]}{L} \quad (3.6)$$

- без учета сопротивления воздуха при движении по горизонтальному участку дороги

$$P_T = \varphi \cdot \frac{G_a \cdot (a + f \cdot r_k) \pm G_a \sin \alpha}{L + \varphi \cdot h_0} \quad (3.7)$$

или

$$P_T = \varphi \cdot \frac{(b \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha - \frac{j_3 \cdot h_0}{g})}{L} \quad (3.8)$$

б) при торможении колес передней оси

$$P_T = \varphi \cdot \frac{G_a \cdot [(L - b) - \frac{j_3 \cdot h_0}{g}]}{L} \quad (3.9)$$

- при движении по горизонтальному участку дороги

$$P_T = \varphi \cdot \frac{G_a \cdot (b + \frac{j_3 \cdot h_0}{g})}{L} \quad (3.10)$$

в) при торможении всех колес

$$P_T = \varphi \cdot G_a \cdot \cos \alpha; \quad (3.11)$$

- при движении по горизонтальному участку дороги

$$P_T = \varphi \cdot G_a \quad \dots\dots(3.12)$$

Сила трения в двигателе, приведенная к ведущим колесам

$$P_{ТД} = \frac{M_{ТД} \cdot i_{ТД}}{\eta_M \cdot r_k} \quad (3.13)$$

Момент трения в четырехтактном двигателе  $N \cdot м$ , приближенно определяется по формуле

$$M_{ТД} = 0,8 \cdot V_h \cdot (0,35 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot n_c) \quad (3.14)$$

$$M_{ТД} = 0,8 \cdot p_m \cdot V_h \cdot i_n \quad (3.15)$$

где  $V_h$  — рабочий объем цилиндра,  $м^3$ ;  
 $i_n$  — число цилиндров;

$p_m$  – давление механических потерь.

Давление механических потерь

$$p_m = a + b \cdot c_{\Pi}; \quad (3.16)$$

> для карбюраторных двигателей  $a = 0,035$ ;  $b = 0,012$ ;

> для дизельных двигателей с неразделенными камерами сгорания  $a = 0,113$ ;  $b = 0,007$ ;

> для дизельных двигателей с разделенными камерами сгорания  $a = 0,113$ ;  $b = 0,010$ .

Средняя скорость поршня, м/с:

$$c_{\Pi} = \frac{S_{\Pi} \cdot \omega_e}{\pi} \quad (3.17)$$

Тормозной динамический фактор

$$D_T = \frac{P_T + P_{T_d} + P_w}{G_a} \quad (3.18)$$

Замедление при торможении автомобиля, м/с<sup>2</sup>:

$$j_z = \frac{P_T + P_{T_d} + P_{\varphi} + P_w}{\delta_{вп} \cdot M_a} \quad (3.19)$$

Максимальное значение замедления, м/с<sup>2</sup>:

$$j_z = \frac{g}{G_a} \cdot (\varphi \cdot G_a \cdot \cos \alpha + f \cdot G_a \cdot \cos \alpha + G_a \cdot \sin \alpha + k \cdot F \cdot v_a^2) \quad (3.20)$$

В связи со снижением скорости движения автомобиля можно принять  $P_w = 0$ . Если торможение производится только тормозной системой, то  $P_{T_d} = 0$ .

Тогда замедление автомобиля, м/с<sup>2</sup> :

$$j_z = \frac{\varphi + \Psi}{\delta_{вп} \cdot k_{\Sigma}} \cdot g \quad (3.21)$$

Вследствие того, что  $\varphi$  намного больше  $\Psi$ , с достаточной степенью точности можно принять

$$j_z = \frac{\varphi \cdot g}{\delta_{вп} \cdot k_{\Sigma}} \cdot g \quad (3.22)$$

Минимальный тормозной путь при действии тормозов на всех колесах, м:

а) без учета сопротивления воздуха

$$S_T = \frac{v_H^2 - v_K^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{1}{(\varphi + f) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha}; \quad (3.23)$$

б) с учетом сопротивления воздуха

$$S_T = \frac{G_a}{2 \cdot g \cdot k \cdot F} \cdot \ln \frac{G_a \cdot (\varphi + f) + k \cdot F \cdot v_H^2}{G_a \cdot (\varphi + f) + k \cdot F \cdot v_K^2} \quad (3.24)$$

Минимальный тормозной путь, м:

$$S_T = \frac{v_H^2 - v_K^2}{2 \cdot j_3} \cdot k_э \quad (3.25)$$

$$S_T = \frac{v_H^2 - v_K^2}{2 \cdot g \cdot \varphi} \cdot \delta_{вр} \cdot k_э \quad (3.26)$$

Тормозной путь до полной остановки автомобиля, м:

$$S_T = \frac{v_K^2}{2 \cdot g \cdot \varphi} \cdot \delta_{вр} \cdot k_э \quad (3.27)$$

Полный (остановочный) тормозной путь, м:

$$S_T = (t_1 + t_2) \cdot v_H + \frac{v_K^2}{2 \cdot g \cdot \varphi} \cdot \delta_{вр} \cdot k_э \quad (3.28)$$

где  $k_э - 1,2$  - для легковых автомобилей;  
 $k_э - 1,4$  - для грузовых автомобилей.

Минимальное время эффективного торможения до полной остановки автомобиля, с:

$$t_T = \frac{2 \cdot S_T}{v_H - v_K} \quad (3.29)$$

$$t_T = \frac{\delta}{g \cdot \varphi} \cdot (v_H - v_K) \cdot k_э. \quad (3.30)$$

Полное остановочное время, с:

$$t_{То} = t_1 + t_2 + \frac{\delta}{g \cdot \varphi} \cdot (v_H - v_K) \cdot k_э \quad (3.31)$$

При торможении автомобиля двигателем должно соблюдаться условие



$$j_3 \left\langle \frac{M_{TK} \cdot r_k}{J_{дв} \cdot i_{тр} \eta_{тр}^2} \right. \quad (3.32)$$

При превышении значения  $j_3$ , т. е. несоблюдении неравенства, торможение двигателем нецелесообразно.

Коэффициент учета вращающихся масс при торможении автомобиля:

- с не отсоединенным двигателем

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{J_e i_{тр}^2}{M_a \cdot r_d \cdot r_k \cdot \eta_{тр}} + \frac{\Sigma J_k}{M_a \cdot r_d \cdot r_k} \quad (3.33)$$

- с отсоединенным двигателем

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{\Sigma J_k}{M_a \cdot r_d \cdot r_k} \quad (3.34)$$

В процессе торможения автомобиля-тягача с прицепом (автопоезда) их взаимодействие между собой зависит от удельных тормозных сил автомобиля-тягача  $\gamma_T$  прицепа  $\gamma_{п}$  т.е. значения силы сцепления ( $P_c$ ) между ними.

Возможны 3 случая:

1.  $\gamma_n = \gamma_{п}$  т.е.  $P_c = 0$ . При этом происходит их одновременное торможение. Идеальный случай.

2.  $\gamma_n > \gamma_{п}$  т.е.  $P_c > 0$ . Прицеп усиливает торможение автомобиля-тягача. Происходит растяжка автопоезда, что исключает складывание и повышает устойчивость.

3.  $\gamma_n < \gamma_{п}$  т.е.  $P_c < 0$ . Прицеп накатывается на автомобиль-тягач и происходит складывание автопоезда.

При торможении автопоезда, считая  $P_w = 0$ , замедление будет равно, м/с:

-тягача

$$j_{зТ} = g \cdot \gamma_T + \frac{P_c}{M_a} \quad (3.35)$$

-прицепа

$$j_{зп} = g \cdot \gamma_{п} - \frac{P_c}{M_{п}} \quad (3.36)$$

Удельные тормозные силы:

-тягача

$$\gamma_T = \frac{\sum R_{xa}}{G_a} \quad (3.37)$$

-прицепа

$$\gamma_{\Pi} = \frac{\sum R_{x\Pi}}{G_{\Pi}} \quad (3.38)$$

Сила сцепления между автомобилем-тягачом и прицепом, Н:

$$P_c = G_{a\Pi} \cdot (\gamma_{\Pi} - \gamma_T) \quad (3.39)$$

Приведенная сила тяжести автопоезда, Н:

$$G_{a\Pi} = \frac{G_a \cdot G_{\Pi}}{G_a + G_{\Pi}} \quad (3.40)$$

Максимальные значения тормозных сил на осях, Н:

- тягача

$$P_{T1} = \frac{\varphi \cdot G_a \cdot (b + \varphi \cdot h_0)}{L} \quad (3.41)$$

$$P_{T2} = \frac{\varphi \cdot G_a \cdot [(L - b)] - \varphi \cdot h_0}{L} \quad (3.42)$$

- прицепа

$$P_{T\Pi1} = \frac{\varphi \cdot G_{\Pi} \cdot (l + \varphi \cdot h_0)}{2 \cdot l} \quad (3.43)$$

$$P_{T\Pi2} = \frac{\varphi \cdot G_{\Pi} \cdot (l - \varphi \cdot h_0)}{2 \cdot l} \quad (3.44)$$

Минимальный тормозной путь автопоезда до полной остановки, м:

$$S_T = \frac{v_H^2}{2 \cdot g \cdot \varphi} \cdot \delta_{\text{впр}} \cdot \frac{G_a + n_{\Pi} \cdot G_{\Pi}}{G_a + n_{\text{пт}} \cdot \lambda_T \cdot G_{\text{пф}}} \quad (3.45)$$

$$S_T = \frac{0,004 \cdot v_a^2 \cdot (G_a + n_{\Pi} \cdot G_{\Pi})}{(G_a + n_{\text{пт}} \cdot m_T \cdot G_{\text{пф}}) \cdot \varphi \cdot \cos \alpha + (G_a + n_{\Pi} \cdot G_{\Pi}) \cdot \sin \alpha} \quad (3.46)$$

## 3.2. Примеры решения задач

**Задача 3.1.** Определить путь, время торможения и замедление легкового автомобиля, движущегося со скоростью 20 м/с, с отсоединенным двигателем до полной остановки. Дорога горизонтальная сухая с бетонным покрытием, имеющая коэффициент сцепления 0,6. Коэффициент снижения эффективности торможения 1,2. Время реакции водителя 0,8 с, до начала срабатывания тормозной системы 0,2 с. Коэффициент учета вращающихся масс 1,05

*Решение задачи.*

Тормозной путь до полной остановки

$$S_T = \frac{v_a^2}{2 \cdot g \cdot \varphi} \cdot \delta_{вр} \cdot k_э = \frac{20^2}{2 \cdot 0,6 \cdot 9,81} \cdot 1,05 \cdot 1,2 = 42,8 \text{ м.}$$

Остановочное время

$$t_{то} = t_1 + t_2 + \frac{v_a^2}{g \cdot \varphi} \cdot \delta_{вр} \cdot k_э = 0,8 + 0,2 + \frac{20}{9,81 \cdot 0,6} \cdot 1,05 \cdot 1,2 = 5,3$$

Замедление автомобиля

$$j_з = \frac{g \cdot \varphi}{\delta_{вр} \cdot k_э} \cdot g = \frac{0,6 \cdot 9,81}{1,05 \cdot 1,2} = 4,67 \text{ м/с}^2.$$

**Задача 3.2.** Полностью груженный автомобиль весом 57,7 кН движется по дороге с уклоном 5°, имеющей коэффициент сцепления колес с дорогой 0,7. Определить максимальную тормозную силу по условиям сцепления колес с дорогой.

*Решение задачи.*

$$P_T = \varphi \cdot G_a \cdot \cos \alpha = 0,7 \cdot 57700 \cdot \cos 5^\circ = 40236 \text{ кН.}$$

**Задача 3.3.** Определить, возможно ли торможение двигателем автомобиля массой 7400 кг, движущегося на второй передаче по горизонтальной сухой грунтовой дороге, имеющей коэффициент сцепления колес с дорогой 0,6, если момент на коленчатом валу двигателя составляет 250 Н\*м. Технические данные автомобиля: передаточное число трансмиссии при второй передаче в коробке перемены передач 21,05; радиус колеса 0,47 м; момент инерции двигателя 0,28 м\*с<sup>2</sup>\*м; КПД трансмиссии 0,9.

*Решение задачи.*

Условие возможности торможения двигателем, м/с<sup>2</sup>:

$$j_T = \sqrt{\frac{M_{TK} \cdot r_K}{J_{дв} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}^2}}$$

Замедление автомобиля

$$j_T = \varphi \cdot \frac{g}{\delta_{вр}} = 0,6 \cdot \frac{9,81}{1,07} = 5,5 \text{ м/с}^2.$$

Коэффициент учета вращающихся масс

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{J_{дв} \cdot i_{тр}^2 \cdot \eta_{тр}}{M_a \cdot r_K^2} = 1 + \frac{0,28 \cdot 21,05^2 \cdot 0,9}{7400 \cdot 0,47^2} = 1,07$$

Вторая часть неравенства

$$\frac{M_{TK} \cdot r_K}{J_{дв} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}^2} = \frac{250 \cdot 0,47}{0,28 \cdot 21,05 \cdot 0,9^2} = 24,6 \text{ м/с}^2.$$

Так как  $5,5 < 24,6$ , то торможение двигателем возможно.

## 4. РАСЧЕТ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ РАБОТЕ АВТОМОБИЛЯ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ НОРМАМ

### 4.1 Общие сведения

Топливная экономичность автомобиля оценивается двумя группами измерителей. К первой группе относятся измерители топливной экономичности самого автомобиля, ко второй — измерители топливной экономичности двигателя автомобиля.

Измерителями первой группы являются расход топлива в литрах на единицу пробега автомобиля (путевой расход топлива)  $q_n$ , л на 100 км, и расход топлива в граммах на единицу транспортной работы  $q_p$ , г/(т\*км) или г/(пасс.-км).

К измерителям второй группы относятся расход топлива в килограммах за час работы двигателя (часовой расход топлива)  $G_m$ , кг/ч, и удельный эффективный расход топлива в граммах на киловатт-час  $q_e$ , (кВт\*ч).

Различают следующие нормы расхода жидкого топлива:

- линейные нормы расхода топлива (л/100 км пробега) — устанавливаются для всего автотранспорта (легковые и грузовые автомобили, автобусы);
- нормы расхода топлива на работу двигателя с выключенным приводом агрегатов, (л/маш час, л/мин).

Линейные нормы являются основой для расчёта норм расхода топлива при движении автомобилей. Они установлены для снаряжённых автомобилей на дистанции пробега 100 км и эксплуатируемых в городах с населением до 300 тысяч человек в летнее время.

Снаряжённая масса автомобиля, как известно, принимается без учёта перевозимой полезной нагрузки.

Нормы расхода смазочных материалов устанавливаются из расчёта на 100 литров общего расхода, рассчитанного по нормам: масла в литрах, а смазок — в килограммах: топлива на 100 л общего расхода жидкого топлива:

1. масла моторные — для автомобиля с карбюраторными двигателями 3,5 л; 3,5%;
2. масла моторные — для автомобиля с дизельными двигателями 4,0 л; 4 %.

Путевой расход топлива, л на 100 км:

$$q = 100 \frac{Q}{S_a}, \quad (4.1)$$

где  $Q$  — общий расход топлива, л;  
 $S_a$  — пробег автомобиля, км.

В указанном выражении единицей пробега являются 100 км пути (принято для автомобилей в России и многих европейских странах).

Путевой расход топлива — легко определяемая величина, но не учитывающая полезной работы автомобиля. Так, например, автомобиль, который перевозит груз, расходует больше топлива, чем автомобиль без груза. Поэтому согласно формуле он оказывается менее экономичным по сравнению с автомобилем, совершающим порожний рейс.

Расход топлива на единицу транспортной работы

$$q_p = 1000 \frac{Q \rho_m}{m_{zp} S_{zp}}, \quad (4.2)$$

где  $\rho_m$  — плотность топлива, кг/л;  
 $m_{zp}$  — масса перевезенного груза (число пассажиров), кг (пасс);  
 $S_{zp}$  — пробег автомобиля с грузом, км.

Расход топлива на единицу транспортной работы более правильно оценивает топливную экономичность автомобиля. Однако практическое использование этой величины сопряжено с определенными трудностями вследствие того, что объем транспортной работы, выполненной автомобилем, не всегда поддается точному измерению.

Часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_m = \frac{Q \rho_m}{T_d}, \quad (4.3)$$

где  $T_d$  — время работы двигателя, ч.

Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт\*ч):

$$g_e = 1000 \frac{G_m}{N_e} = 1000 \frac{Q \rho_m}{N_e T_d}, \quad (4.4)$$

где  $N_e$  — эффективная мощность двигателя, кВт.

С учетом удельного эффективного расхода топлива определим его путевой расход:

$$q_n = \frac{g_e N_e}{360 \rho_m}, \quad (4.5)$$

где  $v$  — скорость автомобиля, м/с.

Общий расход топлива согласно нормам определяется по следующей формуле:

$$Q = K_{m1} \frac{S_a}{100} + K_{m2} \frac{S_{zp} m_{zp}}{100} + K_{m3} Z_e, \quad (4.6)$$

где  $K_{m1}$  — норма расхода топлива на передвижение самого автомобиля, л на 100 км;

$K_{m2}$  — норма расхода топлива на единицу транспортной работы, л на 100 т\*км;

$K_{m3}$  — норма дополнительного расхода топлива на каждую езду;

$S_a$  — пробег автомобиля, км;

$S_{zp}$  — пробег с грузом, км;

$m_{zp}$  — масса перевезенного груза, т;

$Z_e$  — число ездов.

Нормы расхода топлива  $K_{m1}$ ,  $K_{m2}$ ,  $K_{m3}$  зависят от типа автомобиля и условий его работы.

Грузовые автомобили общего назначения (с бортовыми платформами) обычно совершают перевозки на большие расстояния, и число ездов на 100 км пробега у них невелико. Поэтому норму расхода топлива  $K_{m3}$  у этих автомобилей включают в норму расхода топлива  $K_{m2}$ . Общий расход топлива по нормам для *грузовых автомобилей общего назначения*

$$Q = K_{m1} \frac{S_a}{100} + K_{m2} \frac{S_{zp} m_{zp}}{100}. \quad (4.7)$$

Самосвалы обычно осуществляют перевозки на небольшие расстояния, загружены полностью и перевозят груз только в одном направлении. В связи с этим норму расхода топлива  $K_{m2}$  у этих автомобилей включают в норму расхода топлива  $K_{m1}$ .

Общий расход топлива согласно нормам для *самосвалов*

$$Q = K_{m1} \frac{S_a}{100} + K_{m3} Z_e. \quad (4.8)$$

Для *автопоездов* общий расход топлива по нормам

$$Q = K_{an} \frac{S_a}{100} + K_{m2} \frac{S_{zp} m_{zp}}{100}. \quad (4.9)$$

В этом выражении  $K_{an}$  — норма расхода топлива на передвижение автопоезда, л на 100 км, зависящая от типа двигателя, устанавливаемого на тягаче автопоезда:

для автопоезда с бензиновым двигателем

$$K_{an} = K_{m1} + 2,5m_{np}, \quad (4.10)$$

для автопоезда с дизелем

$$K_{an} = K_{m1} + 1,5m_{np}, \quad (4.11)$$

где  $m_{np}$  — полная масса прицепа, т.

Для грузовых автомобилей общего назначения и автопоездов предусмотрены надбавки расхода топлива на каждые 100 т\*км выполненной транспортной работы. Размер такой надбавки зависит от типа двигателя (бензиновый или дизель) автомобиля. Для самосвалов установлена надбавка на каждую езду с грузом.

В зимнее время нормы расхода топлива для автомобилей увеличиваются.

№ п/п	Тип технического средства	Моторные	Трансмиссионные	Специальные	Пластичные смазки
1	А/м с карбюраторными двигателями	2,5	0,3	0,1	0,2
2	А/м с дизельными двигателями	3,5	0,4	0,1	0,3
4	Тракторы с дизельным двигателем	5,0	0,5	1,0	0,3

Указанные нормы включают в себя замену масла при технических обслуживаниях и доливку в процессе эксплуатации.

Нормы расхода масел увеличиваются до 20% для механизированной техники, находящейся в эксплуатации более 8 лет и снижаются до 50% в случае её эксплуатации менее 3 лет.

Линейные нормы в зависимости от времени года и особенностей условий эксплуатации могут как увеличиваться, так и уменьшаться.

Линейные нормы расхода топлива рекомендуется увеличивать в следующих случаях:

- при работе в зимнее время до 10% (при установившейся отрицательной температуре) в течение 5 дней.
- при работе в областных центрах и городах с населением от 300 тыс. человек до 1 миллиона – до 7%;
- при работе в городах с населением более 1 миллиона – до 10%;
- при пробеге первой тысячи километров автомобилями (двигателями), обкатываемыми после ремонта или новыми – до 10%;



- при учебной езде – до 20%;

Для автомобилей, выполняющих работу, учитываемую в т-км, документально нормируется расход топлива на каждые 100 т км:

- бензина – увеличивается до 2 л;

- дизельного топлива – увеличивается до 1,3 л;

- газообразного топлива – увеличивается до 2,5 л.

*Например. Необходимо установить норму расхода топлива для автоцистерны АЦ-40(130)63Б, если известно, что для автомобиля ЗИЛ-130 линейная норма расхода  $q^{ЗИЛ-130}=31л/100км$  при снаряжённой массе  $m^{ЗИЛ-130}=4300кг$ , а полная масса автоцистерны  $m^{АЦ}=9600кг$ .*

*Расчётная норма расхода составит:*

$q^{АЦ}=q^{ЗИЛ-130}+((m^{АЦ}-m^{ЗИЛ-130})/1000) 2 = 31 + ((9600-4300)/1000) 2 = 41,6л /100 км.$

*Полученная величина принимается до меньшего целого значения.*

- при работе в тяжёлых дорожных условиях в период сезонной распутицы и обильных снежных заносов – до 35% (вводится решением местных облисполкомов на срок до одного месяца);

- при выполнении неотложных оперативно-служебных заданий по ликвидации ЧС, связанных с движением по пересеченной местности, бездорожью, проселочным и лесным дорогам для автомобилей повышенной проходимости – до 20%;

- при эксплуатации автомобилей после полного исчисления их амортизации до 8%;

- при работе легковых автомобилей, оборудованных специальной световой или звуковой сигнализацией, установленных на крыше – до 5%.

В отдельных случаях нормы могут дополнительно увеличиваться. Линейные нормы расхода топлива рекомендуется уменьшать:

- при работе на загородных маршрутах с усовершенствованным покрытием в удовлетворительном состоянии – до 15%.

При необходимости применения норм расхода, корректируемых в зависимости от условий эксплуатации, как с увеличением, так и уменьшением одновременно, нормируемый расход топлива устанавливается с учетом суммы или разности этих надбавок.

В ходе эксплуатации автомобилей их водителям необходимо ежедневно определять нормативный расход топлива, который фиксируется в эксплуатационной карте после каждого вида работ, будь то следование к месту вызова и возвращение к месту дислокации (пробег) или работа двигателя на привод спецагрегатов, а также без привода (режим холостого хода).

Отдельно в эксплуатационных документах фиксируется количество топлива, потраченного на проверку технического состояния в ходе ежедневного технического обслуживания со строго определенным временем работы двигателя в зависимости от вида и марки транспортного средства.

## 4.2 Примеры решения задач

**Задача 4.1.** Пожарный автомобиль АЦ-40(130) 63Б в течение суток несколько раз выезжал на ЧС, один раз – на учения. Пробег составил 43 км, время работы двигателя на привод пожарного насоса – 20 минут, а без привода (в том числе и при ЕТО) – 15 минут.

Условие эксплуатации: г. Москва, зимнее время.

Исходные данные:

- норма расхода топлива на пробег автоцистерны АЦ-40(130) 63Б составляет 41,0 л/100 км;

- норма расхода топлива на работу двигателя со спецагрегатом – 0,330 л/мин (19,8 л/м-час);

- норма расхода топлива на работу двигателя без нагрузки – 0,150 л/мин (9,0 л/м-час);

- надбавка на работу в городе с населением свыше 1 миллиона человек – 10%;

- надбавка за работу в зимнее время – 10%.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \frac{43}{100} \cdot 41,0 \cdot (+0,1 + 0,1) + 20 \cdot 0,330 + 15 \cdot 0,150 = 30,006 \text{ л}$$

**Задача 4.2.** Автомобиль ВАЗ-21063, работая в условиях учебной езды совершил 215 км пробега по г. Москва.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ВАЗ-21063 составляет 9,2 л/100 км;

- надбавка за учебную езду 20%;

надбавка за работу в городе Минске (население свыше 1 миллиона человек) 10%;

$$Q_n = \frac{215}{100} \cdot 9,2(+0,2 + 0,1) = 25,7 \text{ л}$$

**Задача 4.3.** Автомобиль ГАЗ-53А, работающий в г. Могилёве, совершил пробег 173 км и выполнил транспортную работу 280 ткм (т. е. перевёз 2 тонны груза на 140 км).

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ГАЗ-53А составляет 25,0/100 км;
- надбавка за работу в городе с населением от 300 тыс. до 1 млн. человек составляет 7%.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{173}{100} \cdot 25 + \frac{280}{100} \cdot 2 \right) \cdot \langle +0,07 \rangle = 52,3 \text{ л}$$

**Задача 4.4.** Группа курсантов на практических занятиях отработывала навыки работы на мотопомпе МП-800Б. В составе группы 20 человек. Каждый курсант отработал на мотопомпе по 5 мин.

Исходные данные:

- нормы расхода топлива для мотопомпы МП-800Б составляет 0,102 л/мин (6,3 л/м-час);
- нормы расхода масла для МП-800Б составляет 5% от расхода топлива.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n^T \rightarrow 0,102 \cdot (20 \cdot 5) = 10,2 \text{ л}$$

Нормируемый расход масла составит:

$$Q_n^M \rightarrow 0,05 \cdot 10,2 = 0,51 \text{ л}$$

**Задача 4.5.** Автомобиль ГАЗ-31029, работающий в г. Минске, совершил пробег 320 км.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ГАЗ-31029 составляет 12,9 л/100 км;
- надбавка за работу в городе с населением свыше одного миллиона человек составляет 10%.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \frac{320}{100} \cdot 12,9 \cdot (1 + 0,1) = 45,4 \text{ л}$$

**Задача 4.6.** Автомобиль МАЗ-5432 с полуприцепом МАЗ-5205 выполнил 1520 ткм грузооборота при пробеге 250 км по загородной дороге с усовершенствованным покрытием в удовлетворительном состоянии.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля МАЗ-5432 с полуприцепом МАЗ-5205 составляет 37,5 л/100 км;

- снижение за работу на загородной дороге с усовершенствованным покрытием в удовлетворительном состоянии составляет 15%;

- норма расхода дизельного топлива на грузооборот составляет 1,3 л/100 ткм; Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{250}{100} \cdot 37,5 + \frac{1520}{100} \cdot 1,3 \right) \cdot (1 - 0,15) = 96,5 \text{ л.}$$

**Задача 4.7.** Автомобиль ЗИЛ-130 с прицепом АПС-23 выполнил 950 ткм грузооборота при пробеге 180 км в зимнее время года.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ЗИЛ-130 составляет 31,0 л/100 ткм;

- надбавка за работу в зимнее время 10%;

- масса снаряженного прицепа АПС-23 составляет 2,8 т;

- норма расхода бензина на грузооборот составляет 2,0 л/100 ткм.

Линейная норма автопоезда в составе автомобиля ЗИЛ-130 и прицепа АПС-23 составляет:

$$H = 31 + 2,0 \cdot 2,8 = 36,6 \text{ л/100 км}$$

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{180}{100} \cdot 36,6 + \frac{950}{100} \cdot 2,0 \right) \cdot (1 + 0,1) = 93,4 \text{ л}$$

**Задача 4.8.** Автомобиль ЗИЛ-ММЗ-45023, работающий на сжатом углеводородном газе (СУГ), совершил пробег 173 км и выполнил 8 ездки с грузом в зимнее время года.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ЗИЛ-ММЗ-45023 составляет 50,0 л/100 км;

- надбавка за работу в зимнее время 10%;

- надбавка на одну ездку с грузом 0,25 л СУГ.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{173}{100} \cdot 50 \right) \cdot (1 + 0,1) + 0,25 \cdot 8 = 97,2 \text{ л СУГ}$$

**Задача 4.9.** Автомобиль-самосвал КамАЗ-5511 с самосвальным прицепом ГКБ-8527 перевез на расстояние 115 км 13 т кирпича, а в

обратную сторону перевез на расстояние 80 км 16 т щебня. Общий пробег составил 240 км.

Учитывая, что автомобиль-самосвал работал с коэффициентом использования пробега более чем 0,5, нормируемый расход топлива определяется также, как для бортового автомобиля КамАЗ-5320 (базового для самосвала КамАЗ-5511) с учетом разницы собственной массы этих автомобилей. Таким образом, в этом случае, линейная норма расхода топлива для автомобиля КамАЗ-5511 включает 25 л (норма расхода топлива для порожнего автомобиля КамАЗ-5320) плюс 2,7 л (учитывающих разницу собственных масс порожнего бортового автомобиля и самосвала в размере 2,08 тонны), что составляет 27,7 л/100 км.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля КамАЗ-5511 в данных условиях составляет 27,7 л/100 км;
- норма расхода дизельного топлива на грузооборот 1,3 л/100ткм
- масса снаряженного самосвального прицепа ГКБ-8527 составляет 4,5 тонны.

Линейная норма расхода топлива автопоезда в составе автомобиля КамАЗ-5511 и прицепа ГКБ-8527 составит:

$$H = 27,7 + 1,3 \cdot 4,5 = 33,6 \text{ л/100 км}$$

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{33,6 \cdot 240}{100} \right) + 1,3 \cdot \left( \frac{115 \cdot 13 + 80 \cdot 16}{100} \right) = 116,7 \text{ л}$$

**Задача 4.10.** Автомобиль УАЗ-469, работая на инкассации, совершил пробег 180 км. Во время работы простой автомобиля без выключения двигателя составил 3,2 часа.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива автомобилем УАЗ-469 составляет 16,0 л/100 км;
- простой одного часа автомобиля с включенным двигателем соответствует 10 км пробега.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{180}{100} \cdot 16 \right) + \left( \frac{3,2 \cdot 10}{100} \cdot 16 \right) = 33,9 \text{ л}$$

**Задача 4.11.** Автомобиль ГАЗ-52-04 при перевозке опасного груза двигаясь со скоростью менее 20 км/час совершил 78 км пробега выполнив 150 ткм.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива автомобилей ГАЗ-52-04 составляет 22,0 л/100 км;
- надбавка за скорость ниже 20 км/ч составляет 10%;
- норма расхода бензина на грузооборот 2,0 л/100 ткм.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{78}{100} \cdot 22,0 \right) + \left( \frac{150}{100} \cdot 2,0 \right) \cdot (1 + 0,1) = 22,2 \text{ л}$$

**Задача 4.12.** Автобус ЛАЗ-695Н, прошедший после капитального ремонта 500 км, совершил пробег 250 км.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автобуса ЛАЗ-695Н составляет 41,0 л/100 км;
- надбавка при пробеге первой тысячи километров автомобилями после капитального ремонта 10%.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \frac{250}{100} \cdot 41 \cdot (1 + 0,1) = 112,8 \text{ л}$$

**Задача 4.13.** Автомобиль ЗИЛ-131 работая в сельской местности в тяжелых дорожных условиях в период сезонной распутицы совершил 162 км пробега выполнив 530 ткм.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ЗИЛ-131 составляет 42,0 л/100 км;
  - надбавка за работу в тяжелых дорожных условиях в период сезонной распутицы 35%;
- норма расхода бензина на грузооборот 2,0 л/100 ткм.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{162}{100} \cdot 42 + \frac{530}{100} \cdot 2 \right) \cdot (1 + 0,35) = 106,2 \text{ л}$$

**Задача 4.14.** Автокран КС-2561 на базе автомобиля ЗИЛ-130 совершил пробег 87 км. Время работы спецоборудования по перемещению груза - 5,4 часа.

Исходные данные:

- линейная норма расхода топлива для автомобиля ЗИЛ-130 составляет 31 л/100 км;
- норма расхода топлива на работу специального оборудования за 1 машино-час 6,1 л;

- разница в весе автокрана КС-2561 с базовым автомобилем ЗИЛ-130 составляет 4,5 тонны;

- норма расхода топлива на каждую тонну разницы веса автокрана и базового автомобиля 2,0 л.

Линейная норма расхода топлива автокрана КС-2561 составит:  $H = 31 + (2 \cdot 4,5) = 40$  л/100 км.

Нормируемый расход топлива составит:

$$Q_n = \left( \frac{87}{100} \cdot 40 \right) + 61 \cdot 5,44 = 67,7 \text{ л}$$

## 5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**Задача 1.** Определить касательную силу тяги и мощность, подводимую к ведущим колесам автомобиля, движущегося по горизонтальной дороге на прямой передаче. Максимальный крутящий момент на коленчатом валу двигателя 450 Н·м при частоте вращения 1400 об/мин. Передаточное число главной передачи 6,45; КПД трансмиссии 0,85; диаметр обода колеса 0,508 м; ширина профиля колеса 0,260 м.

**Задача 2.** Определить силу и мощность сопротивления качению легкового автомобиля весом 17,9 кН при его движении со скоростями 10 м/с и 20 м/с, если коэффициент сопротивления качению при движении с малой скоростью равен 0,014.

**Задача 3.** Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению автопоезда массой 48 т при движении по горизонтальной дороге со скоростью 18 км/ч, равна 82,4 кВт. Определить уклон дороги на котором сила сопротивления дороги равна нулю.

**Задача 4.** Определить силу и мощность сопротивления подъему легкового автомобиля при движении его со скоростью 10 м/с на подъеме, угол которого равен  $3^\circ 30'$ . Вес автомобиля 17900 Н.

**Задача 5.** Определить силу и мощность сопротивления дороги при движении легкового автомобиля со скоростью 10 м/с по дороге с асфальтированным покрытием в удовлетворительном состоянии с коэффициентом сопротивления качению 0,02. Угол подъема дороги  $3^\circ 30'$ . Вес автомобиля 1790 Н.

**Задача 6.** Определить силу и мощность сопротивления воздуха при движении автомобиля со скоростями 10 м/с и 20 м/с. Коэффициент сопротивления воздуха  $0,25 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^1$ . Площадь миделева сечения  $2,3 \text{ м}^2$ .

**Задача 7.** Ведущий момент на одном из ведущих колес автомобиля равен 8800 Н·м. Найти мощность двигателя при равномерном движении автомобиля, если известно, что его ведущие колеса вращаются без буксования с частотой 41 об/мин. КПД трансмиссии 0,9.

**Задача 8.** Рассчитать скорость движения автомобиля при частоте вращения коленчатого вала 2000 об/мин, если передаточные числа коробки передач равны: 6,4; 3,09; 1,69; 1,0; главной передачи 6,67, диаметр обода колеса 0,508 м; ширина профиля колеса 0,260 м.

**Задача 9.** Найти максимальную скорость движения автомобиля, который движется с полностью открытой дроссельной заслонкой по горизонтальному участку дороги, характеризуемой коэффициентом сопротивления качению 0,025. При этом величина силы тяги, которая



может быть использована для поступательного ускорения, равна нулю. Масса автомобиля 4,8 т; фактор сопротивления воздуха  $2,6 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ ; сила тяги на ведущих колесах равна 1,7 кН.

**Задача 10.** Определить динамический фактор легкового автомобиля с полной нагрузкой равной 17,9 кН при его движении на ПРЯМОЙ передаче со скоростью 65 км/ч, если касательная сила тяги равна 2,12 кН. Коэффициент сопротивления воздуха  $0,25 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ ; площадь миделева сечения  $2,3 \text{ м}^2$ . Определить возможность движения данного автомобиля, если коэффициент сцепления колес с дорогой равен 0,1. База автомобиля 2,8 м, расстояние от центра масс до передней оси 1,46 м.

**Задача 11.** Грузеный автомобиль движется с равномерной скоростью по асфальтированному участку дороги с коэффициентом сопротивления качению 0,02 и на подъем с углом  $5^\circ$ . Найти динамический фактор автомобиля,

**Задача 12.** Сила сопротивления качению полностью груженого автомобиля весом 82,5 кН на горизонтальном участке дороги равна 1,77 кН. Определить коэффициент сопротивления качению.

**Задача 13.** Сила сопротивления качению автомобиля весом 79 кН при движении по горизонтальной дороге равна 1,94 кН. Чему равен коэффициент сопротивления дороги при движении автомобиля на подъем с уклоном 25%?

**Задача 14.** Чему равно ускорение легкового автомобиля на второй передаче, если угловое ускорение коленчатого вала двигателя  $50 \text{ с}^{-2}$ ? Передаточные числа главной передачи 4,3; второй передачи коробки передач 2,3. Радиус колеса 0,278 м

**Задача 15.** Автобус движется на третьей передаче с ускорением  $0,64 \text{ м}/\text{с}^2$ . Найти передаточное число главной передачи автобуса, если угловое ускорение коленчатого вала двигателя  $15,74 \text{ с}^{-2}$ ; передаточное число третьей передачи коробки перемены передач равно 1,71; размер шин 240-508; коэффициент деформации шины 0,88; высота профиля шины равна его ширине.

**Задача 16.** Автобус весом 27,1 кН движется со скоростью 20 м/с по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,02. При этом сила тяги на ведущих колесах равна 2,48 кН. Фактор обтекаемости  $1,28 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ . Коэффициент учета вращающихся масс 1,06. Найти ускорение автомобиля.

**Задача 17.** Автомобиль весом 160 кН движется на подъеме с уклоном 0,06. Коэффициент сопротивления качению равен 0,025. Двигатель развивает момент 587 Н·м. (Передаточные числа главной передачи 7,78; первой передачи коробки перемены передач 7,73; второй передачи 5,52. КПД трансмиссии 0,88. Динамический радиус колес 0,535. Коэффициент

учета вращающихся масс на первой передаче 3,32; на второй 2,20. Определить ускорение на первой и второй передачах. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Задача 18.** Определить коэффициент учета вращающихся масс груженого автомобиля массой 7400 кг при движении на первой и четвертой передачах с включенной и выключенной муфтой сцепления. Передаточные числа трансмиссии при движении на первой передаче 44,3; на четвертой передаче 6,83. КПД трансмиссии 0,9. Размеры колес: диаметр обода 20 дюймов, высота профиля шины 8,25 дюйма, коэффициент деформации шин 0,93. Моменты инерции вращающихся частей двигателя 0,28 кгм<sup>2</sup>; колес 83,7 кгм<sup>2</sup>.

**Задача 20.** Определить силу и мощность сопротивления подъему легкового автомобиля при движении его со скоростью 36 км/ч на подъеме, угол которого равен 3°30'. Вес автомобиля 17,9 кН.

**Задача 21.** Автомобиль преодолевает с предварительным разгоном подъем длиной 200 метров по дороге, характеризуемой коэффициентом сопротивления качению, равным 0,025. Найти предельный угол подъема, если скорость автомобиля в начале подъема 25 м/с; критическая скорость 8,5 м/с; максимальный динамический фактор на прямой передаче 0,089; коэффициент учета вращающихся масс 1,07.

**Задача 22.** Определить, какой максимальный угол подъема может преодолеть автомобиль, двигаясь равномерно на прямой передаче со скоростью 70 км/ч по дороге, характеризуемой коэффициентом сопротивления качению, равным 0,02. Технические данные автомобиля: вес 1500 Н; сила тяги на ведущих колесах 1390 Н; фактор обтекаемости 1,3 Нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

**Задача 23.** Определить, какую скорость может развить легковой автомобиль при разгоне с ускорением 0,5 м/с на дороге с коэффициентом дорожного сопротивления 0,02 при путевом расходе топлива 14,9 л/100 км. Масса автомобиля 1470 кг, фактор обтекаемости 0,4 Н.с / м ; КПД трансмиссии 0,94 ; Удельный расход топлива двигателем 290 г/Квт.ч ; коэффициент учёта вращающихся масс 1,06; плотность топлива 0,75 кг/л.

**Задача 24.** Полностью груженный автомобиль весом 57,7 кН движется по дороге с уклоном 5°, имеющий коэффициент сцепления колёс с дорогой 0,7. Определить максимальную тормозную силу по условиям сцепления колёс с дорогой.

**Задача 25.** Определить путевой расход топлива легкового автомобиля массой 1,8т, с фактором обтекаемости 0,6 Н.с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> движущегося со скоростью 90 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,018. Удельный расход топлива для

двигателя 300 г/Квт. ч., плотность топлива 0,785 кг/л; КПД трансмиссии 0.87.

**Задача 26.** Определить, что произойдёт раньше, боковое скольжение или опрокидывание и при каком минимальном радиусе поворота. Движение происходит по инерции на горизонтальной дороге, характеризуемой коэффициентом сцепления колёс с дорогой 0,5. Скорость движения 45 км/ч. Технические данные автомобиля: высота центра тяжести 1,7 м, ширина колеи 1,5 м.

**Задача 27.** Условный статический прогиб подвески 1,0 м. Чему равна частота собственных колебаний кузова? Во сколько раз изменится частота, если условный прогиб будет равен 0,25м?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поливаев О.И., Костиков О.М., Ворохобин А.В., Ведринский О.С. Конструкция тракторов и автомобилей: Учебное пособие / Под общ. ред. проф. О.И. Поливаева. – СПб : Издательство «Лань», 2013. – 288 с.: ил. (+вклейка, 8 с.). – (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. – Мн.:Выш. Шк., 1986;
3. Гришкевич А.И. Управляемость и устойчивость автомобиля. – Мн.: БПИ, 1977;
4. Проскурин А.И. Теория автомобиля. Примеры и задачи: Учебное пособие / А.И. Проскурин. – Ростов н/д.; Феникс, 2006.- 201 с.: Мн.- (Высшее образование);
5. Тяговый расчет автомобиля: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / сост. Л.И. Высочкина, М.В. Данилов, В.Х. Малиев, Д.Н. Сляднев, Р.М. Якубов. - Ставрополь: Издательство «АГРУС» ФГБОУ ВО СтГАУ, 2017. - 86 с.
6. Вахламов, В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей: учеб. пособие для вузов /В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2009. – 557 с.
7. Введение в специальность //Малюченко Б.В., Малиев В.Х., Данилов М.В., Высочкина Л.И., Сляднев Д.Н., Якубов Р.М. Ставрополь, 2015. 174 с.
8. Высочкина Л.И. Система организации учебно-познавательной деятельности учащихся на кафедре эксплуатации МТП //Активизация учебного процесса с помощью информационных и коммуникационных технологий: 69-я научно-практ. конф. 2005. С. 48-49.
9. Организация системы учебно-познавательной деятельности студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» /Л.И. Высочкина, Е.М. Зубрилина, М.В. Данилов, Б.В. Малюченко, М.В. Данилов. В сборнике: Научно-методические аспекты повышения эффективности современного образования. 2015. С. 26-29.
10. Прокурин А.И. Теория автомобиля. Примеры и задачи: учебное пособие / А.И. Прокурин. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 200 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Индексация автомобилей**

Легковые автомобили		Автобусы		Грузовые автомобили						
рабочий объем двигателя, л	индекс	габаритная длина, м	индекс	полная масса, т	индекс					
					с бортовой платформой	седельные тягачи	самосвалы	цистерны	фургоны	специальные
До 1,099	11	До 5	22	До 1,2	13	14	15	16	17	19
1,1...1,79	21	6...7,5	32	1.2...2	23	24	25	26	27	29
1,8...3,49	31	8...10	42	2...8	33	34	35	36	37	39
Свыше 3,5	41	11...12	52	8...14	43	44	45	46	47	49
		16.5...24	62	14...20	53	54	55	56	57	59
				20...40	63	64	65	66	67	69
				Свыше 40	73	74	75	76	77	79

Первая цифра соответствует классу автомобиля (по рабочему объему двигателя для легковых автомобилей, длине для автобусов и полной массе для грузовых автомобилей);

Вторая цифра — эксплуатационному назначению автомобиля (1—легковые; 2 — автобусы; 3 — грузовые бортовые автомобили; 4 — седельные; 5-самосвалы; 6- цистерны; 7 – фургоны; 8 –резерв; 9 – спец. автомобили)

Третья и четвертая цифры относятся к модели.

Для обозначения модификаций вводят пятую цифру.

Приложение 2

Среднее значение коэффициентов сопротивления качению для различных типов дорожного покрытия

Тип покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сопротивления качению
Асфальтобетонное	Хорошее	0,014-0,018
	Удовлетворительное	0,018-0,02
Гравийное	Хорошее	0,018-0,02
Каменная мостовая	Хорошее	0,02-0,025
Грунтовое	Сухое укатанное	0,025-0,35
	После дождя	0,05—0,150
Песок	Сухой	0,15-0,03
	Сырой	0,06-0,15
Снег	Укатанный	0,03-0,05
	Целина	0,18-0,25
Лед	-	0,015-0,03

Приложение 3

Среднее значение коэффициентов сцепления колес с дорогой для различных типов дорожного покрытия

Тип покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сопротивления качению
Асфальтобетонное	Сухое	0,7-0,8
	Мокрое	0,35-0,45
Гравийное	Сухое	0,6-0,7
	Мокрое	0,3-0,4
Грунтовое	Сухое	0,5-0,6
	Мокрое	0,2-0,4
Снег	Укатанное	0,3-0,3
	Сыпучее	0,1-0,2
Лед	-	0,1-0,2

## Коэффициенты обтекаемости и площади лобового сопротивления легковых автомобилей и автобусов

Марка автомобиля	Коэффициент обтекаемости, $\text{H}^* \text{c}^2/\text{M}^4$	Лобовая площадь, $\text{M}^4$
ЗА3-968	0,3	1,7
ЗА3-1102	0,23	1,6
ВА3-2101 (03,06)	0,33	1,8
ВА3-2105 (07)	0,34	1,8
ВА3-2108 (09)	0,25	1,9
ВА3-2121 (31)	0,24	2,2
Москвич-412	0,32	1,8
АЗЛК-2141	0,22	1,9
ГАЗ-3102	0,23	2,3
УАЗ-469	0,38	3,4
РАФ-2203	0,27	3,6
КАВЗ-685	0,32	5,9
ПА3-672	0,3	5,3
ПА3-3202	0,39	5,3
ЛАЗ-695Е	0,25	6,3
ЛАЗ-695И	0,38	6,3
ЛАЗ-699	0,37	6,3



## Коэффициенты обтекаемости и площади лобового сопротивления грузовых автомобилей

Марка автомобиля	Коэффициент обтекаемости, $H \cdot c^2 / m^4$	Лобовая площадь, $m^4$
ИЖ-2715	0,32	2,1
ГАЗ-3305	0,81	4,1
ГАЗ-4509	0,68	4,5
ЗиЛ-130	0,54	5,2
ЗиЛ-4331	0,66	5,9
ЗиЛ-4331-Бортовой прицеп	1,0	5,1
ЗиЛ-431410	0,53	5,4
ЗиЛ-131	0,64	8,5
МАЗ-500А (тентованный)	0,45	6
МАЗ-500А	0,64	8,5
МАЗ-516 (тентованный)	0,49	5,4
МАЗ-5336	0,67	8,3
МАЗ-5336+8887 (тентованный)	0,79	9
МАЗ-6422-9491	1,04	6,9
КамАЗ-5320	0,668	6
КамАЗ-5511	1,04	6
КамАЗ-5410+9491	0,87	7,9
КамАЗ-5410+9491	1,04	9
Урал-345Д	0,71	6,2
КрАЗ-256	0,59	6,4
КрАЗ-255	0,7	7,1
КрАЗ-6505	0,98	6,7

Моменты инерции вращающихся масс ( $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ) легковых автомобилей и автобусов и грузовых автомобилей

Марка автомобиля	Двигатель	Ведущие колеса и трансмиссия	Ведомые колеса
ЗАЗ-968	0,12	1,40	1,10
ЛуАЗ-969А	0,12	3,08	-
ВАЗ-2101	0,13	1,42	1,10
ВАЗ-2103 (06)	0,13	1,34	1,10
ВАЗ-2121 (31)	0,13	9,47	-
Москвич-412 (2140)	0,16	1,55	1,02
ГАЗ-3102	0,32	2,52	2,44
УАЗ-469	0,37	13,00	-
РАФ-2203	0,32	3,80	2,40
УАЗ-452В	0,37	13,00	-
КавЗ-685: ПАЗ-672	0,52	35,60	21,20
ЛАЗ-695Н	1,01	67,80	33,50
ЛАЗ-699Н	1,77	67,80	33,50
ИЖ-2715	0,16	2,10	2,01
УАЗ-451Д	0,37	6,50	5,94
ГАЗ-3307	0,52	35,60	18,00
ГАЗ-66	0,52	66,00	33,50
ЗиЛ-130	1,01	49,60	23,30
ЗиЛ-131	1,01	154,00	43,90
КамАЗ-5320	2,11	98,50	23,30
Урал-377	1,77	134,00	67,80
Урал-375Д	1,77	202,00	67,80
МАЗ-500А	4,46	75,40	43,50
МАЗ-514	4,70	152,00	43,50
КрАЗ-255Б	4,70	290,00	96,30